

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

"Diseño de un equipo didáctico para enseñanza de
electrohidráulica básica"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Danny Manuel Fernández Barahona

Marco Antonio Valencia Ventura

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Dios por darme salud a lo largo de mi carrera universitaria, a mis padres por ser pilares fundamentales en mi vida y ayudarme aun cuando ha estado fuera de su alcance, a mis hermanos porque siempre han estado pendiente a lo largo de mi carrera y ayudado a lo largo de ella.

Marco Antonio Valencia Ventura.

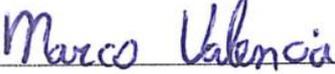
Mi más sincero agradecimiento a Dios, a mis padres que siempre brindaron su apoyo y cariño incondicional a lo largo de mi carrera universitaria, a mi hermano que siempre me aconsejo en todo momento en mi etapa estudiantil y a mi amigo David que me brindó su apoyo incondicional en todo momento.

Danny Manuel Fernández Barahona

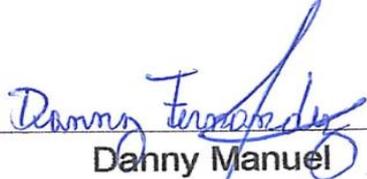
Al Ing. Efraín Terán e Ing. Marcial, que nos guiaron a lo largo de este proyecto, brindándonos su tiempo y colaboración en la realización de este trabajo.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Marco Antonio Valencia Ventura, Danny Manuel Fernández Barahona* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Marco Antonio Valencia
Ventura.

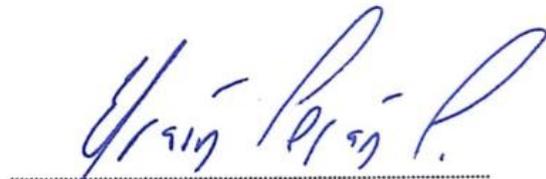


Danny Manuel
Fernández Barahona.

EVALUADORES



Ing. Jorge Marcial Hernández
PROFESOR DE LA MATERIA



Ing. Efraín Terán Calle
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El curso de Hidráulica y Neumática de la carrera mecatrónica, creado recientemente en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la producción, requiere de equipos de laboratorio para poder realizar sus prácticas.

El objetivo principal de este proyecto fue diseñar un equipo que pueda satisfacer las necesidades de la facultad, donde los beneficiados directos son los estudiantes.

Se diseñó un equipo didáctico de electrohidráulica básica para prácticas de laboratorio de Hidráulica y neumática usando materiales y partes disponibles en el mercado local.

Para el correcto diseño del sistema se usaron normas DIN e ISO para que los parámetros de diseño del equipo se rijan con normas de seguridad y fabricación existentes. Se estableció en primer lugar las practicas a realizar para tener en consideración los elementos a usar, luego de esto se realizaron los cálculos de diseño para cada uno de los elementos hidráulicos, mecánicos y eléctricos a usarse.

Se procedió a cotizar cada uno de los elementos con la finalidad de conocer la reducción de costos en comparación con las cotizaciones realizadas a empresas extranjeras. Como resultado se obtuvo el diseño del equipo didáctico de fabricación local, además se realizó el dimensionamiento y selección de componentes mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos considerando rangos de trabajo de bancos didácticos para preservar la seguridad de los estudiantes, se pudo elaborar el modelo tridimensional del equipo didáctico usando un software de diseño Inventor y se consiguió reducir costos hasta en un 60% comparando precios con proveedores externos.

Palabras Clave: Hidráulica, Válvulas, Fluido hidráulico, Modelo tridimensional, Componentes mecánicos, Proveedores.

ABSTRACT

The hydraulic and pneumatic course of the Mechatronics race, recently in the Faculty of Mechanical Engineering and production sciences, requires laboratory equipment to carry out laboratory practices in the field of hydraulics and pneumatics.

The main objective of this project was to design a team that can meet the needs of the faculty, where the direct beneficiaries are the students.

A didactic team of basic electrohydraulic is designed for laboratory practices of Hydraulics and pneumatics using materials and available parts on the local market. For the correct design of the system there were used norms DOUGH and ISO so that the parameters of design of the team are ruled with existing norms of safety and manufacture. It was first established the practices to be carried out to take into consideration the elements to be used, after this the calculations of design were made for each one of the hydraulic, mechanical and electrical elements to be used.

We proceeded to quote each of the elements with the purpose of knowing the cost reduction in comparison with the contributions made to foreign companies. As a result, was obtained on the design of the teaching equipment manufactured locally, was also conducted the sizing and selection of mechanical components, hydraulic, electrical and electronic equipment considering working ranges of banks teaching aids for preserving the safety of students, was able to develop the three dimensional model of teaching equipment using a software design Inventor and managed to reduce costs by up to 60% comparing prices with external suppliers.

Keywords: *Hydraulics, Valves, Hydraulic fluid, Three-dimensional model, Mechanical components, Suppliers.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del proyecto	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Equipo Didáctico	2
1.4.2 Banco Hidráulico.....	3
1.4.3 Componentes hidráulicos	4
1.4.4 Aceite hidráulico.....	7
1.4.5 Filtro de aceite hidráulico	7
1.4.6 Mangueras	8
1.4.7 Motor hidráulico	8
1.4.8 Tablero de control.....	8
1.4.9 Instrumentación Industrial.....	9

CAPÍTULO 2.....	11
2. Metodología.....	11
2.1 Requerimientos de diseño.....	12
2.2 Alternativas de diseño	13
2.3 Criterios de Selección y Ponderación.....	13
2.4 Matriz de Decisión.....	13
2.5 Alternativas.....	13
2.5.1 Selección del aceite hidráulico.....	13
2.5.2 Selección del cilindro Hidráulico	15
2.5.3 Selección del tipo de motor hidráulico	19
2.5.4 Selección del tipo de controlador	22
2.5.5 Selección de la válvula de alivio	24
2.5.6 Selección de la bomba.....	26
2.6 Diseño detallado.....	28
2.6.1 Diseño del sistema hidráulico de equipo.....	29
CAPÍTULO 3.....	46
3. Resultados Y ANÁLISIS	46
3.1 Análisis de Resultados	46
3.1.1 Simulación y diseño CAD del equipo	46
3.1.2 Elaboración de las prácticas	48
3.1.3 Guía de mantenimiento del equipo didáctico.	48
3.2 Análisis de Factibilidad.....	48
CAPÍTULO 4.....	51
4. Conclusiones Y RECOMENDACIONES.....	51
Conclusiones	51
Recomendaciones	52
BIBLIOGRAFÍA	

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral.

ISO Organización Internacional de Estandarización.

DIN Instituto Alemán de Normalización

FIMCP Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción

SIMBOLOGÍA

mm	Milímetros
KN	Kilo newton
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
Q	Caudal. [m ³ /s]
S	Segundos
N	Newton
m/s	Metros sobre segundos
A	Área
d_e	Diámetro del émbolo. 50.8 [mm].
p :	Presión de servicio. 70 [bar]
d_v	Diámetro del vástago. 25.4 [mm].
A :	Área de cilindro [m ²]
v :	Velocidad en tuberías. [m/s]
A :	Área de la tubería [m ²]
W_p :	Peso del vástago. [N]
L:	Peso del vástago. [N]
M:	Momento [N*m]
r:	Distancia perpendicular de la fuerza. [m]
n:	Número de pernos.
W_c :	Peso del cilindro [N]
W_p :	Peso del pistón. [N]
F_p :	Fuerza de avance del pistón. [N]
N_s :	Factor de seguridad.
τ :	Esfuerzo cortante [MPa]
F_r :	Fuerza resultante. [N]
A_p :	Área del perno. [m ²]
P:	Presión de servicio [7MPa]
γ :	Peso específico [8565.2 N/m ³]

K:	Coeficiente de resistencia
V:	Velocidad interna del fluido en la tubería [m/s]
g:	9.81 [m/s ²]
H:	Disponibilidad
V _t :	Velocidad del tanque
L/mi:	Litros sobre minutos
h _f :	Perdidas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1, Banco hidráulico con las componentes que lo conforman.....	3
Figura 1. 2, Base metálica del Banco Hidráulico	4
Figura 1. 3, Cilindro doble efecto con su respectiva simbología	5
Figura 1. 4, Válvula anti-retorno con su respectiva simbología	5
Figura 1. 5, Electroválvula direccional de 3 y 4 vías, 2 posiciones con su respectiva simbología	6
Figura 1. 6, Válvula reguladora de caudal con su respectiva simbología	6
Figura 1. 7, Válvula reguladora de caudal con su respectiva simbología	7
Figura 1. 8, Controlador lógico programable marca Siemens modelo Logo.	9
Figura 1. 9, Manómetro de presión Mi Rango: 0 – 3 bar.	10
Figura 2. 1, Cilindro Simple Efecto con su respectiva simbología	16
Figura 2. 2, Cilindro Doble Efecto con su respectiva simbología.....	16
Figura 2. 3, Cilindro Telescópico doble efecto con su respectiva simbología.....	17
Figura 2. 4, Cilindro Tándem con su respectiva simbología.	17
Figura 2. 5, Motor de paletas.....	19
Figura 2. 6, Motor de pistón axial o radial.....	20
Figura 2. 7, Motor de engranajes.....	20
Figura 2. 8, Motor Gerotor.	21
Figura 2. 9, Válvula de alivio simple	24
Figura 2. 10, Válvula de alivio accionada por servo-mando.	25
Figura 2. 11, Válvula de alivio de pistón.	25
Figura 2. 12, Bomba de engranaje con caudal fijo.	28
Figura 2. 13, Gráfico de la fuerza del pistón, presión del aceite y diámetro del embolo	30
Figura 2. 14, Diagrama de cuerpo libre del actuador con sus respectivos pernos.	37

Figura 2. 15, Diagrama de cuerpo libre de la traslación de fuerzas y momentos al
centroide.....37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1, Matriz de decisión para la selección del aceite hidráulico	15
Tabla 2. 2, Matriz de decisión para el cilindro hidráulico.	18
Tabla 2. 3, Matriz de decisión para la elección del motor hidráulico.....	22
Tabla 2. 4, Matriz de decisión para la elección del controlador.	23
Tabla 2. 5, Matriz de decisión para la selección de la válvula de alivio.	26
Tabla 2. 6, Matriz de decisión para el tipo de bomba	28
Tabla 2. 7, Parámetros funcionamiento de bombas	29
Tabla 2. 8, Tuberías de impulsión	35
Tabla 2. 9, Especificaciones para pernos de acero.	41
Tabla 2. 10, Comparación de los motores con respecto a sus características más importantes.....	43
Tabla 2. 11, Coeficiente de resistencia para cambios de sección.	45

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Plano de componentes de equipo didáctico de electrohidráulico básica.
- PLANO 2 Plano de vista frontal de equipo didáctico de electrohidráulico básica.
- PLANO 3 Plano de vista isométrica de equipo didáctico con activación mecánica.
- PLANO 4 Sesión de estudiantes en equipo didáctico de electrohidráulico básica.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El curso de Hidráulica y Neumática de la carrera mecatrónica, creado recientemente en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la producción, requiere de equipos de laboratorio para realizar sus prácticas.

El objetivo principal del proyecto a desarrollar es diseñar un equipo que pueda satisfacer las necesidades de la facultad, donde los beneficiados directos son los estudiantes.

En el capítulo 1 se trata sobre la problemática a resolver en donde se incluyen el objetivo general y los específicos junto con el marco teórico.

El capítulo 2 contiene las diferentes alternativas que se consideraron para elaborar el diseño de forma, los parámetros que se utilizaron para realizar la selección y se detallará las componentes que conforman el equipo.

En el capítulo 3 se realiza el análisis económico con respecto al costo total del equipo incluyendo piezas, mano de obra y fabricación.

El capítulo 4 contiene las conclusiones con sus respectivas recomendaciones con relación a la fabricación y realización de las prácticas en el equipo.

1.1 Descripción del problema

El curso de Hidráulica y Neumática de la carrera mecatrónica, creado recientemente en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la producción, requiere de equipos de laboratorio para realizar sus prácticas; la adquisición de los equipos se buscó implementar con proveedores externos pero debido a los elevados costos de los mismos se deshecho esta posibilidad.

1.2 Justificación del proyecto

Se desea que el laboratorio cuente con equipos didácticos de hidráulica y electrohidráulica, ya que el estudiante presenta la necesidad de realizar las prácticas de laboratorio en un equipo que permita comprender de mejor manera la teoría impartida en clase. Además, se puede adaptar las especificaciones de los equipos a los requerimientos particulares del curso a dictarse. Debido al elevado costo de importación de equipos de

electrohidráulica se consideró una alternativa el diseño y construcción local del equipo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar un equipo didáctico de electrohidráulica básica usando componentes y métodos de fabricación local para realizar prácticas en el curso de Hidráulica y Neumática.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un circuito modular que permita controlar la velocidad lineal de un cilindro hidráulico utilizando accionadores manuales y electrónicos.
- Diseñar un circuito modular que permita controlar la velocidad angular de un motor hidráulico utilizando accionadores manuales y electrónicos.
- Realizar un modelo tridimensional (CAD) del equipo en donde se visualice todos los componentes que lo conforman.
- Realizar simulación del funcionamiento de ambas prácticas usando softwares hidráulicos para comprobar el accionamiento y conexiones del sistema.
- Elaborar dos prácticas de laboratorio en donde se detalle materiales, procedimientos y objetivos. Una práctica estará relacionada con hidráulica y la otra con electrohidráulica.
- Calcular el costo total del equipo incluyendo piezas, mano de obra y fabricación.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Equipo Didáctico

Un equipo didáctico es el que reúne medios y recursos que ayudan y facilitan la enseñanza y el aprendizaje de un grupo específico de estudiantes quienes, gracias a estos equipos, adquieren habilidades y destrezas específicas. (Julián Pérez, 2008). Con la implementación del equipo los estudiantes de la facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción se verán beneficiados porque, adquieren conocimientos y experiencia en el manejo y funcionamiento de estos equipos.

1.4.2 Banco Hidráulico

Un banco hidráulico es un mecanismo que permite realizar experimentos con relación a la teoría impartida en clase, con la finalidad de poner en práctica lo aprendido y afianzar los conocimientos adquiridos como se puede observar en la figura 1.1 se encuentra un banco hidráulico con todas los componentes, los cuales son: Bomba, Motor, reservorio, válvula desaceleradora, reductora de presión, controladora de flujo, de secuencia, direccional, aceite hidráulico, medidores y cilindro doble efecto.

Todos estos elementos serán descritos en las siguientes secciones de este mismo capítulo. Al buscar que es un banco hidráulico la Real Academia de la Lengua Española señala que “Un banco hidráulico es una instalación provista de aparatos y dispositivos, que permite medir las características de una máquina simulando las condiciones de su funcionamiento real” (Real Academia Española, 2017). Como se puede observar en la figura 1.2 se puede ver la base metálica del banco hidráulico en donde se colocan todos los componentes para la realización de las prácticas.



Figura 1. 1, Banco hidráulico con las componentes que lo conforman

Fuente: (ssedumachine, 2016)



Figura 1. 2, Base metálica del Banco Hidráulico

Fuente: (ssedumachine, 2016)

1.4.3 Componentes hidráulicos

En esta sección se indican los componentes hidráulicos que se utilizan en las prácticas de laboratorio y sobre los cuáles se realiza el control de las medidas o datos para la realización de los cálculos de comprobación.

1.4.3.1 Cilindro doble efecto

El cilindro hidráulico es utilizado comúnmente en las prácticas de laboratorio relacionadas con hidráulica, como señala Rodríguez Álvaro y Navarro Alfredo es un mecanismo el cual permite transformar la energía hidráulica proveniente del fluido a energía mecánica (Movimiento lineal generado por el actuador), la misma que se produce al momento en que el fluido ingresa al cilindro por un orificio y este ejerce una presión en el embolo, ocasionando que el mismo se desplace hacia un sentido y con una velocidad que es dada por el fluido. (Rodríguez Álvaro y Navarro Alfredo, 2015)

En las prácticas de laboratorio se utiliza un cilindro de doble efecto, ya que este componente posee dos orificios que permiten que se altere el movimiento del pistón ya sea en un sentido o en el contrario (D. MANRING, NOAH, 2005) .

Como se puede observar en la figura 1.3, el cilindro tiene su representación simbólica en un circuito.

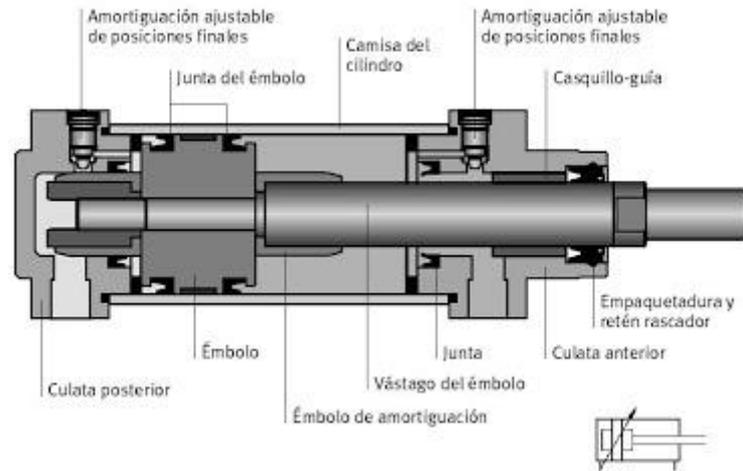


Figura 1. 3, Cilindro doble efecto con su respectiva simbología

Fuente: (SMC, 2012)

1.4.3.2 Válvula anti-retorno

En la mayoría de los mecanismos se coloca un componente que garantiza la seguridad y bienestar del equipo, por ello; como indica la válvula anti-retorno evita que el fluido que se desplaza en sentido contrario acceda al sistema.

Como señala Rodríguez Álvaro y Navarro Alfredo este componente tiene sentido cuando dentro del circuito hidráulico se pretende redirigir el fluido para que pase por otro camino y poder así realizar otra función para la que esté diseñado”. (Rodríguez Álvaro y Navarro Alfredo, 2015)

Como se puede observar en la figura 1.4, el componente tiene su representación simbólica en un circuito.

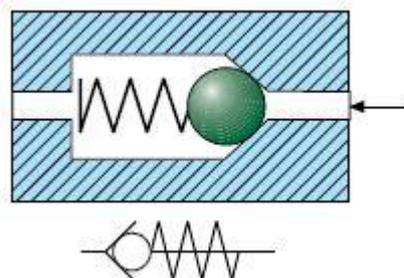


Figura 1. 4, Válvula anti-retorno con su respectiva simbología

Fuente: (TURMERO, 2000)

1.4.3.3 *Electroválvula direccional*

Es uno de los componentes primordiales del equipo ya que permite distribuir el fluido hidráulico ya sea por un conducto u otro. Como señala Rodríguez Álvaro y Navarro Alfredo tiene como cualidad cambiar el sentido del flujo del fluido dentro del circuito. (Rodríguez Álvaro y Navarro Alfredo, 2015)

Como se puede observar en la figura 1.5, el componente tiene su representación simbólica en un circuito.

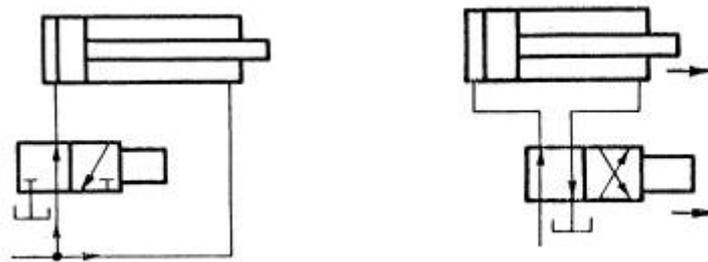


Figura 1. 5, Electroválvula direccional de 3 y 4 vías, 2 posiciones con su respectiva simbología

Fuente: (TURMERO, 2000)

1.4.3.4 *Válvula reguladora de caudal*

Este elemento permite controlar el flujo del fluido en todo momento, ya que esto se relaciona con el tipo de práctica que se vaya a realizar, teniendo en cuenta que lo que proporciona la bomba no siempre es el requerido para que el banco funcione de manera idónea.

Como se puede observar en la figura 1.6, el componente tiene su representación simbólica en un circuito.

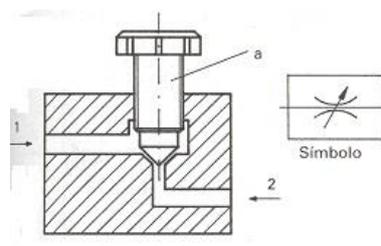


Figura 1. 6, Válvula reguladora de caudal con su respectiva simbología

Fuente: (INSTITUTO, 2015)

1.4.3.5 Válvula estranguladora unidireccional

La función primordial de este componente es la de producir una contrapresión, la cual detiene o frena al cilindro por medio la disipación en forma de calor de la energía hidráulica.

Como se puede observar en la figura 1.7, el componente tiene su representación simbólica en un circuito, además este componente es un conjunto de la estranguladora unidireccional y la reguladora de caudal.

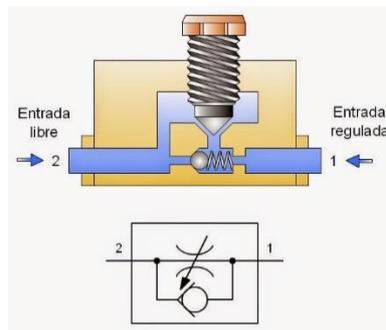


Figura 1. 7, Válvula reguladora de caudal con su respectiva simbología

Fuente: (INSTITUTO, 2015)

1.4.4 Aceite hidráulico

El tipo de fluido que se utiliza para este equipo es un aceite hidráulico, el mismo que permite transmitir la potencia que produce la bomba en forma de presión y de caudal, con la finalidad de poder transformarla en otro tipo de energía que en este caso puede ser mecánica, para poder generar el movimiento lineal que requiere hacer el pistón y el movimiento giratorio que realiza un motor hidráulico.

Para este tipo de equipos el fluido a seleccionar debe cumplir algunos parámetros, tales como la viscosidad requerida, punto de inflamación y de congelación, y resistente a la oxidación y envejecimiento.

1.4.5 Filtro de aceite hidráulico

Para los componentes que se van a utilizar en este equipo, es de suma importancia protegerlos que cualquier agente externo que pueda dañar o alterar su funcionamiento. En pocas palabras una mejor protección en el equipo significa que las componentes tendrán una vida útil mucho mayor al estimado, además como en estos componentes se utiliza un fluido de aceite hidráulico es adecuado el uso de un filtro de aceite.

1.4.6 Mangueras

Las mangueras son unos de los componentes más importantes del equipo, ya que son los encargados de transportar el fluido hidráulico, el mismo que transporta la energía hidráulica generada por la bomba. Se debe considerar que las mangueras deben tener tanto al inicio como al final conectores de acople rápido, ya que esto permite conectarse a las componentes que conforman el equipo.

1.4.7 Motor hidráulico

El motor hidráulico es el componente encargado de generar energía hidráulica mediante la acción de la energía mecánica generada por el motor eléctrico para que los componentes y actuadores trabajen correctamente.

Estos motores tienen ventajas, una de ellas es que pueden ser unidireccionales o bidireccionales (trabajar en ambos sentidos de giro).

1.4.8 Tablero de control

Un tablero de control por lo general es una caja metálica que alberga las partes más imprescindibles para el control de los equipos.

Esta sección trata referente al control de procesos en nuestro sistema de electrohidráulica básica, por ello, es importante denotar acerca de sus componentes más esenciales para poder ejecutar los procesos de acuerdo con los requerimientos del operador.

1.4.8.1 PLC (Controlador lógico programable)

Se llama así a un equipo electrónico que trabaja con lenguaje no informático, diseñado para controlar los procesos industriales en tiempo real y en la mayoría de las condiciones ambientales. Su uso se da fundamentalmente en los procesos donde se requiere de control, maniobra, señalización.

En la figura 1.8 observamos un PLC modelo LOGO que frecuentemente se usa para aplicaciones sencillas y su precio en el medio local es considerado económico. (Logicbus S.A, 2018)



Figura 1. 8, Controlador lógico programable marca Siemens modelo Logo.

Fuente: (Figueroa, 2016)

1.4.8.2 Funciones básicas de un PLC

Un plc tiene varias funciones básicas entre las cuales se consideran esenciales las siguientes:

a) Mando:

Puede enviar y ejecutar acciones al sistema mediante el uso de actuadores.

b) Detección:

Puede receptor y realizar lectura de señales.

c) Dialogo Hombre-Máquina:

El operario de producción es capaz de establecer un dialogo con el equipo obedeciendo sus consignas e informando el estado de los procesos.

d) Programación:

Puede elaborar, introducir y cambiar el programa de aplicación de un proceso industrial; incluso si este se encuentra operando.

1.4.9 Instrumentación Industrial

Esta sección se refiere a la instrumentación que se usa en el proyecto para indicar las variables físicas que se miden en el sistema, como son: presión, caudal, deformación (Fuerza), temperatura.

1.4.9.1 Manómetro (Presión).

Es un instrumento de medida de presión en líquidos y gases; el principio de funcionamiento de estos equipos radica en la medida de la diferencia de presión atmosférica con respecto a la presión del fluido. Los manómetros indican la

presión manométrica (diferencia de presión absoluta con presión atmosférica). El instrumento de medición se lo puede observar en la figura 1.9.



Figura 1. 9, Manómetro de presión Mi Rango: 0 – 3 bar.

Fuente: (Quirion, 2012)

1.4.9.2 Caudalímetro (Flujo – Velocidad)

Es un instrumento usado para medir el flujo volumétrico a lo largo de una tubería o cilindro. (Omega, 2014). Con el caudalímetro se busca determinar la velocidad del fluido que llega hacia los cilindros del equipo.



Figura 1. 10, Caudalímetro Proline: 0 – 3 bar.

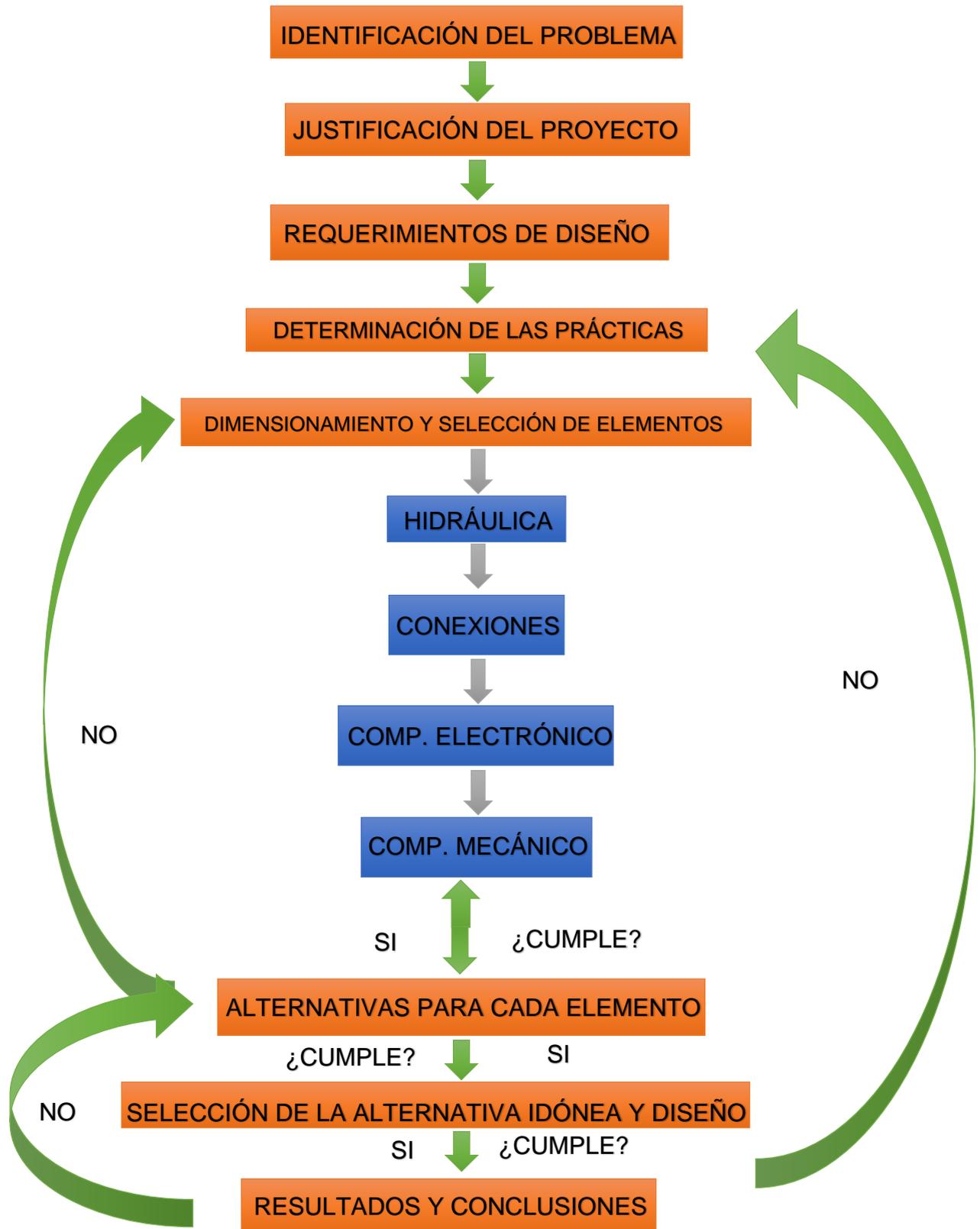
Fuente: (Quirion, 2012)

1.4.9.3 Medidor de temperatura.

Son instrumentos que ayudan a determinar la temperatura de trabajo de fluido en puntos críticos para que el equipo trabaje con temperaturas optimas de funcionamiento.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA



2.1 Requerimientos de diseño

Los requerimientos de diseño que debe tener el equipo se las puede clasificar en dos secciones, los cuales permitirán tener una mayor claridad en nuestra toma de decisiones. Los aspectos morfológicos son aquellos factores que se relacionan con la forma, tamaño, estructura externa, tipo de material que conforma la estructura, etc. Mientras que los aspectos de funcionabilidad, como su nombre lo indica son todos los factores que afectan directamente al funcionamiento de nuestro equipo, estos pueden ser la resistencia que tendrá cada material a implementar para saber si su rigidez es la requerida para este equipo, el tipo de aceite a implementar, que tan resistente es con respecto a la corrosión, ruido que genera, entre otros.

A continuación, se presentarán los factores que para nuestro criterio son primordiales:

Espacio del equipo:

Espacio requerido alrededor 1.75 m de alto, 1.5 m de ancho y 0.75 m de profundidad.

Presentación Visual:

Se utiliza dos paneles de montaje en láminas de ¼" galvanizada, ya que el tablero permite trabajar en ambos lados, para que puedan estar 4 estudiantes y con ello se facilitará la enseñanza de la hidráulica.

Fácil traslado:

El equipo contara con una base conformada por 4 ruedas en la parte inferior, los cuales permiten el fácil traslado de un lugar a otro.

Capacidad de motor hidráulico:

Se estima con una capacidad de 1 – 20 l/s, estos parámetros serán verificados al momento de realizar los cálculos respectivos.

Presión de trabajo:

La presión de trabajo estimada con la que se trabajara esta entre 0 – 500 psi, de la misma manera como en la capacidad del motor estos valores serán verificados al momento de realizar los cálculos correspondientes.

Potencia de motor:

La potencia del motor estimada con la que se trabajará esta entre 0,5 – 2 hp. estos parámetros serán verificados al momento de realizar los cálculos respectivos.

Dimensión de Mangueras:

Para este equipo se utilizarán mangueras de diferente longitud con un diámetro de 1/4" y en ellas ira unido un acople rápido, para facilitar la colocación y la extracción de las mangueras en los componentes y con ello el equipo es más seguro para los estudiantes.

Capacidad de reservorio:

Para el equipo se estima que la capacidad del reservorio se de 10 a 20 Galones.

2.2 Alternativas de diseño

Para poder determinar que componentes son los idóneos para el equipo, se procede a mostrar las 4 alternativas que tiene nuestro equipo, en la cual se escogerán las más apropiadas aplicando criterios o factores de influencia en cada uno de ellos. Estos factores permiten conocer las ventajas y desventajas de las alternativas, con ello se puede tener una elección correcta para nuestro diseño.

2.3 Criterios de Selección y Ponderación

Al momento de tener todas las alternativas planteadas y con su respectiva descripción, se procede a definir y seleccionar la mejor alternativa, esto se podrá realizar aplicando los criterios de selección o conocidos como diseño de forma, estos criterios son en base a las necesidades del problema.

Estos parámetros serán colocados en una matriz con su respectiva ponderación, en donde dependiendo del grado de importancia su ponderación será mayor.

2.4 Matriz de Decisión

Al momento de establecer los criterios de selección para cada una de las alternativas y detallar porque fueron seleccionadas, se procede a elaborar la matriz de decisión para evaluar y ponderar las alternativas propuestas.

2.5 Alternativas**2.5.1 Selección del aceite hidráulico**

Según la norma DIN 51524 y DIN 51525 el aceite hidráulico se divide dependiendo de su composición y características especiales; con esta premisa se tiene en consideración tres tipos de fluidos hidráulicos. Estos fluidos son el HL (H: Aceite hidráulico, L: Con aditivo para protección de corrosión y/o estabilidad), HLP (P:

Mejoramiento para reducir o incrementar su habilidad para portar cargas “Presión”) y HV (V: Mejoramiento en su viscosidad). (Quirion, 2012)

HL presenta como características ser resistente a la corrosión y al desgaste, el HLP tiene las mismas características que el HL pro este fluido puede trabajar a presiones extremas evitando que se den perdidas, esto es algo que para nuestro equipo es de suma importancia y por último el HV puede trabajar a temperaturas bajas y tiene un mejoramiento en si viscosidad.

2.5.1.1 Criterio de selección y ponderación para el tipo de aceite hidráulico

Viscosidad [0.25]: Según la norma ASTM D445-97 nos dice que, este factor es determinante en nuestra alternativa ya que a medida que se tiene un fluido con viscosidad alta puede producir altas temperaturas y con ello, un mayor consumo de energía, es decir si un fluido tiene una viscosidad alta y baja puede generar desperfectos en el sistema. (TURMERO, 2000)

Índice de viscosidad [0.10]: Según la norma ASTM D2270 nos dice que, este factor tiene una característica primordial, ya que se requiere un fluido que tenga un índice medio o bajo, por motivos que el equipo no genera altas temperaturas y con ello se evita que los componentes resulten afectados. Se debe recordar que el índice de viscosidad nos muestra el rango de temperatura que puede ser sometido el fluido para que mantenga su viscosidad. (TURMERO, 2000)

Oxidación de estabilidad [0.20]: Según la norma ASTM D2272 nos dice que, este factor es determinante para la elección de un fluido hidráulico, ya que para el equipo didáctico se implementan fluidos con una oxidación de estabilidad (Resistencia a la degradación) alta, para evitar que la vida del fluido se reduzca y esto genere daños en el sistema.

Resistencia al desgaste [0.20]: Según la norma ASTM D2266 indica que, este factor es de suma importancia en este tipo de equipos, ya que genera una película protectora por medio del fluido sobre la superficie metálica de los componentes, esto evita la abrasión, desgaste abrasivo y la fatiga.

Capacidad para portar cargas [0.25]: Para la realización de las prácticas se requiere un fluido que tenga la capacidad de poder transportar la presión generada evitando las perdidas, ya que esto permitirá tener valores más próximos a los reales en la práctica.

Cada criterio será evaluado en una escala de 5 puntos en cada concepto.

2.5.1.2 Matriz de decisión para el tipo de aceite hidráulico

Tabla 2. 1, Matriz de decisión para la selección del aceite hidráulico

Criterios de selección	Factor de peso	Alternativas					
		ACEITE HL		ACEITE HLP		ACEITE HV	
		Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado
Viscosidad	0.25	4	1	4	1	3	0.75
Índice de viscosidad	0.10	4	0.4	4	0.4	3	0.3
Oxidación de estabilidad	0.20	4	0.8	4	0.8	4	0.8
Resistencia al desgaste	0.20	3	0.6	4	0.8	4	0.8
Capacidad para portar cargas	0.25	3	0.75	5	1.25	3	0.75
		Total A	3.55	Total B	4.25	Total C	3.4

Fuente: Elaboración propia

Al momento de observar la tabla 2.1 la alternativa seleccionada es la B, la cual es el fluido hidráulico HLP GRADO ISO 45, ya que esta alternativa cumple con los criterios de selección establecidos.

2.5.2 Selección del cilindro Hidráulico

En el equipo didáctico se requiere un actuador, para poder hacer las prácticas correspondientes. Por ello, se tiene en consideración 4 alternativas para ser utilizadas en el equipo, estos son un cilindro de simple efecto, de doble efecto, telescópico y tándem. (TURMERO, 2000)

Los cilindros de simple efecto son aquellos que el vástago avanza por la presión ejercida proveniente del fluido como se puede observar en la figura 2.1, pero solo se puede controlar el avance ya que el retroceso se lo puede hacer ya sea por la gravedad o por un resorte.

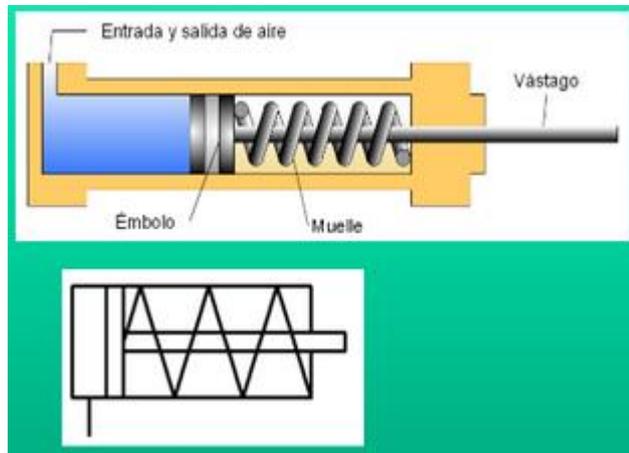


Figura 2. 1, Cilindro Simple Efecto con su respectiva simbología

Fuente: (TURMERO, 2000)

Los cilindros de doble efecto con un vástago de pistón en un lado como se puede visualizar en la figura 2.2 en cambio se puede controlar su avance y su retroceso, el cual lo hace más didáctico porque permite observar cómo se genera su función, además de que no tiene un costo elevado.

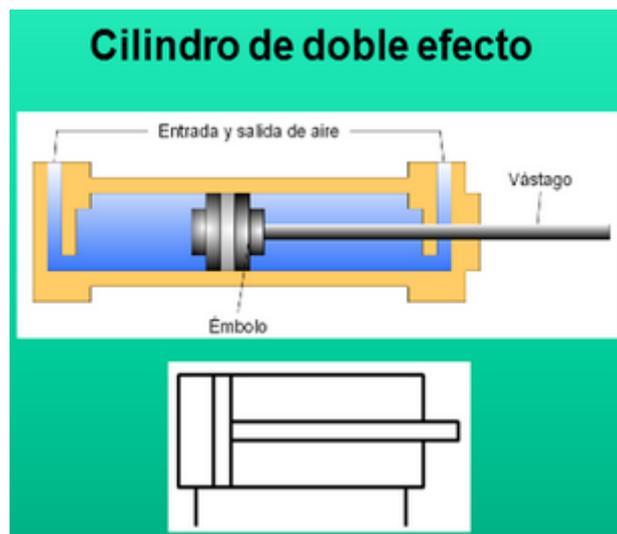


Figura 2. 2, Cilindro Doble Efecto con su respectiva simbología.

Fuente: (TURMERO, 2000)

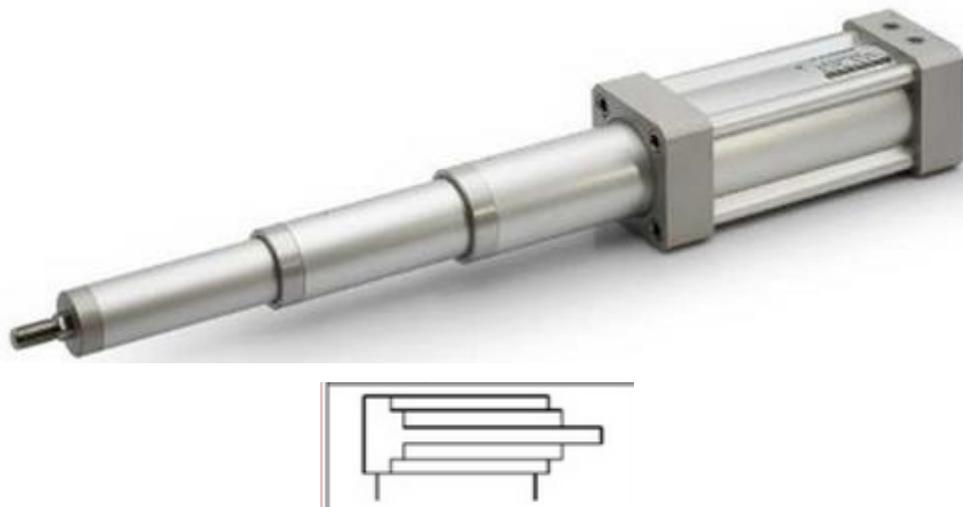


Figura 2. 3, Cilindro Telescópico doble efecto con su respectiva simbología

Fuente: (Charaja, 2010)

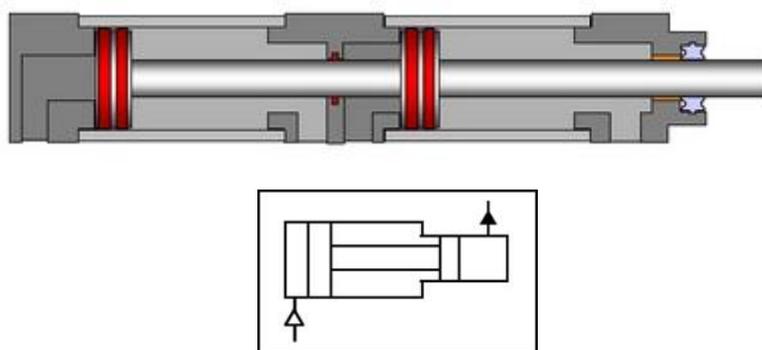


Figura 2. 4, Cilindro Tándem con su respectiva simbología.

Fuente: (Charaja, 2010)

Los cilindros telescópicos como se observa en la figura 2.3 están constituidos por una serie de tubos de acero de diámetros consecutivamente menores, esto le brinda un mayor desplazamiento con relación a los dos ya nombrados, pero su costo es mucho más elevado y por último el cilindro tándem como se observa en la figura 2.4 son básicamente dos cilindros que están interconectados, el cual es utilizado en aplicaciones en las que se requiere una gran cantidad de fuerza de un cilindro de diámetro pequeño.

2.5.2.1 Criterio de selección y ponderación para el tipo de cilindro Hidráulico

Costo [0.10]: Este factor es preponderante al momento de realizar la cotización de cada uno de los repuestos, ya que se desea tener un componente que sea de costo razonable y cumpla con las especificaciones estimadas en el equipo didáctico.

Operatividad [0.25]: Esto está íntimamente relacionado con el diseño del equipo, ya que este componente debe cumplir con los requerimientos de cada una de las prácticas, esto se relaciona con las cargas que se producen en el sistema y las características básicas que debe tener el componente.

Mantenimiento [0.15]: El componente debe tener la facilidad de realizar mantenimiento, ya que con ello se reduce el costo con respecto a la etapa de la planificación de mantenimiento.

Disponibilidad en el mercado [0.25]: Las alternativas planteadas deben ser de fácil adquisición en el mercado local o que sean capaces de fabricar en el mercado.

Fácil instalación [0.25]: El componente debe tener como característica fácil instalación, ya que con ello se reduce el costo con respecto a evitar contratar a una persona especializada que deba instalar el componente en el equipo.

Cada criterio será evaluado en una escala de 5 puntos en cada concepto.

2.5.2.2 Matriz de decisión para el tipo de cilindro Hidráulico

Tabla 2. 2, Matriz de decisión para el cilindro hidráulico.

Criterios de selección	Factor de peso	Alternativas							
		Cilindro simple efecto		Cilindro doble efecto		Cilindro telescópico		Cilindro tándem	
		Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado
Costo	0.10	4	0.4	3	0.3	5	0.5	5	0.5
Operatividad	0.25	3	0.75	4	1	4	1	4	1
Mantenimiento	0.15	3	0.45	4	0.6	5	0.75	5	0.75
Disponibilidad en el mercado	0.25	4	1	4	1	3	0.75	3	0.75
Fácil instalación	0.25	3	0.75	5	1.25	4	1	4	1
		Total A	3.35	Total B	4.15	Total C	4	Total D	4

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 2.2, para nuestro equipo escogemos la alternativa B el cual es el cilindro de doble efecto, ya que este permite realizar de la mejor manera las prácticas de laboratorio sin problema alguno.

2.5.3 Selección del tipo de motor hidráulico

El motor es uno de los componentes más importantes, por ende, su elección debe ser acertada ya que podría generarnos problemas en el equipo a largo plazo.

Para esta sección se presentan 4 diferentes tipos de motores hidráulicos, los cuales son motor de paletas, de pistón axial o radial, de engranajes y gerotor.

Los motores de paletas como se puede observar en la figura 2.5 son los más utilizados, pero tienen un par de arranque limitado, presentan fugas internas de fluido (pocos eficientes) y no se los puede utilizar en sistemas que ejerzan altas presiones. (Figuroa, 2016)



Figura 2. 5, Motor de paletas.

Fuente: (FERREYROS, 2001)

El motor de pistón axial o radial como se visualiza en la figura 2.6 son más caros, pero son eficientes y pueden trabajar en sistemas que se empleen altas presiones.

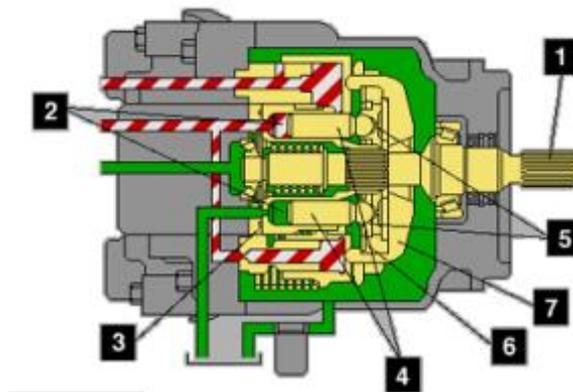


Figura 2. 6, Motor de pistón axial o radial

Fuente: (FERREYROS, 2001)

Los motores de engranajes como se visualiza en la figura 2.7 son más ruidosos, pero tienen alta eficiencia a elevadas velocidades, además de tener un alto par de arranque y por último el gerotor como se visualiza en la figura 2.8 son motores de engranaje, pero tienen engranajes internos de diferente número de dientes.

Tienen buena eficiencia a bajas velocidades, un alto par de arranque, no presentan fugas internas, pero son más caros.

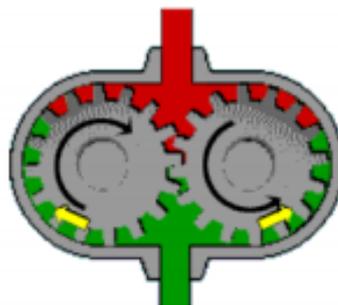


Figura 2. 7, Motor de engranajes.

Fuente: (FERREYROS, 2001)

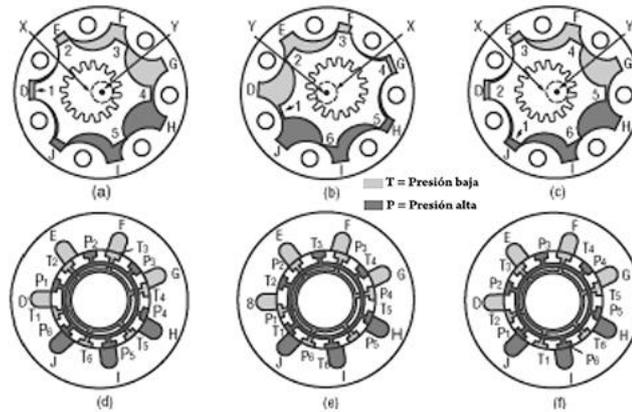


Figura 2. 8, Motor Gerotor.

Fuente: (Quirion, 2012)

2.5.3.1 Criterio de selección y ponderación para el tipo de motor hidráulico

Costo [0.25]: Este factor es preponderante al momento de realizar la cotización de cada uno de los repuestos, ya que se desea tener un componente que sea de costo razonable y cumpla con las especificaciones estimadas en el equipo didáctico.

Ruido [0.25]: Como el lugar en donde se implementará el equipo es un lugar cerrado, el ruido será un factor que considerar ya que esto puede ocasionar daños a la salud de los estudiantes y del docente.

Operatividad [0.25]: Esto está íntimamente relacionado con el diseño del equipo, ya que este componente debe cumplir con los requerimientos de cada una de las prácticas, esto se relaciona con las cargas que se producen en el sistema y las características básicas que debe tener el componente.

Disponibilidad en el mercado [0.25]: Las alternativas planteadas deben ser de fácil adquisición en el mercado local, ya que esto permite reducir costos con relación a la importación y el tiempo que se toma en llegar el repuesto.

Vida útil [0.15]: La componente a implementar debe tener una vida útil considerable, ya que esto reduce el costo en comprar o tener en stock un repuesto y que sea utilizado en corto plazo.

Cada criterio será evaluado en una escala de 5 puntos en cada concepto.

2.5.3.2 Matriz de decisión para el tipo de motor hidráulico

Tabla 2. 3, Matriz de decisión para la elección del motor hidráulico.

Criterios de selección	Factor de peso	Alternativas							
		Motor de paletas		Motor de engranaje		Motor de pistón axial		Motor gerotor	
		Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado
Costo	0.25	3	0.75	4	1	3	0.75	3	0.75
Operatividad	0.25	2	0.5	4	1	3	0.75	3	0.75
Ruido	0.10	4	0.4	3	0.3	5	0.5	5	0.5
Disponibilidad en el mercado	0.25	3	0.75	5	1.25	3	0.75	3	0.75
Vida útil	0.15	3	0.45	4	0.6	4	0.6	4	0.6
		Total A	2.85	Total B	4.15	Total C	3.35	Total D	3.35

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 2.3 para nuestro equipo se ha escogido la alternativa B, la cual es el motor de engranajes ya que es la más utilizada en el mercado y cumple con las especificaciones deseadas en el equipo.

2.5.4 Selección del tipo de controlador

Como el equipo didáctico está dirigido para la materia de hidráulica y neumática de la carrera de Ingeniería en mecatrónica, se debe tener un controlador autónomo el cual se presentan dos alternativas, las cuales son por Arduino o por PLC (Controlador Lógico Programado).

Un PLC es un dispositivo que en conjunto con los sensores que permiten detectar las diferentes posiciones en su entrada, con la finalidad de poder realizar una acción o señal a la salida en este caso puede ser a las válvulas, actuadores u otros dispositivos mecánicos, cabe recalcar que el PLC se lo utiliza en procesos industriales por motivos de su gran eficiencia.

El Arduino es utilizado más en las universidades para poder elaborar prototipos o proyectos, su respuesta para adquirir datos es lenta en comparación con un PLC. (Figuroa, 2016)

2.5.4.1 Criterio de selección y ponderación para el tipo de controlador

Fácil instalación [0.15]: El componente debe tener como característica fácil instalación, ya que con ello se reduce el costo con respecto a evitar contratar a una persona especializada que deba instalar el componente en el equipo.

Vida útil [0.25]: La componente a implementar debe tener una vida útil considerable, ya que esto reduce el costo en comprar o tener en stock un repuesto y que sea utilizado en corto plazo.

Disponibilidad en el mercado [0.25]: Las alternativas planteadas deben ser de fácil adquisición en el mercado local, ya que esto permite reducir costos con relación a la importación y el tiempo que se toma en llegar el repuesto, además de reducir el costo en mantenimiento.

Resistencia a la humedad [0.15]: La alternativa a seleccionar debe ser resistente a la humedad, ya que esto alarga su vida útil y reduce el costo con respecto a su respectivo mantenimiento.

Resistente a factores externos [0.15]: Esto está relacionado directamente con el diseño del equipo, ya que debe tener la capacidad de aguantar tanto a los cambios de clima como a los golpes.

Costo [0.05]: Este factor es preponderante al momento de realizar la cotización de cada uno de los repuestos, ya que se desea tener un componente que sea de costo razonable y cumpla con las especificaciones estimadas en el equipo didáctico.

Cada criterio será evaluado en una escala de 5 puntos en cada concepto.

2.5.4.2 Matriz de decisión para el tipo de controlador

Tabla 2. 4, Matriz de decisión para la elección del controlador.

Criterios de selección	Factor de peso	Alternativas			
		PLC		Arduino	
		Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado
Fácil instalación	0.15	4	0.6	3	0.45
Vida Útil	0.25	4	1	3	0.75
Disponibilidad en el mercado	0.25	4	1	4	1
Resistencia a la humedad	0.15	5	0.75	3	0.45
Resistente a factores externos	0.15	5	0.75	3	0.45
Costo	0.05	3	0.15	4	0.2
		Total A	4.25	Total B	3.3

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 2.4 se escoge la alternativa A, la cual es un PLC ya que su uso se implementa de forma industrial.

2.5.5 Selección de la válvula de alivio

Siempre cuando se elaboran este tipo de equipos, se debe pensar tanto en los beneficios como en los cuidados que se debe tener para que no sufra daños y su vida útil disminuya considerablemente, ya que esto genera gastos pudiendo haber sido evitados.

Por ello, se implementan componentes, los cuales protegen al equipo en este caso del exceso de presión, nos estamos refiriendo a las válvulas de alivio de presión, ya que, si la presión que se produce sobrepasa el nivel establecido, dicha válvula se abre para descargar el fluido al reservorio.

Con esto claro, se tiene en el mercado 4 alternativas de válvulas de alivio, las cuales son válvula de alivio simple, de alivio accionada por servo-mando y de alivio a pistón. (FERREYROS, 2001)

La válvula de alivio simple como se puede observar en la figura 2.9 está conformada por un resorte y un carrete, al momento que se genera la máxima presión que soporte, la presión del fluido hace que el resorte se mueva y el carrete se abra haciendo que el fluido se dirija al tanque, esta válvula hace ruido y no se puede controlar de manera precisa el proceso.

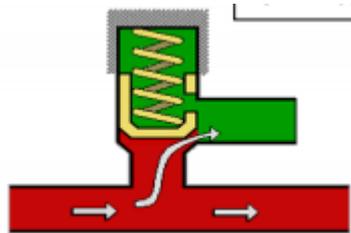


Figura 2. 9, Válvula de alivio simple

Fuente: (FERREYROS, 2001)

La válvula de alivio accionada por servo-mando como se puede observar en la figura 2.10, tiene los mismos componentes que la válvula nombrada con anterioridad, está conformado también por una válvula adicional y un resorte más débil, esto permite controlar de mejor manera el fluido al momento de enviarlo al tanque y de eliminar el ruido, es un poco más costoso.

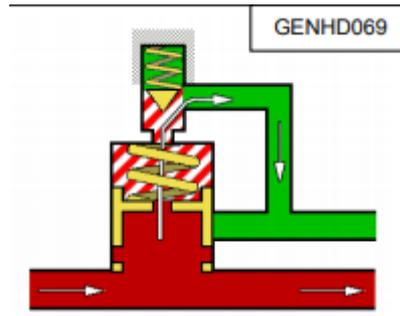


Figura 2. 10, Válvula de alivio accionada por servo-mando.

Fuente: (FERREYROS, 2001)

En la válvula de alivio de pistón como se puede observar en la figura 2.11 está conformado por un pistón, el cual empuja el carrete para abrir la válvula, haciendo que el fluido se dirija al tanque. (FERREYROS, 2001)

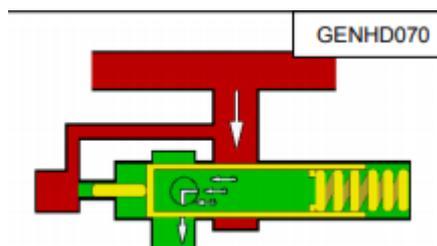


Figura 2. 11, Válvula de alivio de pistón.

Fuente: (FERREYROS, 2001)

2.5.5.1 Criterio de selección y ponderación para el tipo de válvula de alivio

Costo [0.10]: Este factor es preponderante al momento de realizar la cotización de cada uno de los repuestos, ya que se desea tener un componente que sea de costo razonable y cumpla con las especificaciones estimadas en el equipo didáctico.

Vida útil [0.25]: La componente a implementar debe tener una vida útil considerable, ya que esto reduce el costo en comprar o tener en stock un repuesto y que sea utilizado en corto plazo.

Disponibilidad en el mercado [0.25]: Las alternativas planteadas deben ser de fácil adquisición en el mercado local, ya que esto permite reducir costos con relación a la

importación y el tiempo que se toma en llegar el repuesto, además de reducir el costo en mantenimiento.

Eficiencia [0.25]: La alternativa a seleccionar debe cumplir con los parámetros del equipo y las especificaciones de todas las prácticas a realizar, ya que la función primordial es la de proteger a cada componente y que su desempeño sea el requerido para este tipo de equipos, minimizando pérdidas.

Ruido [0.15]: Como el lugar en donde se implementará el equipo es un lugar cerrado, el ruido será un factor que considerar ya que esto puede ocasionar daños a la salud de los estudiantes y del docente.

Cada criterio será evaluado en una escala de 5 puntos en cada concepto.

2.5.5.2 Matriz de decisión para el tipo de válvula de alivio

Tabla 2. 5, Matriz de decisión para la selección de la válvula de alivio.

Criterios de selección	Factor de peso	Alternativas					
		Válvula de alivio simple		Válvula de alivio accionado por servo-mando		Válvula de alivio a pistón	
		Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado
Disponibilidad en el mercado	0.25	4	1	4	1	3	0.75
Eficiencia	0.25	3	0.75	4	1	4	1
Vida útil	0.25	4	1	4	1	5	1.25
Ruido	0.15	3	0.45	4	0.6	4	0.6
Costo	0.10	4	0.4	5	0.5	3	0.3
		Total A	3.6	Total B	4.1	Total C	3.9

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 2.5 se escoge la alternativa B, la cual es la válvula de alivio accionada por servo-mando.

2.5.6 Selección de la bomba

Al realizar este tipo de equipos uno de los componentes más relevantes es la bomba, ya que este proporciona el caudal siempre recordando que la presión que se genera en el equipo es producida por la resistencia del fluido mas no por la bomba. Para esta componente se tienen 4 alternativas, las cuales son: bomba de caudal fijo

(desplazamiento fijo), de caudal variable (desplazamiento variable), bi-direccional y de presión compensada.

Las bombas de caudal fijo son las que producen como su nombre lo indica un caudal o volumen constante con respecto a cada revolución de la bomba.

Las bombas de caudal variable son las que permiten regular el caudal que se produzca en cada revolución de la bomba. Las bombas bi-direccionales son las que pueden funcionar en cualquier sentido, se puede alterar el sentido de giro y las bombas de presión compensada son las mismas bombas de caudal variable, pero poseen un elemento a la salida de la bomba que permite mantener la presión deseada son más costosas y su mantenimiento es más costoso. (FERREYROS, 2001)

2.5.6.1 Criterio de selección y ponderación para el tipo de bomba

Costo [0.10]: Este factor es preponderante al momento de realizar la cotización de cada uno de los repuestos, ya que se desea tener un componente que sea de costo razonable y cumpla con las especificaciones estimadas en el equipo didáctico.

Vida útil [0.25]: La componente a implementar debe tener una vida útil considerable, ya que esto reduce el costo en comprar o tener en stock un repuesto y que sea utilizado en corto plazo.

Disponibilidad en el mercado [0.25]: Las alternativas planteadas deben ser de fácil adquisición en el mercado local, ya que esto permite reducir costos con relación a la importación y el tiempo que se toma en llegar el repuesto, además de reducir el costo en mantenimiento.

Operatividad [0.25]: Esto está íntimamente relacionado con el diseño del equipo, ya que este componente debe cumplir con los requerimientos de cada una de las prácticas, esto se relaciona con las cargas que se producen en el sistema y las características básicas que debe tener el componente.

Ruido [0.15]: Como el lugar en donde se implementará el equipo es un lugar cerrado, el ruido será un factor que considerar ya que esto puede ocasionar daños a la salud de los estudiantes y del docente.

Cada criterio será evaluado en una escala de 5 puntos en cada concepto.

2.5.6.2 Matriz de decisión para el tipo de bomba

Tabla 2. 6, Matriz de decisión para el tipo de bomba

Criterios de selección	Factor de peso	Alternativas							
		Bomba de caudal fijo		Bomba de caudal variable		Bomba bi-direccional		Bomba de presión compensada	
		Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado	Calificación	Peso Ponderado
Costo	0.10	4	0.4	3	0.3	2	0.2	2	0.2
Operatividad	0.25	5	1.25	5	1.25	4	1	5	1.25
Ruido	0.15	4	0.6	4	0.6	4	0.6	4	0.6
Disponibilidad en el mercado	0.25	5	1.25	4	1	3	0.75	3	0.75
Vida útil	0.25	4	1	4	1	5	1.25	4	1
		Total A	4.5	Total B	4.15	Total C	3.8	Total D	3.8

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 2.6 la opción escogida es la alternativa A, la cual es la bomba de engranajes de caudal fijo como se puede observar en la figura 2.12

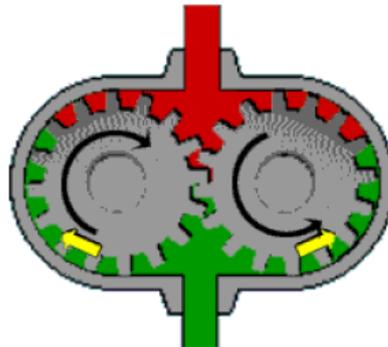


Figura 2. 12, Bomba de engranaje con caudal fijo.

Fuente: (FERREYROS, 2001)

2.6 Diseño detallado

En esta sección se colocará todas las alternativas seleccionadas con su respectivo cálculo, con la finalidad de poder obtener el dimensionamiento respectivo.

Para el diseño del banco de pruebas didáctico se describe el proceso secuencial con respecto a los cálculos. Se inicia con el diseño

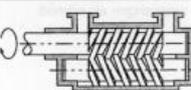
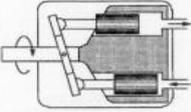
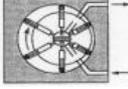
2.6.1 Diseño del sistema hidráulico de equipo.

El banco hidráulico cuenta con varios elementos considerados críticos, debido a que son imprescindibles para el correcto funcionamiento del sistema. Entre estos tenemos la bomba hidráulica, motor eléctrico, actuadores hidráulicos, válvulas, unidades de mantenimiento, y conexiones. En este apartado se dimensionará los valores críticos de trabajo de cada uno de estos componentes, para así preservar la seguridad de los estudiantes y seleccionar los componentes de acuerdo con sus valores de trabajo.

2.6.1.1 Selección parámetro bomba Hidráulica.

De acuerdo con las variables analizadas anteriormente (Sección 2.6.6) la bomba de engranajes externos con caudal fijo es la ideal para aplicaciones hidráulicas didácticas. A continuación, en la tabla 2.7 se adjuntan los parámetros de funcionamiento de las bombas más difundidas en los mercados de acuerdo con festo didactic.

Tabla 2. 7, Parámetros funcionamiento de bombas

	Tipo de bomba	Margen de revoluciones r.p.m	Volumen de expulsión (cm ³)	Presión nominal (bar)	Rendimiento
	Bomba de engranajes externos	500 - 3500	1,2 - 250	63 - 160	0,8 - 0,91
	Bomba de engranajes internos	500 - 3500	4 - 250	160 - 250	0,8 - 0,91
	Bomba helicoidal	500 - 4000	4 - 630	25 - 160	0,7 - 0,84
	Bomba de aletas celulares	960 - 3000	5 - 160	100 - 160	0,8 - 0,93
	Bomba de émbolos axiales - 3000	100	200	0,8 - 0,92
		750 - 3000	25 - 800	160 - 250	0,82 - 0,92
	Bomba de émbolos radiales	750 - 3000	25 - 800	160 - 320	0,8 - 0,92
		960 - 3000	5 - 160	160 - 320	0,90

Fuente: (Escobar, 2006)

Como se observa en la tabla anterior la bomba de engranajes externos trabaja en rangos de presión de 63 - 160 bar. Uno de los objetivos propuestos del proyecto integrador es que el sistema trabaje con presiones bajas para evitar posibles accidentes en las prácticas; una presión comercial de trabajo común es de 70 bar. Con estos parámetros de rendimiento y presión iniciaremos nuestros cálculos para el dimensionamiento del cilindro.

2.6.1.2 Diseño Cilindro Hidráulico

El actuador hidráulico de doble efecto cuenta con dos diámetros que interfieren en el cálculo de la fuerza ejercida tanto en la carrera de avance, como en la de retroceso. Estos son el diámetro del embolo y del vástago, para esto se consideró diámetros comerciales para luego comparar con los teóricos obtenidos.

Se obtendrá el valor de la fuerza de avance (Fuerza del pistón), mediante la implementación de la ecuación 2.1, se puede obtener la fuerza del pistón, también se la puede hallar de manera gráfica mediante la figura 2.13.

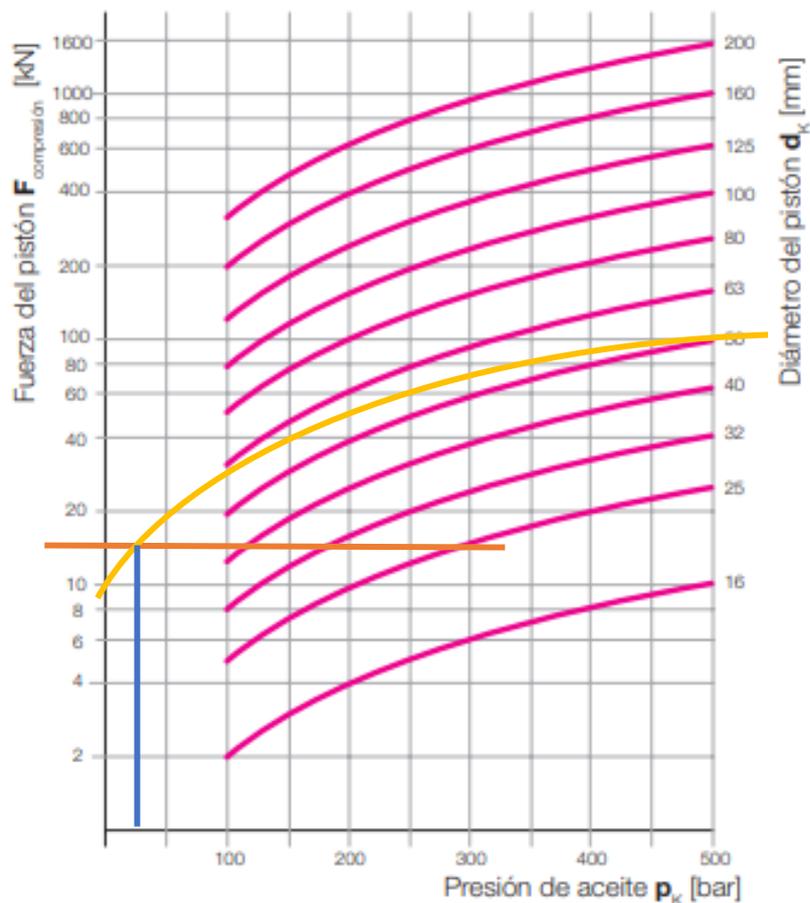


Figura 2. 13, Gráfico de la fuerza del pistón, presión del aceite y diámetro del embolo

Fuente: (ROEMHELD, 2013)

2.6.1.2.1 Fuerza de avance.

Manera gráfica

Con la intercepción entre el diámetro del embolo y la presión de servicio se obtiene la fuerza de avance o de pistón.

$$F_a \approx 15 \text{ KN}$$

Donde:

d_e : Diámetro del émbolo. 50.8 [mm].

p : Presión de servicio. 70 [bar].

Manera analítica

d_e : Diámetro del émbolo. 50.8 [mm].

p : Presión de servicio. 70 [bar].

$$F_a = \frac{0.785 * d_e^2 * p}{10^4} \quad (2.1)$$

$$F_a = \frac{0.785 * 50.8^2 * 70}{10^4} = 14.18 \text{ KN}$$

2.6.1.2.2 Fuerza de retroceso.

Dicho valor se lo obtiene mediante la utilización de la ecuación 2.2, el cual permite obtener el valor de fuerza de retroceso.

$$F_{re} = \frac{0.785 * (d_e^2 - d_v^2) * p}{10^4} \quad (2.2)$$

$$F_{re} = \frac{0.785 * (50.8^2 - 25.4^2) * 70}{10^4} = 10.64 \text{ KN}$$

Donde:

d_e : Diámetro del émbolo. 50.8 [mm].

d_v : Diámetro del vástago. 25.4 [mm].

p : Presión de servicio. [bar].

Con los valores obtenidos se procede a realizar la comprobación de los diámetros, para poder asegurar que las asunciones realizadas son las adecuadas, mediante la ecuación

2.3 se procede a obtener el diámetro estimado y si el mismo es menor al asumido nuestros cálculos están bien realizados.

Comprobación de diámetro.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

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

$$d = \sqrt{\frac{4 * F}{P * \pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 14180}{7000000 * \pi}} = 0.05068 \text{ m} = 50.68 \text{ mm}$$

$$50.68 < 50.80$$

Con los valores establecidos se elabora un cuadro donde se colocan las características del actuador, dichos valores pueden ser observados en la tabla 2.8.

Tabla 2.8, Características del actuador.

Características de cilindro.	
Presión operación	70 bar – 1015 psi
Diámetro Embolo	50.8 mm
Diámetro vástago	25.4 mm
Carrera	200 mm
Fuerza en avance	14.18 kN
Fuerza en retroceso	10.64 KN

Fuente: Elaboración propia.

2.6.1.3 Cálculo Bomba Hidráulica.

Los parámetros que definen el funcionamiento de la bomba son la presión y el caudal de trabajo. El primero se determina de acuerdo con el grupo de familias de bombas de

engranajes externos como se puede visualizar en la tabla 2.7, para la determinación del caudal es importante determinar la velocidad crítica de avance del sistema y el volumen del cilindrado de una carrera.

2.6.1.3.1 Determinación área de trabajo de émbolo.

Se procede a obtener el área de trabajo del émbolo por motivos de obtener en cálculos futuros la velocidad crítica en la que funciona el cilindro, mediante la ecuación 2.4, se puede hallar el área de trabajo estimado.

$$A = \frac{\pi d_e^2}{4} \quad (2.4)$$

$$A = \frac{\pi (50.8 \times 10^{-3})^2}{4} = 2.027 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Donde:

A: Área de cilindro [m^2]

d_e : Diámetro embolo [m]

2.6.1.3.2 Determinación volumen de cilindrada hidráulica.

Luego de obtener el área de trabajo se procede a obtener el volumen de cilindrado, mediante la implementación de la ecuación 2.5 para obtener el volumen mínimo en la que trabajará el cilindro.

Se escogió la longitud de la carrera

$$V = A * L \quad (2.5)$$

$$V = 2.027 \times 10^{-3} * 0.200$$

$$V = 4.0536 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Donde:

A= Área de cilindro [m^2]

L = Longitud carrera. [m]

2.6.1.3.3 Determinación velocidad crítica de trabajo

Para la determinación de la velocidad crítica de trabajo se debe trabajar con un caudal de operación; para la selección de este caudal se usó las recomendaciones de fabricación del manual de festo didactic, el cual recomienda caudales de trabajo de 2 – 10 L/min. Para condiciones de diseño se escoge el caudal máximo de 10 L/min. Primero

se convierten a las unidades deseadas, y mediante la implementación de la ecuación 2.6 se obtiene la velocidad crítica de trabajo.

$$Q = 10 \frac{L}{min} * \left(\frac{1 min}{60 s} \right) * \left(\frac{0.001 m^3}{1 l} \right) = 1.67 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{crítica} = \frac{Q}{A} \quad (2.6)$$

$$V_{crítica} = \frac{1.67 \times 10^{-4}}{2.027 \times 10^{-3}} = 82.22 \frac{mm}{s}$$

Donde:

Q: Caudal. [m³/s]

A: Área de trabajo del embolo. [m²]

2.6.1.4 Determinación de caudal de operación.

Para el cálculo del caudal de operación de debe determinar el tiempo crítico de trabajo del sistema mediante la ecuación 2.7, para esto se usa la velocidad crítica y la longitud de carrera.

Luego de esto se halla el caudal de operación mediante el uso de la fórmula 2.8.

2.6.1.4.1 Determinación de tiempo crítico.

$$t = \frac{200}{82.38} = 2.42 s \quad (2.7)$$

Con dicho valor se procede a obtener el caudal de operación.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.8)$$

$$Q = \frac{1.67 \times 10^{-4}}{2.42} = 6.90 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} * \left(\frac{1000 L}{1 m^3} \right) * \left(\frac{60 s}{1 min} \right) = 4.14 \frac{L}{min}$$

2.6.1.5 Determinación de caudal real.

Para la determinación del caudal real se debe considerar el factor de pérdida que existe en el sistema debido a las conexiones que por lo general es de 0.95. Esto se obtiene mediante la ecuación 2.9.

$$Q_{real} = \frac{Q}{n} \quad (2.9)$$

$$Q_{real} = \frac{4.14}{0.95} = 4.35 \frac{L}{min}$$

$$4.35 \frac{L}{min} \left(\frac{1 m^3}{1000 L} \right) \left(\frac{1 min}{60 s} \right) = 7.25 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

2.6.1.6 Determinación de diámetro de tuberías.

Para la determinación del diámetro de tuberías de conducción de aceite hidráulico se debe realizar un proceso iterativo, tomando en cuenta que la velocidad del fluido dentro de la tubería se mantenga dentro de un rango de velocidades ya normalizadas como se observa en la tabla 2.8.

Tabla 2. 8, Tuberías de impulsión

Tuberías de Impulsión	
Presión [bar]	Velocidad [m/s]
Hasta 50	4.0
Hasta 100	4.5
Hasta 150	5.0
Hasta 200	5.5
Hasta 300	6.0

Fuente: Elaboración propia.

$$Q = vA \quad (2.10)$$

Donde

v : Velocidad en tuberías. [m/s]

A : Área de la tubería [m²]

Se procede a despejar la velocidad para poder obtener realizar las iteraciones respectivas, con el objetivo de poder encontrar el diámetro de tubería adecuado.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4*Q}{\pi d^2} \quad (2.11)$$

Se debe seleccionar primero el diámetro de la tubería, para sustituirse en la ecuación 2.11 para recalculer la velocidad y comprobar que se mantenga dentro del rango recomendado de velocidades.

Primera iteración

Para manguera de 1/8 in (3.175 mm)

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

$$v = \frac{4 * 7.25 \times 10^{-5}}{\pi (3.175 \times 10^{-3})^2} = 9.16 \frac{m}{s}$$

Segunda iteración

Para manguera de 1/4 in (6.35 mm)

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

$$v = \frac{4 * 7.25 \times 10^{-5}}{\pi (6.35 \times 10^{-3})^2} = 2.29 \frac{m}{s}$$

Por lo tanto, está dentro de los parámetros de presiones de hasta 100 bares, trabajando con una velocidad menor a 4.5 m/s.

2.6.1.7 Determinación del diámetro de los pernos

Los pernos están siendo sometidos a cortantes, lo cual nos permite realizar el siguiente análisis:

Se asume que el peso del cilindro es de 37.27 N y que el pistón tendrá un peso de 17.65 N por los 200 mm de carrera, ya que por cada 10 mm el peso del pistón era de 0.883 N. Con los valores de los pesos establecidos se tiene la fuerza de avance del pistón obtenida de la ecuación 2.1, ya que dicho valor es el más crítico y puede generar falla en el perno si no se lo escoge de la manera correcta.

Primero se procede a elaborar el diagrama de cuerpo libre del actuador como se puede observar en la figura 2.14, ya que estos pernos estarán sometidos a esfuerzo cortante, por el peso del cilindro. Para tener un mayor análisis se asumirá el mayor caso, el cual es, cuando el pistón esta salido en su totalidad del cuerpo del actuador.

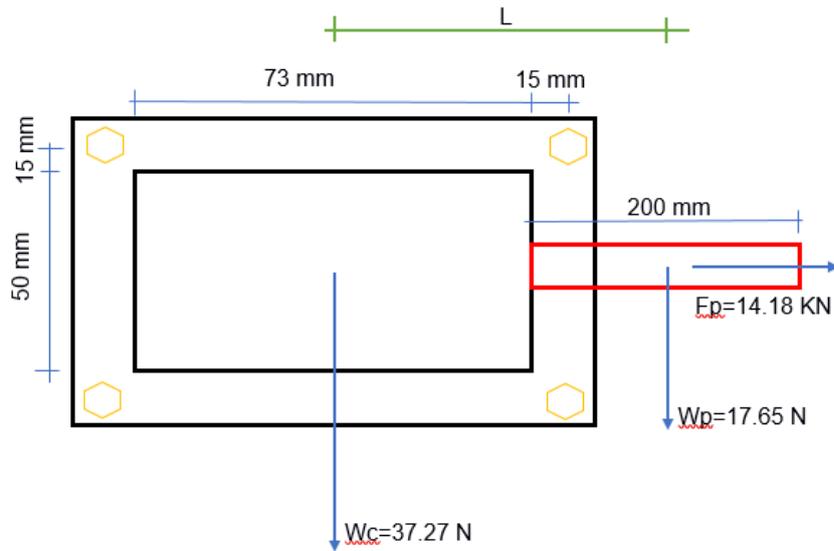


Figura 2. 14, Diagrama de cuerpo libre del actuador con sus respectivos pernos.

Fuente: Elaboración propia.

Al tener elaborado el diagrama de cuerpo libre se procede a realizar el diagrama, pero en donde se llevan todas las fuerzas y momentos al centroide. Esto se puede visualizar en la figura 2.15.

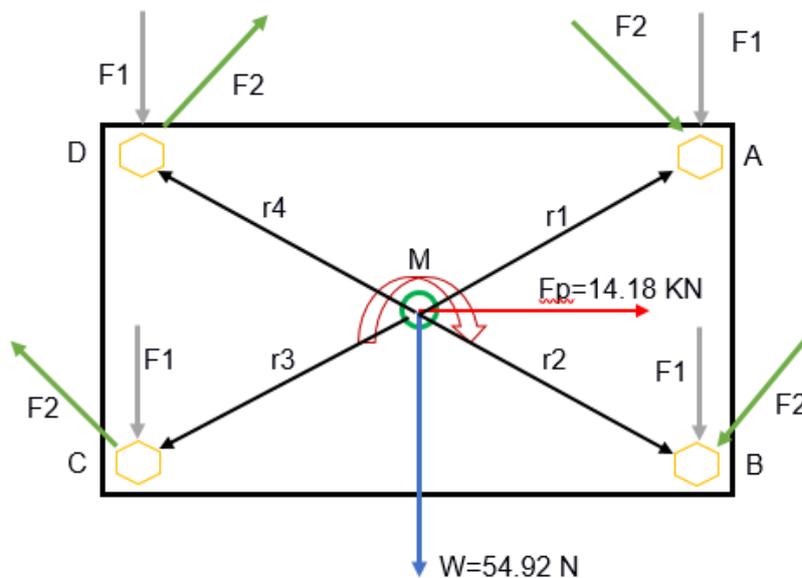


Figura 2. 15, Diagrama de cuerpo libre de la traslación de fuerzas y momentos al centroide.

Fuente: Elaboración propia.

Con la elaboración de los diagramas correspondientes se procede a obtener el diámetro del perno.

Al observar la figura 2.15, se procede a obtener el momento generado cuando se desplaza las fuerzas al centroide.

2.6.1.7.1 Determinación del momento generado en el centroide.

Al momento de trasladar las fuerzas al centroide se procede a obtener el momento correspondiente mediante la ecuación 2.12

$$M = Wp * L \quad (2.12)$$

Donde:

Wp : Peso del vástago. [N]

L: Distancia del centroide al peso del vástago. [m]

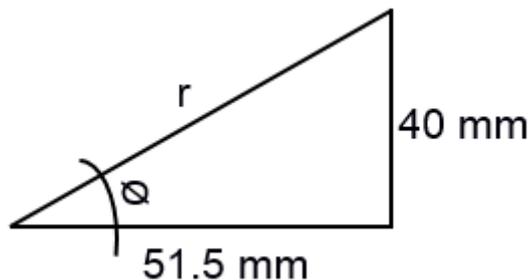
M: Momento [N*m]

$$M = 17.65 * 0.152 = 2.68 [N * m]$$

2.6.1.7.2 Determinación de la fuerza secundaria

Al momento de obtener el momento se procede a encontrar la fuerza secundaria mediante la ecuación 2.13, la cual si observamos la figura 2.15 el radio del momento es igual para cada uno de los pernos. Por ende, se asume que $r_1=r_2=r_3=r_4=r$.

Se obtiene el valor de r de la siguiente manera:



$$r = \sqrt{(51.5)^2 + 40^2}$$

$$r = 65.21 \text{ mm.}$$

$$\frac{\sin 90}{65.21} = \frac{\sin \phi}{40}$$

$$\phi = \sin^{-1} \frac{65.21}{40} = 37.84^\circ$$

Al obtener el valor de r se procede a obtener el valor de la fuerza secundaria.

$$F2 = \frac{M*r}{n*r^2} \quad (2.13)$$

Donde

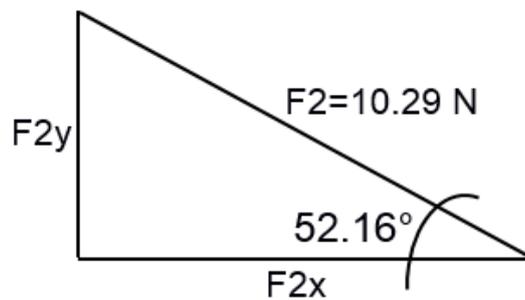
M: Momento [N*m]

r: Distancia perpendicular de la fuerza. [m]

n: Número de pernos.

$$F2 = \frac{2.68 * 0.06521}{4 * 0.06521^2} = 10.29 \text{ N}$$

Se procede a descomponer las F2 en los ejes X y Y.



En X:

$$\cos 52.16^\circ = \frac{F2x}{F2}$$

$$\cos 52.16^\circ * F2 = F2x$$

$$\cos 52.16^\circ * 10.29 = F2x$$

$$F2x = 6.31 \text{ N}$$

En Y:

$$\sin 52.16^\circ = \frac{F2y}{F2}$$

$$\sin 52.16^\circ * F2 = F2y$$

$$\sin 52.16^\circ * 10.29 = F2y$$

$$F2y = 8.13 \text{ N}$$

2.6.1.7.3 Determinación de la fuerza primaria

Al observar la figura 2.15, se debe tener para el análisis del perno dos fuerzas que son la fuerza primaria y la secundaria, ya en los cálculos anteriores se obtuvo la fuerza secundaria, ahora se procede a obtener la fuerza primaria con la ecuación 2.14.

$$F_1 = \frac{W_c + W_p}{n} \quad (2.14)$$

Donde

Wc: Peso del cilindro [N]

Wp: Peso del pistón. [N]

n: Número de pernos.

$$F_1 = \frac{37.27 + 17.65}{4} = \frac{54.92}{4} = 13.73 \text{ N}$$

2.6.1.7.4 Determinación de la fuerza resultante

Al obtener todas las fuerzas colocadas en el diagrama nos falta descomponer la Fuerza de avance ejercida del pistón la cual se la obtiene mediante la utilización de la ecuación 2.15.

$$F_p = \frac{F_p}{n} \quad (2.15)$$

Donde

Fp: Fuerza de avance del pistón. [N]

n: Número de pernos.

$$F_p = \frac{14.18}{4} = 3.545 \text{ KN}$$

Al momento de observar la figura 2.15, el perno A será seleccionado como el perno de análisis, ya que al momento de realizar el análisis de fuerzas es el que más soporta estas cargas. Por ende, al momento de conocer todas las fuerzas se procede a hallar la fuerza resultante aplicando sumatoria de fuerzas tanto en x como en y, mediante la utilización de las ecuaciones 2.16 y 2.17

En X:

$$\sum F_x = F_{2x} + F_p$$

$$F_x = F_{2x} + F_p \quad (2.16)$$

$$F_x = 6.31 + 3.545 * 10^3 = 3.551 * 10^3 \text{ N}$$

En Y:

$$\sum F_y = F_{2y} + F_1$$

$$F_y = F_{2y} + F_1 \quad (2.17)$$

$$F_y = 8.13 + 13.73 = 21.86 \text{ N}$$

Con dichos valores se procede a obtener la fuerza resultante mediante la ecuación 2.18.

$$Fr = \sqrt{Fx^2 + Fy^2} \quad (2.18)$$

$$Fr = \sqrt{(3.551 * 10^3)^2 + 21.86^2}$$

$$Fr = 3.55 \text{ KN}$$

Con estos valores se procede a obtener el diámetro del perno, se asume un factor de seguridad de 3 y se trabajará con un perno número de clase 5.8, en donde se escoge una resistencia a la fluencia mínima de 420 MPa, como se puede observar en la tabla 2.9.

Tabla 2. 9, Especificaciones para pernos de acero.

Número de clase	Intervalo del tamaño del diám. ext. (mm)	Resistencia de prueba mínima (MPa)	Resistencia a la fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tensión mínima (MPa)	Material
4.6	M5-M36	225	240	400	bajo o medio carbono
4.8	M1.6-M16	310	340	420	bajo o medio carbono
5.8	M5-M24	380	420	520	bajo o medio carbono
8.8	M3-M36	600	660	830	medio carbono, Q&T
9.8	M1.6-M16	650	720	900	medio carbono, Q&T
10.9	M5-M36	830	940	1 040	martensita al bajo carbono, Q&T
12.9	M1.6-M36	970	1 100	1 220	aleación, templada y revenida

Fuente: (NORTON, 2011)

Como están siendo sometidos los pernos a cortante el valor de S_y es la mitad para cortante, por ende

$$S_{ys} = 0.5 * S_y$$

$$S_{ys} = 0.5 * 420 = 210 \text{ MPa.}$$

Con este valor se procede a obtener el esfuerzo cortante generado en el perno, mediante la ecuación 2.19.

$$N_s = \frac{S_{ys}}{\tau} \quad (2.19)$$

Donde

N_s : Factor de seguridad.

τ : Esfuerzo cortante [MPa]

$$\tau = \frac{210}{3} = 70 \text{ MPa}$$

Con el valor del esfuerzo cortante se puede encontrar el diámetro del perno, mediante la ecuación 2.20.

$$\tau = \frac{Fr}{A_p} \quad (2.20)$$

Donde

Fr: Fuerza resultante. [N]

τ : Esfuerzo cortante [MPa]

A_p : Área del perno. [m²]

$$\tau = \frac{Fr}{\frac{\pi}{4} * dp^2}$$

$$dp = \sqrt{\frac{Fr}{\frac{\pi}{4} * \tau}} = \sqrt{\frac{3.55 * 10^3}{\frac{\pi}{4} * 70 * 10^6}} = 8.03 \text{ mm}$$

2.6.1.8 Aumento de la temperatura del fluido en la máquina

Al momento que se empieza a realizar las prácticas respectivas en el equipo, el fluido hidráulico sufrirá un incremento en su temperatura, por motivos del proceso de succión y descarga generados en la máquina, por ende, a continuación, se procede a calcular el aumento de temperatura por medio de la ecuación 2.21, ya que esto afecta el rendimiento del aceite hidráulico seleccionado, por motivos que disminuye su viscosidad y su vida útil.

$$\Delta T = \frac{H}{102.23 * C_p} * \left[\frac{1}{\eta_T} - 1 \right] \quad (2.21)$$

Donde:

ΔT : Aumento de la temperatura del fluido [°C]

H: Disponibilidad del fluido [m]

C_p : Calor específico del fluido $\left[0.0296 \frac{KJ}{m^3 * ^\circ C} \right]$

η_T : Eficiencia total.

Para obtener el valor de la eficiencia total se lo obtuvo por medio de la tabla 2.10 en donde se puede observar que para motores constantes cuya funcionalidad se realiza por medio de engranajes, su rendimiento total es igual a 85%.

Tabla 2. 10, Comparación de los motores con respecto a sus características más importantes

tipos de motores		designación Rexroth	TN corresponde a la cilindrada en cm ³	$p_{m\acute{a}x}$ > p_{nom} en bar	rango de revoluciones en funci3n del tama1o en min ⁻¹	com- porta- miento en el arranque	nivel sonoro	rendi- miento- to $\eta_{t\ m\acute{a}x}$	
motor a engranajes		G2 G3	6 hasta 38	250	500 hasta 3000			85	
motores constantes	motor de pistones axiales	marcha r\apida	eje inclinado	A2FM A2FE A2F/BR5	10 hasta 250 28 hasta 180 355 hasta 1000	450 450 400	50 hasta 6000 50 hasta 4750 50 hasta 2240		92
			platina inclinada	A4FM	22 y 28	450	30 hasta 4000		91
	marcha lenta		MCS MC(4) MC(6)	200 hasta 1500	250	5 hasta 500		90	
	hidromotor en modo de cicloide		MZA MZD MZF MZK	60 hasta 270	225	10 hasta 1000		85	

Fuente: (DREXLER, 1988)

Para poder obtener la disponibilidad se procede a utilizar la ecuaci3n 2.22, la cual relaciona la presi3n de servicio con el peso espec\ifico del aceite seleccionado, en nuestro caso es el aceite ISO 46.

$$H = \frac{P}{\gamma} \quad (2. 22)$$

Donde:

P: Presi3n de servicio [7MPa]

γ : Peso espec\ifico [8565.2 N/m³]

$$H = \frac{7\ MPa}{8565.2\ \frac{N}{m^3}} = 817.26\ [m]$$

Con todos los par\ametros ya conocidos se procede a obtener el aumento de temperatura.

$$\Delta T = \frac{817.26}{102.23 * 0.0296} * \left[\frac{1}{0.85} - 1 \right]$$

$$\Delta T = 47.6\ ^\circ C$$

2.6.1.9 Dimensionamiento del volumen del tanque

Para poder dimensionar el tanque se dice que se estima que el volumen del tanque debe ser de 3 a 5 veces el caudal producido por la bomba, por ende, se aplica la ecuación 2.23.

$$V_T = 3 \text{ hasta } 5 * Q_p \quad (2. 23)$$

$$V_T = 5 * 10 = 50 \frac{L}{mi}$$

2.6.1.10 Perdidas por accesorios en tuberías

Las tuberías por donde pasa el fluido hidráulico se producen perdidas solo con respecto al cambio de sección como se puede observar en la tabla 2.11 se puede obtener la razón del diámetro menor al mayor lo cual nos da un valor aproximado de 0.15, mediante la ecuación 2.24 se procede a obtener las perdidas por accesorios. Al dirigirnos a la tabla 2.8 se puede observar que la velocidad del fluido en la tubería es de 4.5 m/s.

$$h_f = K * \frac{v^2}{2 * g} \quad (2. 24)$$

Donde:

K: Coeficiente de resistencia

V: Velocidad interna del fluido en la tubería [m/s]

g: 9.81 [m/s²]

$$h_f = 0.15 * \frac{4.5^2}{2 * 9.8} = 0.16 \text{ m}$$

Tabla 2. 11, Coeficiente de resistencia para cambios de sección.

	Razón del diámetro menor al mayor								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
10 % de conicidad				0,35	0,25	0,20			
20 % de conicidad				0,15	0,12	0,10			
Expansión brusca	2,0								0,15
Contracción brusca	0,5	0,45	0,45	0,45	0,45	0,4	0,3	0,2	0,15
Entrada Brusca									
Gradual				Normalmente 0,5					
Tubo saliente				Superior a 0,5					
Salida Brusca				Normalmente 1,0					
Gradual				Normalmente 1,0					
				Superior a 0,12					

Fuente: (ESCALANTE, 2012)

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Análisis de Resultados

En esta sección del documento presente, se muestran los valores obtenidos en la sección 2, con la finalidad de realizar el análisis correspondiente a cada uno de los componentes que conforman a nuestro equipo.

En esta sección se realizará tanto el dibujo total del equipo mediante un software CAD (INVENTOR) como también la correspondiente simulación mediante un software libre relacionado a hidráulica, en donde se colocará todas las componentes que conforman las prácticas establecidas, y se obtendrá resultados que nos ayude a comprender el comportamiento global de todo el sistema y si los parámetros calculados en la sección dos están cercanos a los reales.

3.1.1 Simulación y diseño CAD del equipo

Al momento de seleccionar todas las componentes que integran nuestro equipo didáctico, se procedió a elaborar la correspondiente simulación. Dicha simulación fue elaborada en un software libre, en el cual se realizaron sus correspondientes conexiones entre todos los elementos con el objetivo de apreciar cómo sería el comportamiento global del sistema y si los valores calculados en la sección 2 están cercanos a los obtenidos mediante la simulación.

En la sección de anexos desde el anexo A hasta el anexo V se puede apreciar el modelo de cada uno de los elementos escogidos que conformarán al equipo, además en la tabla 3.1 se puede apreciar el listado de todos los elementos con su respectivo valor, marca y el lugar en donde se puede obtener el repuesto.

En la figura 3.1 se puede apreciar la simulación del equipo en el lado izquierdo y el diseño en CAD en el lado derecho.

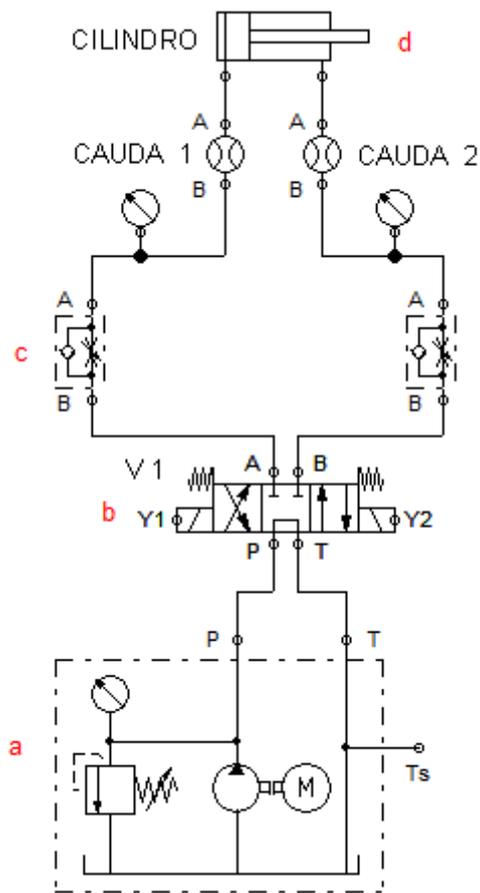


Figura 3. 1, Simulación y diseño CAD del equipo didáctico.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 3.2 se puede apreciar el sistema eléctrico del equipo, para tener una mayor comprensión del funcionamiento del equipo y de cada uno de los componentes que lo conforman.

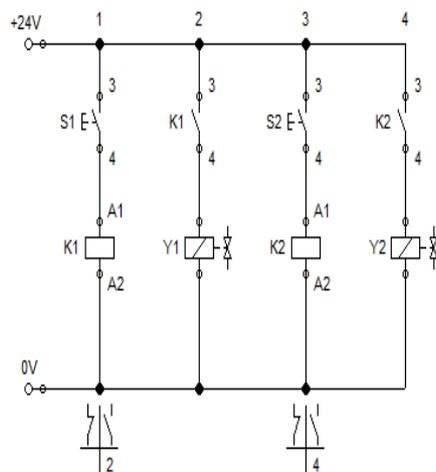


Figura 3. 2, Sistema eléctrico del equipo.

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2 Elaboración de las prácticas

Al momento de conocer tanto los elementos que conforman al equipo, el diseño CAD y su correspondiente simulación, se procede a elaborar las prácticas para el laboratorio de mecatrónica. Las dos prácticas que se tienen planificadas realizar son:

Práctica N.-1: Control de velocidad de un pistón de doble efecto con una electroválvula de accionamiento eléctrico.

Práctica N.-2: Control de velocidad de un motor hidráulico con una electroválvula de accionamiento eléctrico.

La práctica N.-1 se encuentra ubicada en el anexo W mientras que la práctica N.-2 se encuentra ubicada en el anexo X. Ambas prácticas poseen su correspondiente conexión en donde han sido probadas mediante el simulador y también fueron diseñadas en el CAD.

3.1.3 Guía de mantenimiento del equipo didáctico.

Al conocer que prácticas son las que se realizarán en el equipo, se procede a la elaboración de la guía de mantenimiento la cual siempre es de suma importancia para que los componentes no resulten afectados en su vida útil y siempre velando por la seguridad del cliente.

En la sección de anexos específicamente en el anexo Y se puede observar la guía completa con relación al mantenimiento del equipo y los pasos a seguir para realizarlos de la mejor manera.

3.2 Análisis de Factibilidad

En esta sección se detallarán los valores estimados de cada uno de los componentes que conforman el equipo mediante cotización a diferentes locales entre ellos se encuentran HYDROMECHANICA, HIVIMAR, ECUAINSETEC, MAQUINARIA ENRIQUES y HNSA (Colombia). Las cotizaciones realizadas fueron mediante entrevista y vía e-mail, las mismas que nos permitieron determinar que la mayoría de los componentes pueden ser comprados en el mercado local y también fabricados localmente, sin embargo, existen componentes que deben ser conseguidos mediante importación ya que las componentes que cumplan con las especificaciones establecidas no se encuentran en el mercado local.

La rentabilidad, confiabilidad y vida útil de los componentes se respalda con el mantenimiento idóneo a todo el equipo, ya que se presentan 3 dispositivos que actuarán como seguros de vida para los componentes y el usuario. Los cuales son el fluido hidráulico, la válvula limitadora de presión y los filtros. Los filtros son los que garantizan la vida útil de todo el equipo en general, por ende, en ese único componente no se escatimaran costo alguno.

Los valores que se detallan en la tabla 3.1 ya contienen los valores con respecto a la fabricación de la base, además se puede visualizar el lugar donde se puede obtener cada repuesto, marca de cada uno y el costo que presenta cada elemento en el mercado local.

Tabla 3. 1, Componentes que conforman el equipo con su respectiva cotización.

Sistema	Ítem	Marca	Lugar	Descripción	Cantidad	Precio	
						Unitario	Total
Sistema mecánico			INMESCOP	Estructura base	2	\$250	\$500
			INMESCOP	Tanque sumidero	1	\$165	\$165
		HYDROSIL A	HYDROMECHANIC A	Bomba hidráulica	1	\$350	\$350
		HYDROSIL A	HYDROMECHANIC A	Motor hidráulico	1	\$ 262	\$262
		WEG	QUITO (ELBATAN)	Motor eléctrico	2	\$305	\$610
		ECOFLEX	MAQUINARIA ENRIQUES	Acople motor bomba	1	\$89	\$89
		PARKER	HIVIMAR	Mangueras con acople	16 metros	\$23.75	\$380
		HYDROLIN E	HYDROMECHANIC A	Filtro de retorno	1	\$154	\$154
		HYDROLIN E	HYDROMECHANIC A	Filtro de succión	1	\$83.21	\$83.21
		PARKER	HIVIMAR	Filtro de presión	2	\$276	\$552
		HAWE	ECUAINSETEC	Válvula limitadora de presión	2	\$88	\$176

		HAWE	ECUAINSETEC	Válvula reguladora de caudal	2	\$100	\$200
		HAWE	ECUAINSETEC	Manifold	2	\$80	\$160
		HYDROSIL A	HYDROMECHANIC A	Cilindro de doble efecto	2	\$200	\$400
Sistema eléctrico		PARKER	HIVIMAR	Válvula modular reguladora de caudal	1	\$634	\$634
		PARKER	HIVIMAR	Válvula modular reguladora de presión	1	\$600	\$600
		IFM	ECUAINSETEC	Sensor Inductivo	1	\$32	\$32
		WEG	QUITO (ELBATAN)	Guardamotor	1	\$350	\$350
Sistema electrónico		HAWE	ECUAINSETEC	Electroválvulas	1	\$189	\$189
				PLC	1	\$380	\$380
Instrumentos de medición		IFM	ECUAINSETEC	Indicador de nivel	1	\$134	\$134
		IFM	ECUAINSETEC	Transductor de presión	1	\$413	\$413
		IFM	ECUAINSETEC	Caudalímetro	3	\$500	\$1500
		IFM	ECUAINSETEC	Manómetro	4	\$83	\$332
		IFM	ECUAINSETEC	Transmisor de Temperatura PT100	1	\$81.6	\$81.6
		IFM	ECUAINSETEC	Encoder para medir revoluciones	2	\$280	\$560
Total de costo						\$9,382.81	

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se diseñó íntegramente un sistema de electrohidráulica básica para los estudiantes de Mecatrónica de ESPOL, el cual consta de sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos.

Para los diseñadores del sistema fue una oportunidad para conocer de sistemas electrónicos que comúnmente se encuentran en el ámbito laboral y de sistemas hidráulicos muy poco estudiados a lo largo de la carrera.

debido a esto establecimos relaciones entre la parte mecánica y eléctrica de equipos.

Para los beneficiados inmediatos que son los estudiantes de la carrera de mecatrónica significa una oportunidad para entablar la relación muchas veces nula, entre la práctica y la teoría de la hidráulica. Conocerán equipos que se usan a diario en las industrias ecuatorianas y su función específica.

Con el diseño y futura implementación se busca que los estudiantes al salir de las respectivas carreras de la facultad tengan experiencia y conozcan de equipos hidráulicos como actuadores lineales y rotatorios, programadores lógicos controlables y las diferentes formas en que se puede controlar la presión y caudal en sistemas hidráulicos.

Conclusiones

Las conclusiones siempre tienen que estar respaldadas por los resultados obtenidos en el trabajo y tienen que referirse a los objetivos planteados al inicio del proyecto.

- Se logró diseñar y esquematizar un sistema de electrohidráulica de fabricación local consiguiendo reducir costos hasta en un 56.56% comparando precios con proveedores externos.
- Se diseñó un sistema de control de velocidad lineal para un actuador hidráulico usando dispositivos electrónicos como válvulas proporcionales de caudal, en la cual se puede controlar velocidades lineales desde $37 \frac{mm}{s}$ hasta $197.34 \frac{mm}{s}$.

- Se realizó un sistema de control de velocidad de rotación del motor hidráulico modelo GM2K6, estableciendo una relación entre caudal y velocidad de rotación. Se pueden controlar velocidades de 120 rpm hasta 600 rpm.
- Se realizó el dimensionamiento y selección de componentes mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos considerando rangos de trabajo de bancos didácticos para preservar la seguridad de los estudiantes.
- Se realizó el modelo tridimensional del banco hidráulico usando el software de diseño Inventor para dejar establecidas las disposiciones de los elementos y las conexiones hidráulicas de las mangueras para las diferentes prácticas.
- Se realizó cotizaciones con diferentes proveedores para obtener un estimado del costo de los equipos, mano de obra y puesta en marcha del sistema electrohidráulico.
- Se realizó el diseño del sistema electrohidráulico considerando utilizando ambos lados de trabajo; el primero controlado por un PLC micrologix mientras que el segundo con accionadores mecánicos convencionales.

Recomendaciones

- El motor y la bomba hidráulica deben ser alineados correctamente; alineando sus ejes primero para después colocar el acople de transmisión.
- La bomba antes de ser colocada en el tanque debe ser cargada con aceite hidráulico antes de la primera puesta en servicio para evitar que los engranajes se accionen en seco. Se debe comprobar el sentido de rotación de la bomba para comprobar el flujo.
- Antes de cargar el tanque de almacenamiento con aceite hidráulico es imprescindible verificar la suciedad de este y de ser el caso limpiarlo.
- Antes de colocar el aceite hidráulico se debe colocar una malla o un filtro en la entrada del tanque para preservar de cualquier impureza el sistema. La malla del filtro no debe ser mayor que la de los filtros instalados en el equipo. (5 micras)
- La frecuente limpieza de mangueras y conexiones alarga la vida útil de los componentes del equipo hidráulico.

- Para la puesta en marcha del equipo todas las válvulas limitadoras de presión o de seguridad deben estar sin presión.
- En la puesta en marcha se debe configurar las conexiones con presiones y caudales de trabajo bajos para prever alguna conexión errónea que afecte los componentes del banco.
- Durante todo el tiempo que este accionado el equipo deben controlarse los niveles de fluido, la temperatura del tanque, la emisión de ruido y la suciedad de los filtros instalados.
- Tener siempre ajustadas y aseguradas las válvulas de presión y caudal manteniendo estos valores entre los rangos de operación.
- Verificar conexiones de acoples rápidos antes de accionar el equipo electrohidráulico.

BIBLIOGRAFÍA

- CADAVID, J. I. (2011, 12 11). *EVALUACION DE PERDIDAS DE ENERGIA EN TUBERIAS*. Retrieved from https://fluidsmechanics.wikispaces.com/Cap_5Evaluaci%C3%B3n+de+p%C3%A9rdidas+de+energ%C3%ADa+debidas+a+la+fricci%C3%B3n+en+tuber%C3%ADas
- Charaja, J. N. (2010, OCTUBRE 19). *SLIDE SHARE*. Retrieved from Simbologia hidraulica: <https://es.slideshare.net/juanitonina/simbologia-hidraulica>
- DREXLER, F. F. (1988). *PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS HIDRÁULICOS*. POSTFACH 340: D 6980 WERTHEIM/WARTBERG.
- ECOFLEX. (2015, 04 12). *Acoplamiento elástico*. Retrieved from www.csit.com
- ESCALANTE, I. N. (2012, 04 22). *TABLAS DE PERDIDAS Y RESISTENCIAS EN TUBERIAS Y ACCESORIOS*. Retrieved from http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/tablas_de_perdidas_y_resistencia_en_tuberias_y_accesorios.pdf
- Escobar, J. S. (2006, 12 15). *UDLAP*. Retrieved from http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/ortega_e_js/
- FERREYROS. (2001, Febrero 14). *MANUAL DEL ESTUDIANTE INSTRUCCION TÉCNICA*. Retrieved from CURSO HIDRÁULICA Y NEUMÁTICA: <file:///C:/Users/Danny/Desktop/Materia%20integradora/MANUAL%20DEL%20ESTUDIANTE%20HIDRAULICO.pdf>
- FESTO. (2017, 11 21). *Detectores de proximidad SIE, Inductivos*. Retrieved from www.festo.com
- Figueroa, D. P. (2016, marzo 7). *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. Retrieved from <file:///C:/Users/Danny/Desktop/Materia%20integradora/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-43.pdf>
- HYDRAULIC, S. C. (2016, 02 10). *Hydraulic Power & Control*. Retrieved from www.hydraulic-supply.com
- HYDRAULIK, H. (2007, 05 12). *HAWE HYDRAULIK*. Retrieved from www.HAWEHYDRAULIK.com
- IFM. (2016, 06 30). *Instrumentos de medición para fluidos hidráulicos*. Retrieved from www.ifm.com

INSTITUTO, V. (2015, 04 12). *migueangelreyes.blogspot*. Retrieved from <http://migueangelreyes.blogspot.com/2015/04/valvulas.html>

MANUEL BILBAO, A. M. (2002, 05 04). *LUBRICATION MANAGEMENT IK4-TEKNIKER*. Retrieved from <http://lubrication-management.com>

NORTON, R. L. (2011). *Diseño de máquinas*. Mexico: Cámara Nacional de la Industria.

PARKER. (2010, 10 02). *Manguera hidráulica, terminales y equipo*. Retrieved from www.parker.com

PRODUCTS, H. (2005, 06 15). *HYDROMECAÁNICA DEL ECUADOR*. Retrieved from <http://www.hydropneumatica.com/images/pdf/7.FILTROS-HIDRAULICOS/FILTROS-DE-RETORNO/FILTROS-DE-RETORNO.pdf>

Quirion, P. (2012, Agosto 10). *Fundamentos de hidráulica*. Retrieved from http://www.sapiensman.com/tecnoficio/mecanica/motor_hidraulico_1.php

ROEMHELD. (2013, 04 10). *HILMA STARK*. Retrieved from file:///C:/Users/Danny/Desktop/Materia%20integradora/Wissenswertes_Hydraulik_zylinder_es_0212.pdf

SMC. (2012, 01 10). *CILINDROS HIDRÁULICOS*. Retrieved from file:///C:/Users/Danny/Desktop/Materia%20integradora/CH_cat_es.pdf

ssedumachine, E. (2016, 05 07). *ssedumachine*. Retrieved from <http://www.ssedumachine.com/products/zmh1108-plc-electro-hydraulic-trainer-teaching-equipment/>

TURMERO, P. (2000, Marzo 15). *Neumática e hidráulica*. Retrieved from Monografías: <https://www.monografias.com/trabajos108/neumatica-e-hidraulica/neumatica-e-hidraulica3.shtml>

VENTURI. (2016, 06 22). *VENTURI HERMANOS*. Retrieved from www.venturi.com.ar

WEG. (2017, 02 20). *Motor eléctrico monofásico*. Retrieved from ceccato@weg.net

APÉNDICES

APÉNDICE A

Selección de bomba hidráulica

Al momento de tener los cálculos correspondientes de la bomba hidráulica, se conoce que la bomba seleccionada es de engranajes, en la tabla A.1 se puede observar las especificaciones requeridas de la bomba hidráulica, las cuales nos permiten realizar una correcta selección.

Tabla A. 1, Características de la bomba hidráulica

SERIE	MODELO	Presión [Bar]	Caudal [LPM]	Cilindrada [cm ³]	Velocidad [RPM]	Peso [Kg]
GP2K	GP2K8	50-210	4.5-24	8	95 – 500	1.26

Fuente: (PRODUCTS, 2005)

Con ello, se procede a realizar la cotización en el mercado local y se encontró la siguiente bomba con sus respectivas características. Al observar que las características cumplen con los cálculos realizados, se procede a escoger el código de la bomba, la misma se encuentra en la figura A.1.

Обозначение Type		GP1K1	GP1K1.2	GP1K1.6	GP1K2.1	GP1K2.5	GP1K3.2	GP1K3.5	GP1K4.2	GP1K5	GP1K6.2	GP1K7	GP1K8	GP1K10
Рабочий объем Displacement	cm ³ /rev	1,0	1,2	1,6	2,1	2,5	3,2	3,5	4,2	5,0	6,2	7,0	8,0	10,0
Размер А Dimension A	mm	37,70	38,40	39,90	41,80	43,30	45,90	47,00	49,60	52,60	57,20	60,20	63,60	71,00
Размер В Dimension B	mm	18,85	19,20	19,95	20,90	21,65	22,95	23,50	24,80	26,30	28,60	30,10	31,80	35,50
Макс. продолжительное давление, P ₁ Max. continuous pressure, P ₁	bar	250						240	230	220	210	170	140	
Макс. кратковременное давление, P ₂ Max. intermittent pressure, P ₂	bar	270						260	250	240	230	190	160	
Пиковое давление, P ₃ Peak pressure, P ₃	bar	290						280	270	260	250	210	180	
Макс. частота вращения, n _{max} Max. speed, n _{max}	min ⁻¹	4000						3500					3200	
Мин. частота вращения при P ₁ ≤ 100 bar, n _{min} Min. speed at P ₁ ≤ 100 bar, n _{min}	min ⁻¹	750						650					600	
Масса Weight	kg	0,83	0,85	0,87	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,05	1,16	1,20	1,26	1,32

Figura A. 1, Tipos de bombas con sus respectivas características.

Fuente: (PRODUCTS, 2005)

APÉNDICE B

Selección de motor hidráulica

Al momento de tener los cálculos correspondientes del motor hidráulica, se conoce que el motor seleccionado es de engranajes, en la tabla B.1 se puede observar las especificaciones requeridas del motor hidráulico, las cuales nos permiten realizar una correcta selección.

Tabla B. 1, Características del motor hidráulico

SERIE	MODELO	Presión [Bar]	Caudal [LPM]	Cilindrada [cm ³]	Velocidad [RPM]	Peso [Kg]
GM2K	GM2K6	50-280	4.7-26.8	17	110 – 636	2.4

Fuente: (PRODUCTS, 2005)

Con ello, se procede a realizar la cotización en el mercado local y se encontró el siguiente motor con sus respectivas características las cuales pueden ser observadas en la figura B.1. Además, en la figura B.1 se puede ver los tipos de motores hidráulicos que se encuentran en el mercado y cual cumple con los estándares establecidos.

Обозначение Type		GM2K6	GM2K8	GM2K10	GM2K11	GM2K12	GM2K14	GM2K15	GM2K16	GM2K17	GM2K19	GM2K20	GM2K23	GM2K25
Рабочий объем Displacement	cm ³ /rev	6,3	8,2	10,0	11,3	12,5	14,0	15,0	16,0	17,0	19,0	20,0	22,5	24,8
Размер A Dimension A	mm	50,2	53,2	56,0	58,0	59,8	62,1	63,7	65,2	66,9	69,9	71,4	75,3	78,8
Размер B Dimension B	mm	25,1	26,6	28,0	29,0	29,9	31,05	31,85	32,6	33,45	34,95	35,7	37,65	39,4
Макс. продолжительное давление, P ₁ Max. continuous pressure, P ₁	bar		250								220	210	190	170
Давление при нагрузке, P ₂ Starting pressure, P ₂	bar		280								250	230	210	190
Мин. частота вращения при P ₂ ≤ 100 bar, n _{min} Min. speed at P ₂ ≤ 100 bar, n _{min}	min ⁻¹		700				600				500			
Макс. частота вращения, n _{max} Max. speed, n _{max}	min ⁻¹	4000	3600	3500		3400		3200			3000		2800	
Крутящий момент при P ₁ Output torque at P ₁	N·m	20,8	27,1	33,5	37,8	41,8	46,9	50,8	54,1	57,5	56,6	57,5	58,6	57,7
*Масса Weight	kg	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,4	3,6

Figura B. 1, Tipos de motores con sus respectivas características.

Fuente: (PRODUCTS, 2005)

APÉNDICE D

Selección de filtros

Al momento de seleccionar los tipos el tipo de filtro adecuado para el equipo didáctico se debe tener en consideración la norma ISO 4406 del año de 1999, ya que esta nos indica el grado de limpieza que debe poseer el fluido hidráulico dependiendo con qué fin será utilizado. Al observar la tabla D.1 en nuestro equipo intervienen 4 a 5 componentes los cuales nos dan la pauta necesaria para poder seleccionar el filtro adecuado.

Tabla D. 1, Limpieza de los fluidos necesarios para componentes lubricados típicos.

Componente	Código ISO
Válvulas de Servo-control	16/14/11
Rodamiento	16/14/12
Válvulas Proporcionales	17/15/12
Cojinetes	17/15/12
Reductoras Industriales	17/15/12
Reductoras Móviles	17/16/13
Motor diesel	17/16/13
Turbina vapor	18/15/12
Bombas/Motores de pistón y paletas	18/16/13
Válvulas de control de presión y direccional	18/16/13
Máquina de papel	19/16/13
Motores/Bombas de engranajes	19/17/14
Válvulas de control de flujo, cilindros	20/18/15
Fluidos nuevos sin usar	20/18/15

Fuente: (MANUEL BILBAO, 2002)

Al tener claro los componentes que intervendrán en el equipo, en la tabla D.2 se puede observar el estado del fluido dependiendo del código ISO y del componente que se esté analizando. Para fluidos hidráulicos y electroválvulas se requiere tener un código ISO 16/14/11 lo cual nos indica que se debe implementar un filtro con un micraje bien bajo para que tenga una mayor eficiencia.

Tabla D. 2, Estado del fluido en función del código ISO

Código ISO	---	12/9	---	14/11	---	16/13	---	18/15	---	20/17	---	22/19	---	24/21	---	26/23
Fluidos Hidráulicos		Muy limpio		Limpio						Sucio						
Cajas de cambios				Muy limpio				Limpio								Sucio
Motores			Muy limpio					Limpio				Sucio				
Turbinas		Muy limpio				Limpio		Sucio								

Fuente: (MANUEL BILBAO, 2002)

En la tabla D.3, se puede observar cuantas partículas por mililitro pasan dependiendo del tipo de micraje utilizado en el filtro, esto tiene relación con el código ISO mostrado en la tabla D.1.

Tabla D. 3, Comparación de los grados de limpieza ISO 4406

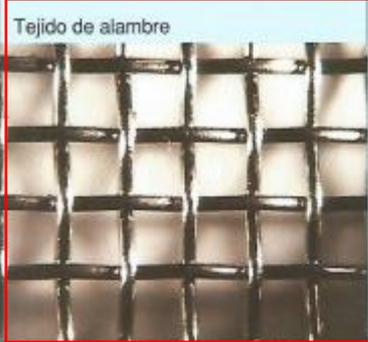
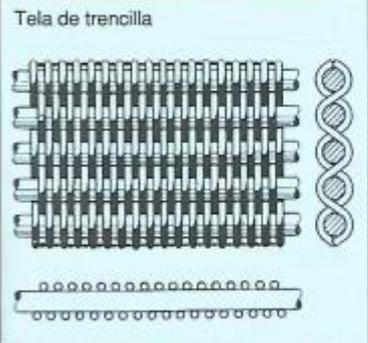
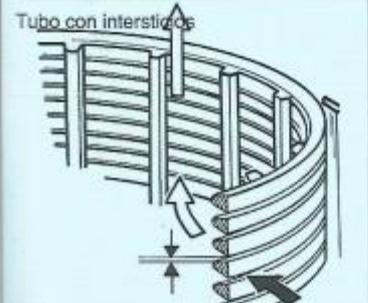
Código ISO	Partículas/mililitro			NAS 1638
	$\geq 2 \mu$	$\geq 5 \mu$	$\geq 15 \mu$	
23/21/18	80000	20000	2500	12
22/20/18	40000	10000	2500	-
22/20/17	40000	10000	1300	11
22/20/16	40000	10000	640	-
21/19/16	20000	5000	640	10
20/18/15	10000	2500	320	9
19/17/14	5000	1300	160	8
18/16/13	2500	640	80	7
17/15/12	1300	320	40	6
16/14/12	640	160	40	-
16/14/11	640	160	20	5
15/13/10	320	80	10	4
14/12/9	160	40	5	3
13/11/8	80	20	2.5	2
12/10/8	40	10	2.5	-
12/10/7	40	10	1.3	1
12/10/6	40	10	0.64	-

Fuente: (MANUEL BILBAO, 2002)

Una vez conocido con cual código ISO se involucra cada uno de los componentes, se han seleccionado los más críticos que son las electroválvulas y las válvulas de control de flujo, ya que estos equipos son los más sensibles y propensos a sufrir daños o averías por suciedad o daño por partículas.

Al observar la tabla D.4, se tiene los diferentes materiales que pueden conformar al mallado en un filtro de superficie, nosotros optaremos por escoger la malla construida por un tejido de alambre, ya que este brinda un micraje de alrededor de 10 a 40µm, además de que se puede utilizar en filtros de retorno.

Tabla D. 4, Materiales de filtro para filtro de superficie.

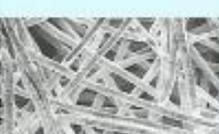
Construcción		Campo de empleo	Ventajas	Desventajas
	<p>Malla cuadrada Alambres de acero fino, alambre de hierro galvanizado o bronce fosfatado</p>	<p>Filtros de lubricantes Filtros gruesos y de seguridad, filtros de aspiración</p> <p>Para el filtrado de agua, fluidos poco inflamables, elevadas temperaturas de servicio, fluidos especiales</p>	<p>elementos limpiables</p> <p>reducida pérdida de presión</p>	<p>Imposible una finura de filtro inferior a 10 µm</p> <p>No es posible Multi-pass (véase párrafo 3.2.3) pequeña superficie libre de filtrado (aprox. 30 a 40%)</p>
	<p>distinto grosor de alambre para alambre con trama o alambre con cadenilla</p> <p>Alambres de acero fino</p>	<p>Filtros gruesos y de seguridad</p>	<p>elementos limpiables</p> <p>reducida pérdida de presión</p> <p>son posibles diferencias de presiones extremadamente altas (hasta $\Delta p = 420$ bar)</p>	<p>No es posible Multi-pass (véase párrafo 3.2.3) pequeña superficie libre de filtrado</p>
	<p>Alambre triangular con distinto ángulo de la pendiente enrollado sobre un cuerpo base</p> <p>Alambre triangular de acero fino</p>	<p>Filtro de enjuague de retorno o filtración gruesa</p>	<p>Elemento limpiable durante el servicio</p> <p>para medios agresivos, agua, fluidos poco inflamables</p>	<p>Imposible una finura de filtro inferior a 50 µm</p> <p>pequeña superficie libre de filtrado No es posible Multi-pass (véase párrafo 3.2.3)</p>

Fuente: (DREXLER, 1988)

Al observar la tabla D.5, se tiene los diferentes materiales que pueden conformar al mallado en un filtro de profundidad, nosotros optaremos por escoger la malla construida por un filtro sinterizado, ya que este brinda un micraje de alrededor de 5 a 15µm, además de que se puede utilizar en filtros de baja presión. Una de las características más importantes es la que se utiliza este tipo de filtro como un componente de seguridad, es decir se lo coloca cerca de elementos que requieren tener un fluido con poca o casi nula

de suciedad. Para nuestro caso este filtro se lo implementa para la protección de las electroválvulas, válvulas controladoras de flujo y de presión y de los actuadores.

Tabla D. 5, Materiales de filtro para filtro de profundidad.

Material de filtros	Construcción	Campo de empleo	Ventajas	Desventajas
 <p>Maila de papel</p>	Fibras orgánicas con capas arbitrariamente dispuestas y afirmadas con aglutinante	Filtro de aspiración Filtro de retorno Filtro fino Elementos descartables	costos reducidos poca pérdida de presión	Multi-pass solamente posible bajo determinadas condiciones retención media de suciedad baja resistencia a diferencias de presiones
 <p>Maila de papel impregnada con resinas de fenol</p>	Fibras orgánicas con capas arbitrariamente dispuestas e impregnadas con resinas de fenol	Filtros de combustibles Filtros de aceite para motores Filtro fino Elementos descartables	costos reducidos construcción simple del elemento gran superficie filtrante	Multi-pass solamente posible bajo determinadas condiciones, mala retención de suciedad, no utilizable con todos los fluidos, baja resistencia a Δp
 <p>Maila de fibra de vidrio</p>	Fibra de vidrio con capas arbitrariamente dispuestas y afirmadas con aglutinante	Filtros finísimos para componentes valiosos Elementos descartables	mediante el empleo de fibra de vidrio se logra un filtrado fino, buena retención de suciedad, adsorción de partículas a través de un amplio rango de diferencia de presión, buena resistencia química, utilizable en todos los sistemas hidráulicos	diferencia de presión más elevada no se puede limpiar baja resistencia al flujo
 <p>Maila de metal</p>	alambres de acero fino arbitrariamente dispuestos, sinterizados y calandrados	Filtración fina y finísima, para temperaturas de servicio muy altas, elevadas diferencias de presiones, para cualquier fluido hidráulico, elementos limpiables bajo ciertas condiciones	reducida pérdida de presión, buena retención de suciedad, con mailas de metal de excelente calidad es posible multi-pass, buenas características de fatiga, buena estabilidad a temperaturas, buena compatibilidad con el fluido hidráulico	muy costosos Limpieza condicionada, según diferencia de presión y finura de filtro
 <p>Filtros sinterizados</p>	Bolas de metal sinterizadas. El diámetro de las bolas determina la finura de filtro.	Filtro de seguridad	bajos costos de fabricación	sólo utilizables para caudales bajos, poca superficie de filtrado, sensibles a presión pulsatoria, elevada diferencia de presión

Fuente: (DREXLER, 1988)

Al observar la tabla D.6, para la selección de un filtro se debe tener en consideración las características que debe tener para cumplir con las especificaciones del equipo, por ende, esta tabla nos permite dividir esas cualidades en 4 secciones las cuales son: rango de presión, disposición del tejido de filtro, sentido del flujo y modo de unión entre el tejido de filtro y los extremos. Estos parámetros nos permiten tener una idea clara de cómo poder escoger un filtro y saber que la selección fue la correcta en todo aspecto.

Tabla D. 6, Características constructivas de elementos filtrantes.

		Campo de empleo	Ventajas	Desventajas
Rango de presión	Estable a bajas presiones	baja presión de trabajo, filtro con by-pass, filtro de trabajo	elemento de precio conveniente	se destruye con pulsaciones de presión rápidas y duras
	Estable a presiones elevadas	presión elevada de trabajo, filtro sin by-pass, filtro de seguridad	de empleo universal	costoso
Disposición del tejido del filtro	de una capa	Industria automotriz	precio conveniente	inestable a Δp , baja capacidad filtrante
	capas múltiples	Unidades hidráulicas y de lubricación	buena capacidad filtrante, buena estabilidad a Δp elevada	costoso
	doblado en forma de estrella	Hidráulica, técnica de lubricación, combustibles	Gran superficie filtrante en espacio reducido	posibilidad condicionada de limpieza
	Tamiz con camisa	Unidades de lubricación	buena limpieza	poca superficie filtrante
	Tamiz con canastilla	Unidades de lubricación	La suciedad se elimina completamente al recambiar el elemento	construcción más complicada
Sentido de flujo	de adentro hacia afuera	para bajas diferencias de presión	La suciedad se elimina completamente al recambiar el elemento	construcción más complicada
	de afuera hacia adentro	para altas diferencias de presión	limpiable, según el material	la suciedad filtrada no es retenida en cámaras del elemento
Modo de unión entre el tejido del filtro y los extremos	pegado	para aceite mineral hasta 100 °C	unión simple y de bajo costo	no utilizable a temperaturas elevadas, no puede emplearse con todos los fluidos
	soldado	para aceite mineral de más de 100 °C, en medios agresivos	para temperaturas de servicio elevadas y medios agresivos	costoso, elaboración complicada
	bordeado	para aceite mineral de más de 100 °C, en medios agresivos	para temperaturas de servicio elevadas y medios agresivos	costoso, elaboración complicada

Fuente: (DREXLER, 1988)

Para el equipo se han estimado la implementación de tres filtros, los cuales son el filtro de succión, retorno y el filtro presurizado (también conocido como filtro de presión).

Para la elección del filtro de succión se considera el micraje que posea, el puerto de conexión y a que presiones y caudales que trabaje. Al observar la tabla D.7 se procedió a seleccionar un filtro con un micraje de 100 μm , ya que funciona a un caudal máximo de 20 LPM, a una presión máxima de 80 bar y el puerto de conexión es de ½".

Tabla D. 7, Especificaciones generales del equipo.

MODELO	FLUJO LPM	MEDIDAS ROSCA A CODIGO	HT B	TOTAL HT C	CAP DIA D	SCREEN AREA (SQ. CMS)	WT KGS	MAGNET WRAP
SC2-003	12	3/8 03	50	62	42	220	0.16	1
SC2-005	20	1/2 04	64	78	66	400	0.24	1
SC2-007	30	3/4 06	75	89	66	438	0.28	2
SC2-010	40	1 08	122	137	66	710	0.33	2
SC2-020	80	1-1/4 10	190	175	85	1045	0.45	2
SC2-030	120	1-1/2 12	190	205	85	1450	0.50	2
SC2-050	200	1-1/2 12	240	254	100	2195	0.60	2
SC2-051	200	2 16	240	254	100	2195	0.70	2
SC2-075	300	2-1/2 20	240	255	130	2580	0.95	3
SC2-100	400	3 24	285	300	130	3225	1.15	3
SC2-150	600	3 24	325	340	130	4650	1.60	3
SC2-200	800	4 32	220	295	200	6225	4.20	4
SC2-300	1200	4 32	305	381	200	8840	4.50	4
SC2-400	1600	4 32	387	462	200	11225	4.80	4
SC2-600	2400	4 32	540	615	200	15675	5.40	4

Fuente: (PRODUCTS, 2005)

Para la elección del filtro de retorno se tiene en consideración el micraje que posea, el puerto de conexión y a que presiones y caudales que trabaje. Al observar la figura D.1 se procedió a seleccionar un filtro con un micraje de 10µm, ya que funciona a un caudal máximo de 30 LPM, a una presión máxima de 80 bar y el puerto de conexión es de 1/2".

IF R3	- 06"	- 50	- 10	B	- "	- "
SERIES	PUERTO CONEXIÓN	MEDIDA ELEMENTO	FILTRACIÓN µ MICRONS	POST ROSCA	BYPASS ESPECIAL µ	MTG. HOLES
B - NO BYPASS	04 B = 1/2" BSPP 04 N = 1/2" NPT 08 S = 3/4" UNF-16	10 = 35 LPM	P10 = 10 µ NOM P25 = 25 µ NOM	B = 3/4" BSPP	R3 = 15 PSI Std R4 = 25 PSI S1 = 3 PSI Std S2 = 5 PSI	M = M6 x 1.0 U = 1/4"-20 UNC(Std)
R - RETURN	06 B = 3/4" BSPP 06 N = 3/4" NPT 12 S = 1-1/16" UNF-12	20 = 70 LPM	A10 = 10 µ ABS	U = 1-1/16" UNF	OMT # STD	OMT # STD
S - SUCTION	08 B = 1" BSPP 08 N = 1" NPT 16 S = 1-5/16" UNF-12	30 = 100 LPM	A25 = 25 µ ABS M125 = 125 µ MESH	B = 1-1/4" BSPP		M = M6 x 1.25 U = 5/16"-18 UNC(Std)
	10 B = 1-1/4" BSPP 10 N = 1-1/4" NPT 20 S = 1-5/8" UNF-12	50 = 150 LPM 65 = 200 LPM				

Figura D. 1, Tipos de filtros de retorno.

Fuente: (PRODUCTS, 2005)

Para la elección del filtro de presión alta se tiene en consideración el micraje que posea, el puerto de conexión y a que presiones y caudales que trabaje. Al observar la figura D.2 se procedió a seleccionar un filtro con un micraje de 5µm, ya que funciona a un caudal máximo de 40 LPM, a una presión máxima de 300 bar y el puerto de conexión es de 1/2".

Para este tipo de filtros se considera que el micraje debe ser lo más bajo posible, por motivos que es implementado como un filtro de seguridad ya que los componentes que se utilizaran en el equipo son muy sensibles y presentan una resistencia a partículas muy bajo.

Filter Assemblies	Part Number	Flow (l/min)	Model Number	Element length	Media Rating (micron)	Seals	Indicator	Bypass (bar)	Ports	Replacement elements
	EPF1105QIBPMG081	40	EPF1	1	5	Nitrile	Plugged port	7	G1/2"	944419Q
	EPF1110QIBPMG081	40	EPF1	1	10	Nitrile	Plugged port	7	G1/2"	944420Q
	EPF1120QIBPMG081	40	EPF1	1	20	Nitrile	Plugged port	7	G1/2"	944421Q
	EPF2205QIBPMG121	140	EPF2	2	5	Nitrile	Plugged port	7	G3/4"	944431Q
	EPF2210QIBPMG121	140	EPF2	2	10	Nitrile	Plugged port	7	G3/4"	944432Q
	EPF2220QIBPMG121	140	EPF2	2	20	Nitrile	Plugged port	7	G3/4"	944433Q
	EPF3205QIBPMG161	250	EPF3	2	5	Nitrile	Plugged port	7	G1"	944439Q
	EPF3210QIBPMG161	250	EPF3	2	10	Nitrile	Plugged port	7	G1"	944440Q
	EPF3220QIBPMG161	250	EPF3	2	20	Nitrile	Plugged port	7	G1"	944441Q
	EPF4205QIBPMG201	450	EPF4	2	5	Nitrile	Plugged port	7	G1 1/4"	944447Q
	EPF4210QIBPMG201	450	EPF4	2	10	Nitrile	Plugged port	7	G1 1/4"	944448Q
	EPF4220QIBPMG201	450	EPF4	2	20	Nitrile	Plugged port	7	G1 1/4"	944449Q
	EPF5105QIBPMG241	500	EPF5	1	5	Nitrile	Plugged port	7	G1 1/2"	944451Q
	EPF5110QIBPMG241	500	EPF5	1	10	Nitrile	Plugged port	7	G1 1/2"	944452Q
	EPF5120QIBPMG241	500	EPF5	1	20	Nitrile	Plugged port	7	G1 1/2"	944453Q

Figura D. 2, Tipos de filtros de presión alta.

Fuente: (PARKER, 2010)

APÉNDICE E

Selección de electroválvula

Al momento de tener ya establecido cual filtro se utilizará en el equipo y saber cuál micraje necesita cada componente, en este caso para electroválvulas como se puede ver en la tabla E.1, en las características del equipo se especifica tanto el fluido que se debe utilizar como el grado máximo admisible de suciedad en el fluido hidráulico, si nos dirigimos a la tabla D.1 y D.3 podemos observar tanto el componente como el micraje a utilizar para evitar que nuestro equipo sufra daños.

Tabla E. 1, Características técnicas de la electroválvula.

Generales			
Masa (kg)	- válvula con 1 solenoide	1,45 (EVD6); 5,1 (EVD10)	
	- válvula con 2 solenoides	1,95 (EVD6); 6,7 (EVD10)	
Posición de montaje	opcional		
Rango de temperatura ambiente (°C)	-20° hasta +50° (juntas NBR)		
Hidráulicos			
Presión de servicio máxima (bar)	- conexión A, B, P	350 (EVD6); 315(EVD10)	
	- conexión T	100	
Caudal máximo (l/min)	80 (EVD6); 120 (EVD10)		
Sección del caudal (posición de conmutación 0) (mm ²)	- para simbolo Q	aprox. 6% de la sección nominal	
	- para simbolo W	aprox. 3% de la sección nominal	
Fluido hidráulico	Aceite mineral (HL, HLP) seg. DIN 51524		
Rango de temperatura del fluido hidráulico (°C)	-20° ~ 70°		
Rango de viscosidad (mm ² /s)	2,8 hasta 100		
Grado máximo admisible de suciedad del fluido hidráulico; clase de pureza según ISO 4406 (c)	clase 20/18/15*		
Eléctricos			
Tipo de tensión	Tensión continua	Tensión alterna	
Niveles de tensión (V)	12, 24	Tensión continua	
Tolerancia de tensión (tensión nominal) (%)	± 10	± 10	
Consumo de potencia (W)	30	30	
Tiempo de conexión	DB (uso continuo)	DB (uso continuo)	
Tiempo de conmutación ISO 6403 (ms)	si	25 hasta 45	10 hasta 20
	no	10 hasta 25	15 hasta 40
Frecuencia de conmutación máxima (ciclos/hr)	5000	7200	
Temperatura máxima de la bobina (°C)	150	180	
Tipo de protección según DIN EN 60529	IP 65	IP 65	

Fuente: (VENTURI, 2016)

Al momento de escoger la electroválvula adecuada se procede a considerar los siguientes parámetros: el tipo de válvula, la presión, el caudal, el voltaje de alimentación y el terminal de conexión.

En la figura E.1 se puede observar los diferentes tipos de electroválvulas que existen, en nuestro caso se implementará una de 4 vías con 3 posiciones.

	4 Vías Estándar			4 Vías Especiales	3 Vías Especiales
Tres posiciones 	Dos posiciones con bobina en A 	Dos posiciones con bobina en B 	Dos posiciones vástago sin posicionador 	Dos posiciones vástago sin posicionador 	
E	EA	EB	D/O	A/O	
F	FA	FB			
G	GA	GB	Dos posiciones bobina en A 	Dos posiciones bobina en A 	
H	HA	HB			
J	JA	JB			
L	LA	LB	D	A	

Figura E. 1, Tipos de electroválvulas según sus vías.

Fuente: (VENTURI, 2016)

Al conocer que el tipo de electroválvula es de 4 vías 3 posiciones, que el tamaño nominal con relación al caudal es hasta 80 LPM, la presión de máxima es de 315 bar y la conexión a tanque es de 100 bares, el voltaje es de 24 V y su terminal de conexión es de 1/2". En la figura E.2 se puede observar el tipo de electroválvula que cumple con todas las especificaciones.

EVD6					
Código Venturi	Código de modelo	Código Venturi	Código de modelo	Código Venturi	Código de modelo
90354073	4EVD6-D60ANZ4	90353679	4EVD6-J60ANZ4	90353694	4EVD6-GA60ANZ4
90354073B	4EVD6-D60BNZ4	90353679B	4EVD6-J60BNZ4	90353694B	4EVD6-GA60BNZ4
90354073C	4EVD6-D60CNZ4	90353679C	4EVD6-J60CNZ4	90353694C	4EVD6-GA60CNZ4
90354073D	4EVD6-D60DNZ4	90353679D	4EVD6-J60DNZ4	90353694D	4EVD6-GA60DNZ5
90353675	4EVD6-E60ANZ4	90353680	4EVD6-L60ANZ4	90353695	4EVD6-HA60ANZ4
90353675B	4EVD6-E60BNZ4	90353680B	4EVD6-L60BNZ4	90353695B	4EVD6-HA60BNZ4
90353675C	4EVD6-E60CNZ4	90353680C	4EVD6-L60CNZ4	90353695C	4EVD6-HA60CNZ4
90353675D	4EVD6-E60DNZ4	90353680D	4EVD6-L60DNZ4	90353695D	4EVD6-HA60DNZ4
90353677	4EVD6-G60ANZ4	90354074	4EVD6-Y60ANZ4	90353696	4EVD6-JA60ANZ4
90353677B	4EVD6-G60BNZ4	90354074B	4EVD6-Y60BNZ4	90353696B	4EVD6-JA60BNZ4
90353677C	4EVD6-G60CNZ4	90354074C	4EVD6-Y60CNZ4	90353696C	4EVD6-JA60CNZ4
90353677D	4EVD6-G60DNZ4	90354074D	4EVD6-Y60DNZ4	90353696D	4EVD6-JA60DNZ4
90353678	4EVD6-H60ANZ4	90353692	4EVD6-EA60ANZ4	90353697	4EVD6-LA60ANZ4
90353678B	4EVD6-H60BNZ4	90353692B	4EVD6-EA60BNZ4	90353697B	4EVD6-LA60BNZ4
90353678C	4EVD6-H60CNZ4	90353692C	4EVD6-EA60CNZ4	90353697C	4EVD6-LA60CNZ4
90353678D	4EVD6-H60DNZ4	90353692D	4EVD6-EA60DNZ4	90353697D	4EVD6-LA60DNZ4

Figura E. 2, Modelos existentes en el mercado.

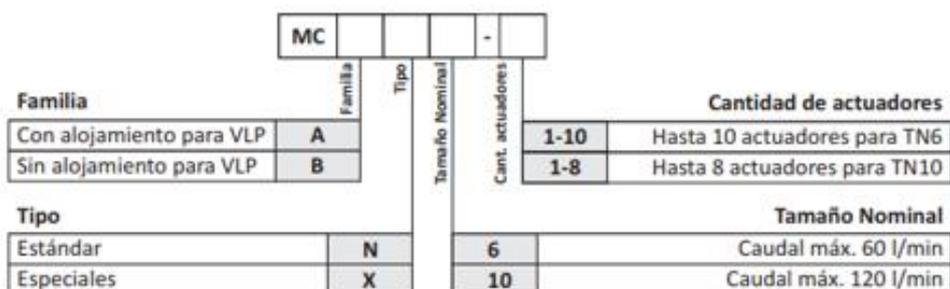
Fuente: (VENTURI, 2016)

APÉNDICE F

Selección de Manifold

Para la selección del manifold se debe considerar 3 aspectos los cuales son: el caudal máximo esto es con relación al tipo de electroválvula que se escogió, cantidad de los terminales o actuadores, que en nuestro caso será de 6 terminales y el tipo de componente solo se escoge un modelo estándar. Además, se debe considerar el tipo de conexión en nuestro caso será de 3/4”.

En la figura F.1 se puede observar cómo se dan las designaciones a cada uno de los modelos y que para los modelos EVD 06 (ese es el modelo que se escogió para la electroválvula) pueden tener terminales hasta 10 actuadores y poseen un caudal máximo de 60 LPM.



Códigos emitidos - Múltiples de conexión

Código Venturi	Designación								
90390094	MCAN 6-2	90390101	MCAN 6-9	90390108	MCAN 10-7	90390115	MCBN 6-6	90390122	MCBN 10-3
90390095	MCAN 6-3	90390102	MCAN 6-10	90390109	MCAN 10-8	90390116	MCBN 6-7	90390123	MCBN 10-4
90390096	MCAN 6-4	90390103	MCAN 10-2	90390110	MCBN 6-1	90390117	MCBN 6-8	90390124	MCBN 10-5
90390097	MCAN 6-5	90390104	MCAN 10-3	90390111	MCBN 6-2	90390118	MCBN 6-9	90390125	MCBN 10-6
90390098	MCAN 6-6	90390105	MCAN 10-4	90390112	MCBN 6-3	90390119	MCBN 6-10	90390126	MCBN 10-7
90390099	MCAN 6-7	90390106	MCAN 10-5	90390113	MCBN 6-4	90390120	MCBN 10-1	90390127	MCBN 10-8
90390100	MCAN 6-8	90390107	MCAN 10-6	90390114	MCBN 6-5	90390121	MCBN 10-2		

Figura F. 1, Tipos de manifold en el mercado.

Fuente: (VENTURI, 2016)

APÉNDICE G

Selección de válvula limitadora de presión

Al igual que en los filtros la válvula limitadora de presión tiene como finalidad proteger al equipo de daños y además de velar por el bienestar del usuario, ya que dicha válvula controla la presión que se ejerce en el sistema. En la figura G.1 se puede observar los parámetros que se deben considerar al momento de seleccionar dicha componente. El parámetro más importante por considerar es el rango de presión para nuestro equipo ya que esto está relacionado con la capacidad de las mangueras para soportar las presiones de trabajo, por ello se pondrá como límite 315 bares en donde por medio de la manija rotativa se disminuirá la presión hasta la deseada siempre pensando en la seguridad el equipo y del usuario, el caudal máximo será de 60 LPM.

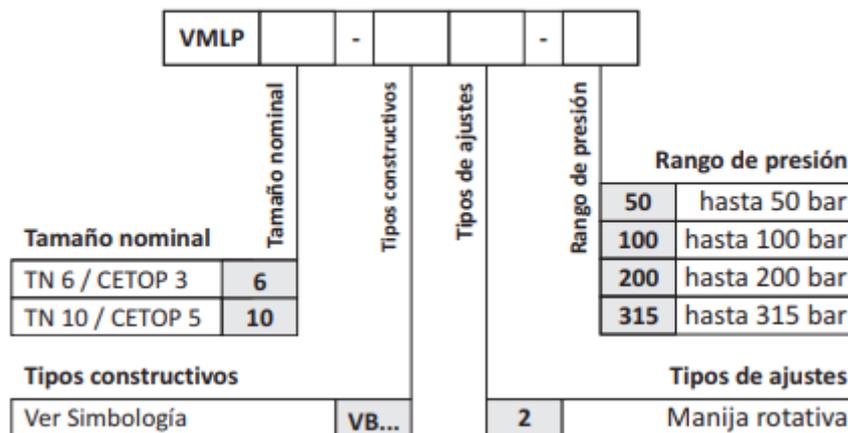


Figura G. 1, Estructura para poder ordenar la válvula limitadora de presión.

Fuente: (VENTURI, 2016)

En la figura G.2 se puede ver los tipos constructivos en donde para nuestro componente se escogió tipo VP y VB, ya que se planea implementar dos limitadores en nuestro equipo como protección, además siempre pensando que si uno de los limitadores falla se encuentra en otro presto a cumplir con su objetivo. Por último, en la figura G.3 se encuentran los modelos comerciales que podemos pedir en el mercado.

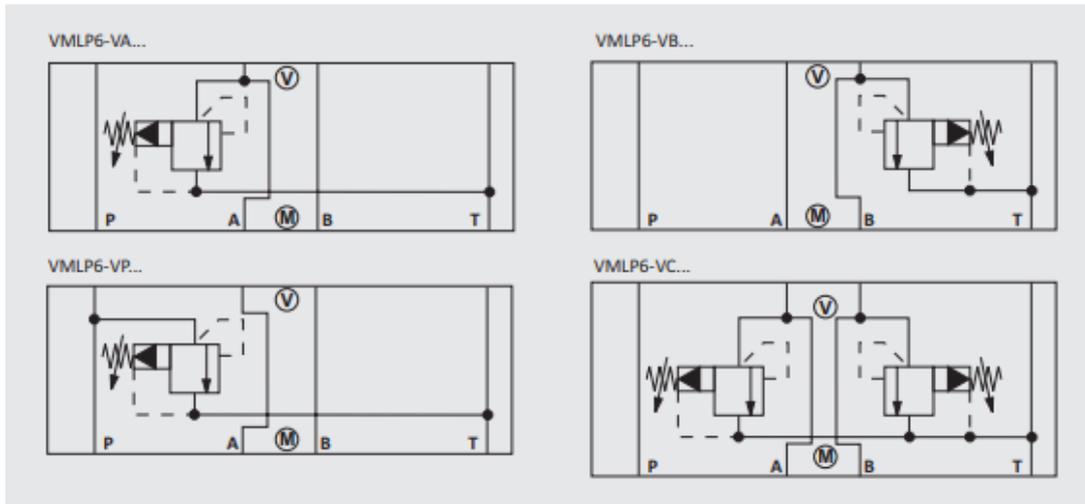


Figura G. 2, Tipos constructivos de válvulas limitadoras de presión.

Fuente: (VENTURI, 2016)

Código Venturi	Código de modelo
90390021	VMLP6-VB2-315
90390022	VMLP6-VP2-315
90390023	VMLP6-VC2-315

Figura G. 3, Modelos comerciales en el mercado.

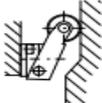
Fuente: (VENTURI, 2016)

APÉNDICE H

Selección de válvula reguladora de caudal

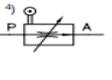
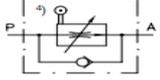
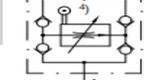
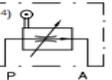
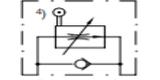
Para poder seleccionar de manera idónea la válvula a utilizar será de 2 vías, cuyos parámetros a considerar son tipo de accionamiento, el caudal requerido, el tipo de conexión y si se realiza conexiones en línea con el equipo. En nuestro caso tenemos que la válvula se accione por medio de un pomo giratorio como lo indica la tabla H.1, el caudal requerido en el equipo es aproximadamente de 30 LPM y su conexión sea de 1/2" y el tipo de conexión será un montaje sobre la placa con válvula de paso, los demás parámetros se podrán observar en la tabla H.2. Con las especificaciones ya establecidas entonces se trabajará con una válvula de código SD2-3/30 PR.

Tabla H. 1, Modelo básico y accionamiento de la válvula.

Tornillo de ajuste	Accionamiento de pomo giratorio	Accionamiento de roldana (fin de carrera)	
SF 2	SD 2	SK 2	SKR 2 ¹⁾
con contra-tuerca para ajuste fijo	con ajuste de precisión mediante 3,8 vueltas	con accionamiento mecánico mediante roldana	
	Pomo de marcación para contar las vueltas 		

Fuente: (HYDRAULIK, 2007)

Tabla H. 2, Tamaño, caudal y tipo de conexiones de la válvula.

Tamaño	Caudal nominal normalmente abierto ²⁾										Conexiones P y A en caso de conexión en línea ISO 228/1		en caso de montaje sobre placa base
	/3	/6	/15	/30	/36	/50	/60	/70	/90	/130			
	Caudal nominal normalmente cerrado ²⁾										G 1/2	véase esquema de medidas, pos. 5.2	
-	/6F	/15F	/30F	/36F	/50F	Margen de regulación $Q_{A \min} \dots Q_{A \max}$ (l/min)				G 3/4			
	0,3 hasta 6	0,3 hasta 15	0,3 hasta 30	0,3 hasta 36	0,3 hasta 50 ³⁾	0,3 hasta 60 ³⁾	0,3 hasta 70	0,3 hasta 90	1 hasta 130		G 1		
3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	G 1/2		
4											G 3/4		
5											G 1		
Tipo de conexión	Montaje sobre placa base		Con válvula by-pass libre A→P				con válvula adicional						
Conexión en línea	(sin código) 												
Montaje sobre placa	P 		PR 				B 						
							Sólo tamaño 3!						

Fuente: (HYDRAULIK, 2007)

APÉNDICE I

Selección del cilindro hidráulico

Para la selección del cilindro se consideran los parámetros ya calculados en el capítulo 2, en donde se conoce el diámetro del émbolo, el diámetro del vástago y la carrera del pistón. Al observar la tabla I.1 en donde aparecen las especificaciones del equipo a seleccionar, se observa que la presión y caudal nominal se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

Tabla I. 1, Características técnicas del equipo.

Modelo		CHSD
Funcionamiento		Doble efecto: vástago simple
Fluido		Fluido hidráulico mineral general
Presión nominal		10 MPa
Presión máxima admisible		12 MPa
Presión de prueba		15 MPa
Presión mín. de trabajo	Con presión en el lado anterior	0.25 MPa
	Con presión en el lado posterior	0.15 MPa
Temperatura ambiente y de fluido	Sin imán	-10 a 80°C
	Con detección magnética	-10 a 60°C
Velocidad del émbolo		8 a 300 mm/s
Amortiguación		Junta de amortiguación
Tolerancia de rosca		JIS 6 g/6 H
Tolerancia de longitud de carrera	100 mm o menos	0 a +0.8 mm
	101 a 250 mm	0 a +1.0 mm
	251 a 630 mm	0 a +1.25 mm
	631 a 800 mm	0 a +1.4 mm

Fuente: (SMC, 2012)

En la tabla I.2 tanto el diámetro de émbolo y vástago se encuentran en las medidas establecidas por el proveedor y que la carrera también está en las medidas comerciales.

Tabla I. 2, Diferentes medidas de diámetros de émbolo y diferentes medidas de carreras estándar disponibles en el mercado.

Diámetro (mm)	Carrera estándar (mm)
40	25 a 800
50	25 a 800
63	25 a 800
80	25 a 800
100	25 a 1000

Fuente: (SMC, 2012)

En la tabla I.3 aparece el tipo de montaje con su respectivo peso en cuyo caso se escogió con brida delantera, cuyos valores de peso nos permiten conocer que tipos de pernos utilizar para sostener al cilindro en la base.

Tabla I. 3, Tipo de montaje con sus respectivos pesos.

Diámetro (mm)			40	50	63	80	100
Peso básico (Carrera 0)	Básico	B	2.10	3.20	5.10	8.90	14.5
	Escuadra transaxial	LA	2.40	3.60	5.50	9.70	16.0
	Brida delantera	FY	2.60	3.80	5.90	10.1	16.0
	Brida trasera	FZ	2.50	3.80	6.00	10.0	16.4
	Fijación oscilante hembra	CB	2.30	3.50	6.10	9.90	16.2
	Muñón delantero	TA	2.10	3.40	5.40	9.40	15.5
Peso adicional por cada 10mm de carrera			0.06	0.09	0.13	0.21	0.32

Fuente: (SMC, 2012)

Al conocer todas las variables se procede a escoger el modelo el cual es el siguiente CHDSDFY50-100-CF59S

APÉNDICE J

Selección del motor eléctrico

Al momento de tener los cálculos correspondientes al motor eléctrico, al momento de obtener la potencia necesaria del motor, mediante la tabla J.1 se puede observar las especificaciones requeridas del motor, las cuales nos permiten realizar una correcta selección.

Tabla J. 1, Características del motor eléctrico

SERIE	Corriente nominal	Rendimiento	Nivel de ruido [db]	Cilindrada [cm ³]	Velocidad [RPM]	Peso [Kg]
W22	220 [V]	77.2%	69	21	3535	24

Fuente: (WEG, 2017)

Con ello, se procede a realizar la cotización en el mercado local y se encontró el siguiente motor con sus respectivas características. Al observar la tabla J.2 aparece el motor que cumple con las características establecidas mediante los cálculos realizados, y en la tabla J.3 se procede a escoger el modelo para seleccionar el acople entre motor bomba y a realizar el modelado en 3D mediante el software INVENTOR.

Tabla J. 2, Modelo escogido por los requerimientos establecidos.

Potencia kW	HP	Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado I/In	Par con rotor trabado T/In	Par Máximo Tb/In	Momento de inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)	
												Rendimiento			Factor de potencia			220 V	440 V
												50	75	100	50	75	100		
0.12	0.16	63	0.034	5.9	2.0	2.9	0.0002	6	10.0	50	3490	35.8	44.4	49.9	0.52	0.60	0.68	1.61	0.804
0.18	0.25	63	0.050	6.1	2.2	2.8	0.0003	6	10.7	50	3490	42.3	50.8	55.8	0.51	0.61	0.69	2.12	1.06
0.25	0.33	63	0.070	5.5	2.9	3.2	0.0002	6	10.7	50	3490	42.5	51.6	57.2	0.44	0.54	0.62	3.20	1.60
0.37	0.5	71	0.102	7.2	2	3.1	0.0005	7	13.0	60	3520	51.7	59.9	64.2	0.53	0.64	0.72	3.64	1.82
0.55	0.75	80	0.152	7.7	2.1	3	0.0008	10	16.5	65	3525	58.8	67.9	72.8	0.77	0.85	0.91	3.78	1.89
0.75	1	80	0.208	7.0	2.3	2.7	0.0009	9	17.5	65	3520	58.0	66.0	71.0	0.75	0.83	0.88	5.46	2.73
1.1	1.5	90S	0.303	9.1	2.1	2.9	0.0020	9	24.0	69	3535	70.8	77.2	79.8	0.79	0.87	0.91	6.88	3.44
1.5	2	90L	0.415	8.4	2.1	2.7	0.0022	8	25.0	69	3520	68.4	74.9	77.7	0.83	0.89	0.92	9.54	4.77
2.2	3	100L	0.608	8.7	2.3	3	0.0064	9	37.0	72	3525	72.7	79.2	81.8	0.97	0.98	0.98	12.5	6.24
3	4	112M	0.830	8.0	2.6	2.5	0.0081	6	45.0	72	3520	77.4	81.6	82.1	0.96	0.97	0.98	16.9	8.47
3.7	5	112M	1.02	8.0	2.6	2.5	0.0091	6	47.0	72	3525	81.0	82.3	83.4	0.93	0.96	0.97	20.8	10.4
5.5	7.5	132S	1.52	8.5	2.8	2.9	0.0234	5	69.0	72	3515	74.7	80.2	82.4	0.92	0.95	0.96	31.6	15.8
7.5	10	132M	2.07	8.0	2.2	3.1	0.0223	8	70.0	72	3525	80.9	82.9	83.9	0.83	0.90	0.94	43.2	21.6
9.2	12.5	132M	2.55	8.8	1.9	3	0.0285	7	79.0	72	3515	86.0	88.2	88.3	0.94	0.96	0.97	48.8	24.4
11	15	132ML	3.04	8.5	2.2	3.5	0.0339	6	92.0	72	3530	84.7	87.7	88.5	0.89	0.94	0.95	59.4	29.7

Fuente: (WEG, 2017)

Tabla J. 3, Modelo escogido para realizar la selección del acople motor bomba.

Carcasa	A	AA	AB	AC	AD	B	BB	BD	C	Eje					
										D	E	ES	F	G	GD
63	100	26	116	129	128	80	95	7.5	40	11j6	23	14	4	8,5	4
71	112	29	132	145	136	90	114	11.75	45	14j6	30	18	5	11	5
80	125	31	149	163	145	100	126	12.75	50	19j6	40	28	6	15,5	6
90S	140	37	164	182	155	160	131	15.5	56	24j6	50	36	8	20	7
90L					181	125	156								
100L	160	40	188	203	191	140	173	16.5	63	28j6	60	45	8	24	7
112M	190	41	220	226	206		177	18.5	70						
132S	216	46	248	274	234	140	187	23.5	89	38k6	80	63	10	33	8
132M						178	225								
132M/L						178/203	250								

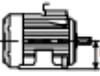
Fuente: (WEG, 2017)

APÉNDICE K

Selección del acople para el conjunto motor bomba

Al seleccionar el motor eléctrico y la bomba hidráulica se puede conocer el tipo de acople idóneo para el sistema, en la tabla K.1 se puede observar el tipo de acople idóneo, ya que se considera el modelo y diámetro del eje motor.

Tabla K. 1, Tipo de acople en el mercado.

	MOTOR  h (mm)	KW	SURE-flex	ECO-flex	TEX-O-flex	PENCO-flex	BIBBY-flex	BIBBYGEAR	B. TURBOFLEX	HARCO	Hydro-Flow	 ø d x l (mm)
	80	0,18 0,25	S4* S4*	BT4 BT4		P.145 P.145	B2020H B2020H					19 x 40
	90S	0,37	S5*	BT4	DE	P.145	B2020H		D52			24 x 50
	90L	0,55	S5*	BT4	DE	P.145	B2020H		D52			24 x 50
	100L	0,75 1,1	S5* S5	BT4 BT4	DE DE	P.145 P.145	B2030H* B2030H*		D62 D62	R0 R0	H250 H280	28 x 60
	112M	1,5 1,85	S5 S6	BT4 BT4	DE DE	P.145 P.145	B2030H* B2030H*		D62 D62	R0 R0	H280 H320	28 x 60
	132S	2,2	S6	BT10*	DE	P.145	B2040H*		DJ62	R0	H320	38 x 80
	132M	3	S6	BT10*	DE	P.145	B2040H*		DJ62	R0	H350	38 x 80
	160M	4 5,5	S7 S8	BT15* BT4	DE DE	P.145 P.145	B2040H* B2040H*		DJ62 DJ62	R0 R0	H400 H400	42 x 110
	160L	7,5	S8	BT15	DF	P.145	B2040H*		DJ62	R0	H450	42 x 110
	180L	11	S9	BT22	DG	P.145	B2050H*		DJ62	R0	H490	48 x 110
	200L	15	S10	BT30	DG	P.155	B2060H*		DJ82	R0	H490	55 x 110
	225S	18,5	S10	BT40	DH	P.155	B2070H*		DJ102	R0	H490	60 x 140
	225M	22	S11	BT40	DH	P.155	B2070H*	FD10	DJ102	R0	H540	60 x 140
	250M	30	S11	BT85*	DJ	P.175	B2080H*	FD10	DJ102	R1*	H540	65 x 140
	280S	37	S12	BT85	DJ	P.175	B2080H*	FD10	DJ102	R1*	H620	75 x 140
	280M	45	S12	BT85	DJ	P.200	B2080H*	FD10	DJ102	R1*	H620	75 x 140
	315S	55	S13	BT135	DK	P.200	B2080H	FD15	DJ122	R2*	H620	80 x 170
	315M	75	S13	BT135	DL	P.235	B2080H	FD15	DJ122	R2*	H680	80 x 170

Fuente: (ECOFLEX, 2015)

En la tabla K.2 se observa el rango de valores tanto el mínimo como el máximo que debe tener tanto el motor como la bomba y dichos valores para el modelo escogido si cumple con las características de los elementos escogidos.

Tabla K. 2, Tipo de acople con sus rangos de valores característicos.

Type Tipo	T _N (Nm) 9550 kW min ⁻¹	n _{max} min ⁻¹ (1)	D1 D2 min max (2)	A	B	E	L	M	N	J kgm ² (3)	m kg
BT4	40	5000	9 28	69	58	2	28	12	46	0,0004	0,9
BT6	60	5000	9 32	78	66	2	32	14	53	0,0008	1,4
BT10	90	5000	14 38	87	78	2	38	19,5	62	0,0016	2,0
BT15	150	5000	14 42	96	86	2	42	20	69	0,0026	2,7
BT22	220	5000	18 48	106	98	2	48	24	78	0,0042	3,7
BT30	300	5000	18 55	118	112	2	55	29	90	0,0070	5,5

Fuente: (ECOFLEX, 2015)

APÉNDICE L

Sensor Inductivo

El modelo seleccionado para el sensor inductivo se tomó en consideración la precisión con respecto a los valores que muestra que tan cercanos son a los reales y el tamaño, ya que el tamaño y la precisión están relacionados directamente. En la tabla L.1 se muestra el sensor escogido con sus respectivas características.

Tabla L. 1, Características del sensor seleccionado.

Señal de entrada / elemento de medición											
Tamaño	4 mm	M5	6,5 mm	M8	M12	M18	M30				
Temperatura ambiente	[°C]	-25 ... +70									

Salida, general												
Tipo de montaje	Enrasado						Sin enrasar					
Tamaño	4 mm	M5	6,5 mm	M8	M12	M18	M30	M8	M12	M18	M30	
Precisión de repetición	[mm]	0,04	0,04	0,07	0,07	0,1	0,25	0,5	0,12	0,2	0,4	0,75

Salida conmutada												
Tipo de montaje	Enrasado						Sin enrasar					
Tamaño	4 mm	M5	6,5 mm	M8	M12	M18	M30	M8	M12	M18	M30	
Salida conmutada	PNP						PNP					
	NPN						NPN					
Funcionamiento del elemento de maniobra	Contacto normalmente abierto						Contacto normalmente abierto					
	Contacto normalmente cerrado						Contacto normalmente cerrado					
Distancia de conmutación calculada	[mm]	0,8	0,8	1,5	1,5	2	5	10	2,5	4	8	15

Referencias									
Tamaño	S _n ¹⁾ [mm]	Tipo de montaje	Salida conmutada	Funcionamiento del elemento de maniobra	Conexión eléctrica				
					Cable		Conector tipo clavija		
					Nº art.	Tipo	Nº art.	Tipo	
	2,0	Enrasado	PNP	Contacto normalmente abierto	150402	SIEN-M12B-PS-K-L	150403	SIEN-M12B-PS-S-L	
				Contacto normalmente cerrado	150406	SIEN-M12B-PO-K-L	150407	SIEN-M12B-PO-S-L	
			NPN	Contacto normalmente abierto	150400	SIEN-M12B-NS-K-L	150401	SIEN-M12B-NS-S-L	
				Contacto normalmente cerrado	150404	SIEN-M12B-NO-K-L	150405	SIEN-M12B-NO-S-L	
	4,0	Sin enrasar	PNP	Contacto normalmente abierto	150410	SIEN-M12NB-PS-K-L	150411	SIEN-M12NB-PS-S-L	
				Contacto normalmente cerrado	150414	SIEN-M12NB-PO-K-L	150415	SIEN-M12NB-PO-S-L	
			NPN	Contacto normalmente abierto	150408	SIEN-M12NB-NS-K-L	150409	SIEN-M12NB-NS-S-L	
				Contacto normalmente cerrado	150412	SIEN-M12NB-NO-K-L	150413	SIEN-M12NB-NO-S-L	

Fuente: (FESTO, 2017)

APÉNDICE M

Selección del caudalímetro

Para la selección del caudalímetro se tomó en consideración la resistencia a la presión, el rango de medición y en que medidas muestra los datos el instrumento y la resolución que tiene, ya que esto nos ayuda a tener valores mas cercanos a los reales. En la tabla M.1 se puede observar los datos principales del instrumento de medición seleccionado.

Tabla M. 1, Características generales del equipo seleccionado.

Campo de aplicación		
Aplicación	Función totalizador; para aplicaciones industriales	
Instalación	Conexión a la tubería mediante adaptador	
Fluidos	Fluidos líquidos conductores; agua; fluidos acuosos	
Medien	conductividad: $\geq 20 \mu\text{S/cm}$ viscosidad: $< 70 \text{ mm}^2/\text{s}$ (40 °C)	
Temperatura del fluido	[°C]	-10...70
Resistencia a la presión	[bar]	16
Datos eléctricos		
Tensión de alimentación	[V]	18...30 DC; (según EN 50178 MBTS/MBTP)
Consumo de corriente	[mA]	95; (24 V)
Resistencia de aislamiento mín.	[MΩ]	100; (500 V DC)
Clase de protección		III
Protección contra inversiones de polaridad		sí
Retardo a la disponibilidad	[s]	5
Rango de configuración / medición		
Rango de medición		0,1...25 l/min 0,005...1,5 m³/h
Rango de indicación		-30...30 l/min -1,8...1,8 m³/h
Resolución		0,05 l/min 0,005 m³/h
Punto de conmutación SP		0,25...25 l/min 0,015...1,5 m³/h
Punto de desconmutación rP		0,1...24,9 l/min 0,005...1,495 m³/h
Punto inicial analógico ASP		0...20 l/min 0...1,2 m³/h
Punto final analógico AEP		5...25 l/min 0,3...1,5 m³/h
Incremento		0,05 l/min 0,005 m³/h
Supervisión de cantidades de caudal		
Valor de impulso		0,00001...30 000 m³
Longitud de pulso	[s]	0,01...2
Supervisión de temperatura		
Rango de medición	[°C]	-20...80
Resolución	[°C]	0,2
Punto de conmutación SP	[°C]	-19,2...80
Punto de desconmutación rP	[°C]	-19,6...79,6
Punto inicial analógico	[°C]	-20...60
Punto final analógico	[°C]	0...80
En intervalos de	[°C]	0,2

Fuente: (IFM, 2016)

APÉNDICE N

Sensor de temperatura PT100

Este instrumento se lo implementará para medir la temperatura del aceite en el tanque, ya que esto afecta el desempeño del equipo y disminuye la vida útil de los componentes del sistema. Para seleccionarlo se tomó en consideración el rango de medición, su alimentación y resistencia a la presión. En la tabla N.1 se puede observar las características más sobresalientes del sensor.

Tabla N. 1, Características generales del equipo seleccionado.

Campo de aplicación		
Elemento de medición		1 x Pt 1000; (según DIN EN 60751, clase A)
Fluidos		fluidos líquidos y gaseosos
Temperatura del fluido	[°C]	-40...145
Resistencia a la presión	[bar]	300
Datos eléctricos		
Tensión de alimentación	[V]	9,6...32 DC; ("supply class 2" conforme a cULus)
Consumo de corriente	[mA]	< 30
Clase de protección		III
Protección contra inversiones de polaridad		sí
Retardo a la disponibilidad	[s]	0,5
Condiciones ambientales		
Temperatura ambiente	[°C]	-40...80
Nota sobre la temperatura ambiente		con la temperatura del fluido: < 80 °C
		-40...50 °C
		con la temperatura del fluido: < 145 °C
Temperatura de almacenamiento	[°C]	-40...100
Grado de protección		IP 67
Homologaciones / pruebas		
CEM	DIN EN 61000-4-2 ESD	4 kV CD / 8 kV AD
	EN 61000-4-3 radiado HF	10 V/m
	DIN EN 61000-4-4 Burst	2 kV
	EN 61000-4-6 HF conducido	10 V
Resistencia a choques	DIN IEC 68-2-27	50 g (11 ms)
Resistencia a las vibraciones	DIN EN 60068-2-6	20 g (10...2000 Hz)
MTTF	[años]	643,1
Homologación UL	Número de homologación UL	K018
Datos mecánicos		
Peso	[g]	141,6
Materiales		inox (1.4404 / 316L); PC; PBT; FKM
Materiales en contacto con el fluido		inox (1.4404 / 316L); FKM
Par de apriete	[Nm]	45
Conexión de proceso		conexión de rosca G 1/2
Diámetro de la sonda	[mm]	6
Longitud de instalación EL	[mm]	250

Fuente: (IFM, 2016)

APÉNDICE P

Válvula modular reguladora de caudal

Para la selección de este equipo se tomó en consideración que, al momento de regular el caudal, se produce variaciones con respecto a la presión, por ende, se planea la implementación de una válvula que tenga la capacidad de regular el caudal pero que pueda compensar las pérdidas de presión generadas.

Con este parámetro establecido se procede a escoger el elemento, teniendo como referencia 3 características que son la presión máxima, el caudal máximo y la presión de apertura, teniendo como valores guía el caudal producido por la bomba, la presión generada en el sistema y el tipo de fluido de trabajo.

En la tabla P.1 se puede comparar los valores obtenidos en los cálculos de la sección 2 con los valores de la válvula para conocer si dicho elemento es el adecuado.

Tabla P. 1, Especificaciones técnicas del equipo.

	FM2	FM3	
Norma de Fijación	CETOP 3 DIN NG6	CETOP 5 DIN NG10	
Presión Máxima	345 Bar	345 Bar	
Caudal Máximo	76 LPM	113 LPM	
Presión Apertura	0.3 Bar	0.3 Bar	

Fuente: (FESTO, 2017)

Apéndice Q

Selección del transductor de presión

Para la selección del transductor se tomaron en consideración los parámetros del rango de medición, la tensión de alimentación y la resolución. Los parámetros escogidos están relacionados directamente con los cálculos estimados en la sección 2, con respecto a la presión de trabajo de nuestro equipo, el aumento de temperatura del fluido, y el tipo de conexión.

En la tabla Q.1 se puede apreciar las especificaciones generales del equipo escogido.

Tabla Q. 1, Especificaciones generales del equipo.

Campo de aplicación	
Aplicación	para aplicaciones industriales
Fluidos	fluidos líquidos y gaseosos
Temperatura del fluido [°C]	-40...90
Resistencia a la presión [bar]	250
Nota sobre la resistencia a la presión	estático
Presión de rotura mín. [bar]	1000
Resistencia al vacío [mbar]	-1000
Tipo de presión	presión relativa
Datos eléctricos	
Tensión de alimentación [V]	8,5...36 DC
Resistencia de aislamiento mín. [MΩ]	100; (500 V DC)
Clase de protección	III
Protección contra inversiones de polaridad	sí
Entradas/salidas	
Número de entradas y salidas	Número de salidas analógicas: 1

Fuente: (IFM, 2016)

En la Tabla Q.2 se puede observar las variaciones que presenta el equipo, en donde se conoce tanto la desviación lineal, histéresis y exactitud del equipo al momento de producir la respuesta generada por el comportamiento del fluido.

Tabla Q. 2, Características del equipo con relación al tipo de respuesta.

Salidas	
Número total de salidas	1
Señal de salida	señal analógica
Número de salidas analógicas	1
Salida analógica de corriente [mA]	4...20
Carga máx. [Ω]	720; (U _b = 24 V; (U _b - 8,5 V) / 21,5 mA)
Protección contra cortocircuitos	sí
Resistente a sobrecargas	sí
Rango de configuración / medición	
Rango de medición [bar]	0...100
Precisión / variaciones	
Repetibilidad [% del margen]	< ± 0,05; (en caso de variaciones de temperatura < 10 K)
Exactitud señal analógica [% del margen]	< ± 0,5; (incl. deriva debida al par de apriete, error del punto cero y del margen, no linealidad, histéresis)
Desvío de la linealidad [% del margen]	< ± 0,1 (BFSL) / < ± 0,2 (LS)
Desvío de la histéresis [% del margen]	< ± 0,2
Estabilidad a largo plazo [% del margen]	< ± 0,1; (cada 6 meses)
Coefficiente de temperatura punto cero y margen [% del margen por cada 10 K]	< 0,1 (-25...90 °C) / < 0,2 (-40...-25 °C)

Fuente: (IFM, 2016)

Apéndice R

Selección del Manómetro

Para la selección del manómetro se tomaron en consideración los parámetros del rango de medición, la tensión de alimentación y la resolución. Los parámetros escogidos están relacionados directamente con los cálculos estimados en la sección 2, con respecto a la presión de trabajo de nuestro equipo, el aumento de temperatura del fluido, y el tipo de conexión.

En la tabla R.1 se puede apreciar las especificaciones generales del equipo escogido.

Tabla R. 1, Especificaciones generales del equipo.

Campo de aplicación		
Aplicación	para aplicaciones industriales	
Fluidos	fluidos líquidos y gaseosos	
Utilización con limitaciones para	utilización en fluidos gaseosos con presiones > 25 bares solamente previa solicitud	
Temperatura del fluido	[°C]	-25...80
Resistencia a la presión	300 bar	4350 psi
Presión de rotura mín.	700 bar	9400 psi
Tipo de presión	presión relativa	
Datos eléctricos		
Tensión de alimentación	[V]	18...32 DC
Consumo de corriente	[mA]	< 70; (24 V)
Resistencia de aislamiento mín.	[MΩ]	100; (500 V DC)
Clase de protección	III	
Protección contra inversiones de polaridad	sí	
Retardo a la disponibilidad	[s]	6
Perro guardián integrado	sí	
Rango de configuración / medición		
Rango de medición	0...100 bar	0...1449 psi
Punto de conmutación SP	0,4...160 bar	6...2322 psi
Punto de desconmutación rP	0...159,6 bar	0...2316 psi
Punto inicial analógico	0...135 bar	0...1959 psi
Punto final analógico	25...160 bar	363...2322 psi
En intervalos de	0.2 bar	3 psi

Fuente: (IFM, 2016)

Apéndice S

Selección del Transmisor de posición rotatoria

Este dispositivo nos permitirá visualizar la posición y las revoluciones por minuto del motor hidráulico, por lo cual, para realizar una selección acertada del componente, se tomó en consideración su rango de medición, su alimentación, la precisión del equipo y en este caso el diámetro que posee.

En la tabla S.1 se muestra las especificaciones generales del equipo en donde se pueden comparar las especificaciones del equipo con las requeridas para nuestro mecanismo.

Tabla S. 1, Especificaciones generales del equipo.

Campo de aplicación		
Principio de funcionamiento		incremental
Sistema de detección		magnético
Datos eléctricos		
Tensión de alimentación	[V]	4,75...30 DC
Consumo de corriente	[mA]	< 150
Clase de protección		III
Protección contra inversiones de polaridad		sí
Retardo a la disponibilidad	[s]	0,5
Velocidad de rotación máx. eléctrica	[U/min]	12000
Salidas		
Frecuencia de conmutación	[kHz]	1000
Configuración de fábrica		Función de salida: HTL (50 mA)
Alimentación		HTL/TTL
Protección contra cortocircuitos		sí
Desfase canal A y B	[°]	90
Rango de configuración / medición		
Resolución		1...10000; (parametrizable; Configuración de fábrica: 1024) impulsos
Precisión / variaciones		
Precisión	[°]	0,1
Homologaciones / pruebas		
Resistencia a choques		100 g
Resistencia a vibraciones		20 g
MTTF	[años]	292
Datos mecánicos		
Peso	[g]	434,8
Dimensiones	[mm]	Ø 58,5 / L = 69
Materiales		collarín: aluminio; Carcasa: inox (1.4521 / 444); Conector macho: inox (1.4401 / 316)
Par de apriete	[Nm]	< 0,7; (Tornillo de montaje)
Velocidad de rotación máx. mecánica	[U/min]	12000
Par de apriete inicial máx.	[Nm]	2
Temperatura de referencia par de apriete	[°C]	20
Versión del eje		Eje hueco unidireccional
Diámetro del eje	[mm]	9,525
Material del eje		acero inoxidable
Profundidad de instalación del eje	[mm]	27
Desplazamiento axial máx. del eje	[mm]	0,5

Fuente: (IFM, 2016)

Apéndice T

Selección del Guardamotor

Al momento de haber seleccionado el motor eléctrico para nuestro equipo, se procede a conocer cuanta corriente consume cada uno de los equipos, por motivos de saber la capacidad que debe tener el sistema con relación a la corriente.

Al seleccionar el guardamotor se debe conocer con que voltaje trabaja el motor eléctrico y que corriente nominal produce. En la tabla T.1 se encuentran las especificaciones generales del equipo y el modelo a seleccionar.

Tabla T. 1, Especificaciones generales del equipo.

Tabla orientativa para selección de la protección de motores trifásicos ¹⁾						Corriente nominal I_n (A)	Rango de ajuste de corriente  I_n (A)	Disparo magnético instantáneo $13 \times I_n$  I_m (A)	Terminal resorte	Peso kg
220-240 V kW / HP	380-415 V kW / HP	440-480 V kW / HP	500 V kW / HP	550-600 V kW / HP	690 V kW / HP				Referencia	
-	-	-	-	-	-	0,16	0,1...0,16	2,08	MPW12-3-C016S	0,28
-	-	-	-	-	0,12 / 0,16	0,25	0,16...0,25	3,25	MPW12-3-C025S	
-	-	0,12 / 0,16	0,12 / 0,16	0,12 / 0,16	0,18 / 0,25	0,4	0,25...0,4	5,2	MPW12-3-D004S	
-	0,12 / 0,16	0,18 / 0,25	0,18 / 0,25	0,25 / 0,33	0,25 / 0,33	0,63	0,4...0,63	8,2	MPW12-3-C063S	
0,12 / 0,16	0,25 / 0,33	0,25 / 0,33	0,37 / 0,5	0,37 / 0,5	0,55 / 0,75	1	0,63...1	13	MPW12-3-U001S	
0,25 / 0,33	0,37 / 0,5	0,75 / 1	0,75 / 1	0,75 / 1	1,1 / 1,5	1,6	1...1,6	20,8	MPW12-3-D016S	
0,37 / 0,5	0,75 / 1	1,1 / 1,5	1,1 / 1,5	1,1 / 1,5	1,5 / 2	2,5	1,6...2,5	32,5	MPW12-3-D025S	
0,75 / 1	1,5 / 2	1,5 / 2	1,5 / 2	2,2 / 3	3 / 4	4	2,5...4	52	MPW12-3-U004S	
1,1 / 1,5	2,2 / 3	3 / 4	3 / 4	3,7 / 5	4 / 5,5	6,3	4...6,3	82	MPW12-3-D063S	
2,2 / 3	4,5 / 6	5,5 / 7,5	4 / 5,5	5,5 / 7,5	7,5 / 10	10	6,3...10	130	MPW12-3-U010S	
3 / 4	5,5 / 7,5	5,5 / 7,5	7,5 / 10	7,5 / 10	9,2 / 12,5	12	8...12	156	MPW12-3-U012S	

Fuente: (WEG, 2017)

Apéndice U

Selección del Indicador de nivel

Al seleccionar el tanque, el mismo debe llevar como accesorio primordial el indicador de nivel, ya que esto permite al docente o usuario del equipo conocer con que cantidad de fluido hidráulico cuenta.

Para poder seleccionar el equipo se toma en consideración el material con el que está construido, cuál es su presión máxima y cuál es su rango de temperatura de trabajo. En la tabla U.1 se puede observar las especificaciones generales del equipo en donde cumplen con todos los parámetros ya antes mencionados y cuál sería el modelo por conseguir.

Tabla U. 1, Especificaciones generales del equipo.

Indicadores de nivel tipo Bypass	Homologación							Material	Presión máx. en bar	Temperatura del medio en °C
	sin	Ex c	Ex c, GL	Ex c, DNV	GL	DNV	ABS			
Versión compacta, modelo BNA-C	x	x	x	x	x	x		Acero inoxidable 1.4571 (316Ti)	40	-196 ... +150
Versión estándar, modelo BNA-S	x	x	x	x	x	x	x	Acero inoxidable 1.4571 (316Ti), 1.4404 (316L), 1.4401/1.4404 (316/316L)	64	-196 ... +450
Versión de alta presión, modelo BNA-H	x	x	x	x	x	x		Acero inoxidable 1.4571 (316Ti), 1.4404 (316L)	400	-196 ... +450
Versión en plástico, modelo BNA-P	x							PVDF, PP	6	-10 ... +100
Versión DUPlus, estándar, modelo BNA-SD	x	x						Acero inoxidable 1.4571 (316Ti), 1.4404 (316L), 1.4401/1.4404 (316/316L)	64	-196 ... +450
Versión DUPlus, alta presión, modelo BNA-HD	x	x						Acero inoxidable 1.4571 (316Ti), 1.4404 (316L), 1.4401/1.4404 (316/316L)	160	-196 ... +450
Versión de gas líquido/ KOPlus, modelo BNA-L	x	x						Acero inoxidable 1.4571 (316Ti), 1.4404 (316L)	25	-60 ... +300
Materiales especiales, modelo BNA-X	x	x						Acero inoxidable 6Mo 1.4547 (UNS S31254)	250	-196 ... +450
	x							Acero inoxidable 1.4571 (316Ti) con revestimiento interior en E-CTFE, ETFE o PTFE	16	en función del medio
	x	x	x	x	x	x		Titanio 3.7035	64	-196 ... +450
	x	x	x	x	x	x		Hastelloy C276 (2.4819)	160	-196 ... +450
Versión con camisa térmica, modelo BNA-J	x	x	x		x			Acero inoxidable 1.4571 (316Ti), 1.4404 (316L)	64	-60 ... +450

Fuente: (IFM, 2016)

Apéndice V

Selección de programador Lógico controlable.

A continuación, se muestra el sentido lógico de programación que tiene el equipo didáctico en base a lo requerido en las prácticas de control, se debe realizar el sentido para conocer las entradas tanto análogas como digitales que están presentes en nuestro sistema para seleccionar correctamente nuestro PLC.

Práctica de control de velocidad lineal de cilindro hidráulico.

1. Establecer presión de trabajo regulada por válvula de alivio de 10 – 70 bar de presión.
2. Seleccionar velocidad lineal requerida, una vez establecida la velocidad mínima y máxima de trabajo.

Los límites inferiores y superiores se determinan de acuerdo con el caudal de trabajo que genera la bomba hidráulica seleccionada (GP2K8)

- 2.1 Para velocidad mínima.

$$Q_{min} = V_{min} * \text{Área cilindro}$$

$$Q_{min} = 4.5 \frac{L}{min} * \left(\frac{1 min}{60s}\right) * \left(\frac{1 m^3}{1000L}\right) = 7.5 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

$$\text{Área cilindro} = 2.027 \times 10^{-3} m^2$$

$$v_{min} = \frac{Q_{min}}{\text{Área cilindro}} = 37 \frac{mm}{s}$$

- 2.2 Para velocidad máxima.

$$Q_{max} = V_{max} * \text{Área cilindro}$$

$$Q_{max} = 24 \frac{L}{min} * \left(\frac{1 min}{60s}\right) * \left(\frac{1 m^3}{1000L}\right) = 0.4 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

$$\text{Área cilindro} = 2.027 \times 10^{-3} m^2$$

$$v_{max} = \frac{Q_{max}}{\text{Área cilindro}} = 197.34 \frac{mm}{s}$$

2.3 Rangos de operación para programación controlada por computadora.

De acuerdo con lo calculado la velocidad de trabajo de nuestro sistema estará dado en función de la tabla xx que se muestra a continuación.

	Mínimo	Máximo
Caudal $\frac{L}{min}$	4.5	24
Velocidad $\frac{mm}{s}$	37	197.34
Señal de trabajo mA	4	20

La válvula proporcional de caudal se abre de acuerdo con la señal de entrada que reciba siendo 4mA para la velocidad mínima que es $37 \frac{mm}{s}$ y 20 mA para la velocidad crítica que es de $197.34 \frac{mm}{s}$.

3. Activar paso de electroválvula.
4. Enviar señal a válvula proporcional de caudal 4 – 20 mA
5. Válvula reguladora de caudal se abre proporcionalmente de 0 – 100% de acuerdo con la señal que recibe.
6. Movimiento de actuador.
7. Sensor inductivo #1 se activa empieza a contar temporizador.

8. Sensor inductivo #2 se activa termina temporizador.

9. Calcular velocidad lineal del cilindro conociendo el tiempo y la longitud del vástago(200mm).

$$v = \frac{200}{t}$$

Esto se realiza para comprobar la velocidad solicitada al inicio con una velocidad aproximada.

Práctica de control de velocidad de rotación de bomba hidráulica.

1. Establecer presión de trabajo regulada por válvula de alivio de 10 – 70 bar de presión.

2. Seleccionar velocidad de rotación requerida, una vez establecida la velocidad mínima y máxima de operación.

Los límites inferiores y superiores se determinan de acuerdo al caudal de trabajo que puede generar el motor hidráulico seleccionado (GM2K6) .

De acuerdo al fabricante la relación entre el caudal y la velocidad de rotación está dado por:

$$Q = \frac{q \times n \times n_v \times 2\pi}{1000}$$

Donde:

q : Desplazamiento volumetrico : 6.3 [cm^3/rev]

n : Velocidad angular [rpm]

n_v : Rendimiento Volumetrico: 0.94

$$Q = \frac{6.3 \times n \times 0.94 \times 2\pi}{1000} = 0.0372 n$$

$$Q = 0.0372 n$$

2.1 Rangos de operación para programación controlada por computadora.

De acuerdo a la relación caudal – velocidad angular nuestro sistema estará dado en función de la tabla xx que se muestra a continuación.

	Mínimo	Máximo
Velocidad [rpm]	120	600
Caudal [$\frac{L}{min}$]	4.46	22.33
Señal de trabajo [mA]	4	20

La válvula proporcional de caudal se abre de acuerdo a la señal de entrada que reciba siendo 4mA para la velocidad mínima de 120 rpm y 20 mA para la velocidad crítica de 600 rpm.

3. Activar paso de electroválvula.
4. Enviar señal a válvula proporcional de caudal 4 – 20 mA
5. Válvula reguladora de caudal se abre proporcionalmente de 0 – 100% de acuerdo a la señal que recibe.
6. Movimiento de actuador.

Práctica de cálculo de velocidad lineal de cilindro hidráulico.

1. Establecer presión de trabajo regulada por válvula de alivio de 10 – 70 bar de presión.
2. Establecer abertura de válvula reguladora de caudal (25% - 50% - 75% - 100%).
3. Movimiento de cilindro hidráulico.
4. Sensor inductivo #1 se activa empieza a contar temporizador.

5. Sensor inductivo #2 se activa termina temporizador.

6. Calcular velocidad lineal del cilindro conociendo el tiempo y la longitud del vástago(200mm).

$$v = \frac{200}{t}$$

Selección de PLC.

Se debe tener en cuenta el número de entradas análogas y digitales que tiene nuestro sistema.

Entradas análogas:

1 Válvula proporcional de caudal

2 Sensores inductivos

2 Caudalímetros

1 transductor de presión

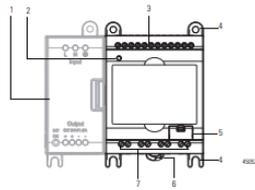
1 Sensor de temperatura.

Entradas digitales:

Encoder de posición.

De acuerdo con las entradas tanto análogas como digitales que necesitamos, y debido a su bajo costo y facilidad de programación se escogió el PLC ROCKWELLMICRO 810. El cual tiene 12 puntos para entradas y salidas, para futuras expansiones de control. Tiene una pantalla táctil 1.5 pulgadas. A continuación, se muestra el equipo seleccionado.

Micro810 12-Point Controllers



Controller Description

Description	Description
1 Optional power supply	5 USB port (for use with USB Adapter only)
2 Status indicator	6 DIN rail mounting latch
3 Input terminal block	7 Output terminal block
4 Mounting screw hole/ mounting foot	

Apéndice W

Práctica N.-1

Tema: Control de velocidad de un pistón de doble efecto con una electroválvula de accionamiento eléctrico.

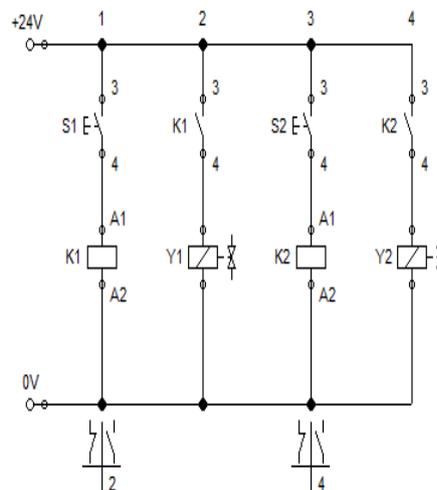
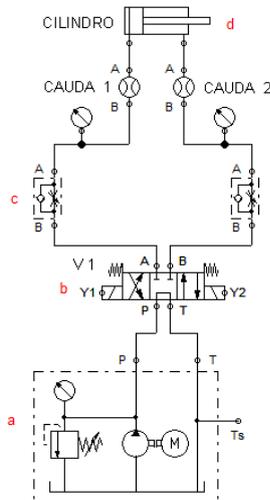
Objetivos:

- Observar el funcionamiento de un cilindro de doble efecto.
- Accionar una secuencia lógica mediante un botón pulsador.
- Emplear una electroválvula distribuidora 4/3 vías mediante un solenoide, la cual posee un centro de descarga.
- Seleccionar y utilizar los componentes adecuados para la posterior conexión del circuito.
- Utilizar una válvula antirretorno estranguladora para visualizar como cambia los parámetros en el cilindro.
- Comparar los resultados obtenidos mediante la conexión del circuito con los resultados propuestos.

Funcionamiento:

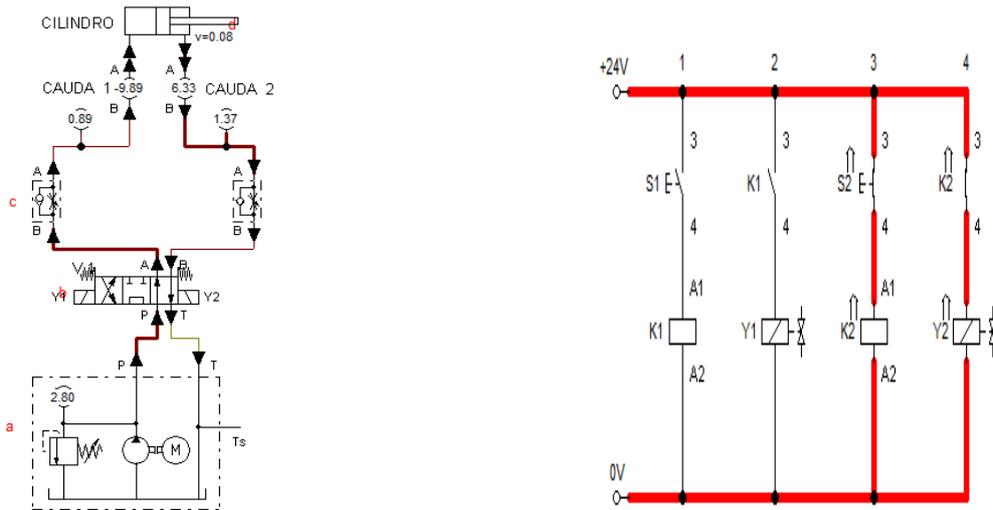
Al seleccionar el pulsador S1, se cierra el circuito y se energiza la bobina del relé K1 con 24V, al energizarse esa bobina se cierra el contacto normalmente abierto de ella (K1), y por lo tanto se energiza el solenoide Y1, esto ocasiona que la electroválvula distribuidora conmute hacia la izquierda, esto mismo se sucede al momento que se desea que la electroválvula conmute en cambio hacia la derecha.

Diseño del diagrama:

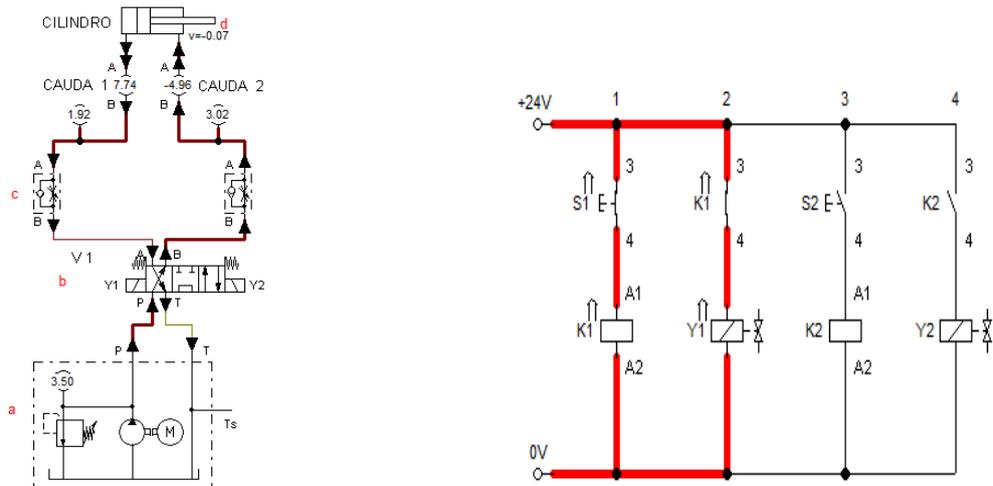


Funcionamiento:

Al seleccionar el pulsador S2, se cierra el circuito y se energiza la bobina del relé K2 con 24V, al energizarse esa bobina se cierra el contacto normalmente abierto de ella (K2), y por lo tanto se energiza el solenoide Y2, esto ocasiona que la electroválvula distribuidora conmute hacia la izquierda. El circuito se puede observar en la siguiente figura:



Al seleccionar el pulsador S1, se cierra el circuito y se energiza la bobina del relé K1 con 24V, al energizarse esa bobina se cierra el contacto normalmente abierto de ella (K1), y por lo tanto se energiza el solenoide Y1, esto ocasiona que la electroválvula distribuidora conmute hacia la izquierda. El circuito se puede observar en la siguiente figura:



Lista de componentes que conforman el circuito:

- 1) Componentes Hidráulicos.
 - a) Grupo motriz (Mini centralina)
 - i) Bomba de engranajes 10.2 Lpm
 - ii) Tanque de 2 L.
 - iii) Motor hidráulico de 1.12 hp.
 - iv) Válvula limitadora de presión.
 - b) Válvula antirretorno estranguladora.
 - c) Electroválvula 4/3 vías.
 - d) Cilindro de doble efecto, $D_e = 50.8 \text{ mm}$, $D_v = 25.4 \text{ mm}$ y $Carrera = 250 \text{ mm}$
- 2) Componente Eléctrico.
 - a) Fuente de tensión 24V.
 - b) Fuente de tensión de 0V.
 - c) S1: Interruptor (Pulsador).
 - d) K1: Relé.
 - e) K1: Contacto normalmente abierto (NA)
 - f) Y1: Válvula solenoide.
- 3) Instrumentos de medición y conexiones.
 - a) Caudalímetro.
 - b) Manómetros.
 - c) Cronómetro.
 - d) Sensor de temperatura (Termocupla)
 - e) Dos sensores inductivos M12 para realizar la función de final de carrera del cilindro hidráulico.
 - f) Mangueras hidráulicas de $\frac{1}{2}$ " de diferentes longitudes para unión de los diferentes elementos del sistema hidráulico, cada una cuenta con acoples rápidos en sus extremos para facilitar la conexión de los circuitos hidráulicos.

Desarrollo de la práctica

En la práctica se tendrán dos sensores inductivos colocados en la salida de vástago y a una distancia igual a la carrera aproximada que tendrá el vástago. Esto nos permite hallar la velocidad en la que avanza el cilindro, ya que el tiempo se lo tomara por medio de un cronómetro, y también se puede medir por medio de los sensores que nos indican el tiempo que se demora en llegar de un sensor a otro el vástago. Con este dato conocido y con la distancia que recorre es igual a la carrera del cilindro se procede a obtener la velocidad del cilindro de la siguiente manera:

$$v = \frac{x}{t}$$

Donde:

v= velocidad [m/s]

x= distancia recorrida del vástago (carrera) [m]

t= tiempo. [s]

En la práctica se analizan tres puntos los cuales se consideran importantes, el primer punto es a la salida de la bomba, es segundo punto es a la entrada del cilindro y el tercer punto es a la salida del cilindro, cabe recalcar que en cada punto se analiza la medición de presión, y de caudal salvo en el primer punto. Con las medidas obtenidas se procede a obtener la potencia, mediante a siguiente ecuación:

$$P(KW) = \frac{p(\text{bar}) * Q \left(\frac{L}{\text{min}} \right)}{612}$$

Donde:

P=Potencia.

p=Presión.

Q= Caudal

En donde se trabajará con 4 potencias, ya que se incluye la potencia nominal que el motor eléctrico transmite a la bomba P_m , esto nos da el fabricante del motor su valor máximo:

$$P_m = 1.12 \text{ HP} = 0.84 \text{ KW}$$

A partir de estos datos se procede a obtener la eficiencia de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{P_{\text{transmitida}}}{P_{\text{absorbida}}}$$

El rendimiento del conjunto motor-bomba

$$\eta_{m-b} = \frac{P_1}{P_{\text{motor}}}$$

Las pérdidas ejercidas en el circuito, en donde se asumirá que el camino de ida es aproximadamente igual que el de vuelta:

$$\xi(KW) = 2(P_1 - P_2)$$

Luego se procede a obtener el rendimiento debido a las pérdidas en el circuito:

$$\eta_p = \frac{P_1 - \xi}{P_1}$$

El rendimiento del cilindro se calcula de la siguiente manera:

$$\eta_c = \frac{P_3}{P_2}$$

Con todos estos valores, se puede obtener el rendimiento global de todo el sistema:

$$\eta_{total} = \eta_{m-b} * \eta_p * \eta_c$$

Con todo el procedimiento claro, se procede a realizar la práctica que se divide en 4 casos, los cuales están distribuidos dependiendo del paso de caudal.

Primer caso

Se presenta en la válvula reguladora de caudal con un paso de caudal de 100%.

	v (m/s)	p [bar]	Q (L/min)	P (KW)
PUNTO 1				
PUNTO 2				
PUNTO 3				

Segundo caso

Se presenta en la válvula reguladora de caudal con un paso de caudal de 75%.

	v (m/s)	p [bar]	Q (L/min)	P (KW)
PUNTO 1				
PUNTO 2				
PUNTO 3				

Tercero caso

Se presenta en la válvula reguladora de caudal con un paso de caudal de 50%.

	v (m/s)	p [bar]	Q (L/min)	P (KW)
PUNTO 1				
PUNTO 2				
PUNTO 3				

Cuarto caso

Se presenta en la válvula reguladora de caudal con un paso de caudal de 25%.

	v (m/s)	p [bar]	Q (L/min)	P (KW)
PUNTO 1				
PUNTO 2				
PUNTO 3				

Conclusiones

Recomendaciones

Apéndice X

Práctica N.-2

Tema: Control de velocidad de un motor hidráulico con una electroválvula de accionamiento eléctrico.

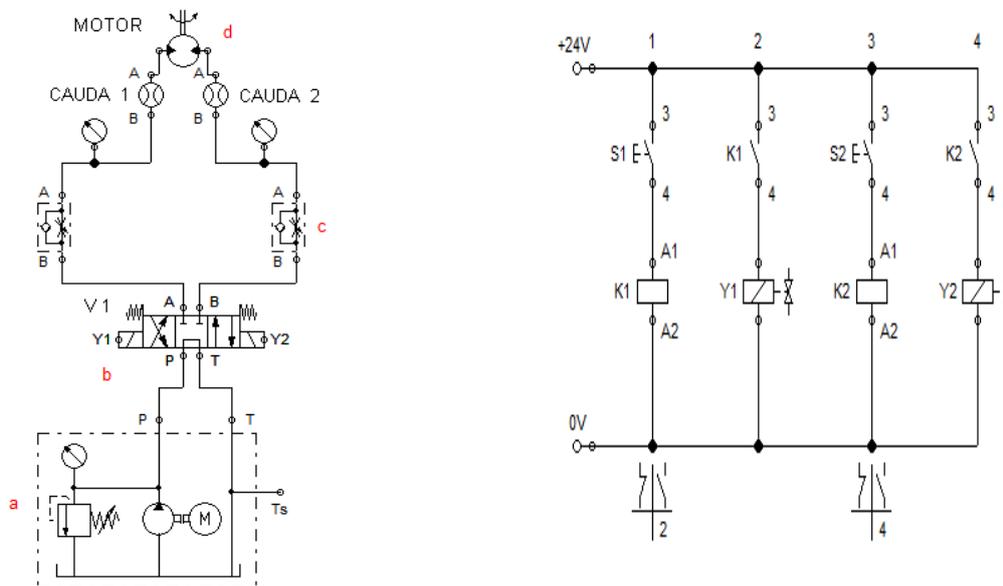
Objetivos:

- Observar el funcionamiento de un motor hidráulico.
- Accionar una secuencia lógica mediante un botón pulsador.
- Emplear una electroválvula distribuidora 4/3 vías mediante un solenoide, la cual posee un centro de descarga.
- Seleccionar y utilizar los componentes adecuados para la posterior conexión del circuito.
- Utilizar una válvula antirretorno estranguladora para visualizar como cambia los parámetros en el motor hidráulico.
- Comparar los resultados obtenidos mediante la conexión del circuito con los resultados propuestos.

Funcionamiento:

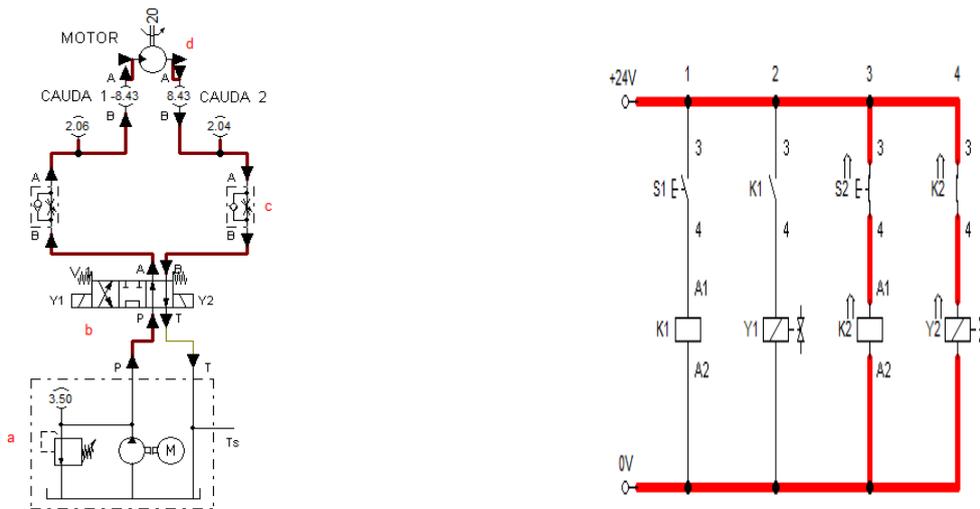
Al seleccionar el pulsador S1, se cierra el circuito y se energiza la bobina del relé K1 con 24V, al energizarse esa bobina se cierra el contacto normalmente abierto de ella (K1), y por lo tanto se energiza el solenoide Y1, esto ocasiona que la electroválvula distribuidora conmute hacia la izquierda, esto mismo se sucede al momento que se desea que la electroválvula conmute en cambio hacia la derecha.

Diseño del diagrama:

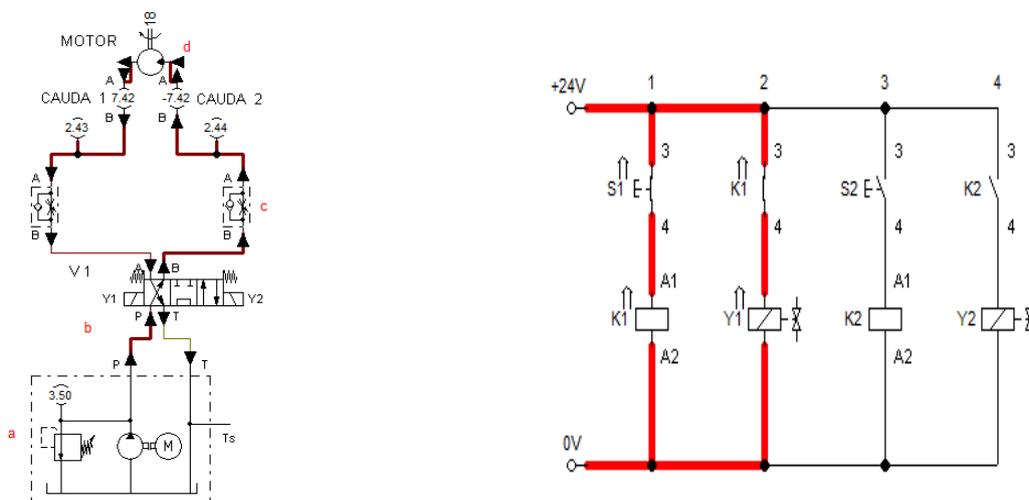


Funcionamiento:

Al seleccionar el pulsador S2, se cierra el circuito y se energiza la bobina del relé K2 con 24V, al energizarse esa bobina se cierra el contacto normalmente abierto de ella (K2), y por lo tanto se energiza el solenoide Y2, esto ocasiona que la electroválvula distribuidora conmute hacia la izquierda. El circuito se puede observar en la siguiente figura:



Al seleccionar el pulsador S1, se cierra el circuito y se energiza la bobina del relé K1 con 24V, al energizarse esa bobina se cierra el contacto normalmente abierto de ella (K1), y por lo tanto se energiza el solenoide Y1, esto ocasiona que la electroválvula distribuidora conmute hacia la izquierda. El circuito se puede observar en la siguiente figura:



Lista de componentes que conforman el circuito:

- 4) Componentes Hidráulicos.
 - a) Grupo motriz (Mini centralina)
 - i) Bomba de engranajes 10.2 Lpm
 - ii) Tanque de 2 L.
 - iii) Motor hidráulico de 1.12 hp.
 - iv) Válvula limitadora de presión.
 - b) Válvula antirretorno estranguladora.
 - c) Electroválvula 4/3 vías.
 - d) Motor hidráulico
- 5) Componente Eléctrico.
 - a) Fuente de tensión 24V.
 - b) Fuente de tensión de 0V.
 - c) S1: Interruptor (Pulsador).
 - d) K1: Relé.
 - e) K1: Contacto normalmente abierto (NA)
 - f) Y1: Válvula solenoide.
- 6) Instrumentos de medición y conexiones.
 - a) Caudalímetro.
 - b) Manómetros.
 - c) Cronómetro.
 - d) Sensor de temperatura (Termocupla)
 - e) Encoder para medir los rpm del motor hidráulico.
 - f) Mangueras hidráulicas de ¼" de diferentes longitudes para unión de los diferentes elementos del sistema hidráulico, cada una cuenta con acoples rápidos en sus extremos para facilitar la conexión de los circuitos hidráulicos.

Desarrollo de la práctica

Para conocer el valor de la velocidad angular del motor hidráulico, se utiliza un encoder rotativo, el cual nos brinda los valores de la posición angular para poder obtener la velocidad angular, ya que el tiempo es conocido por medio del cronómetro.

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

Donde:

ω = Velocidad angular [1/min]

θ = Posición angular en radianes.

t = Tiempo [s]

Al obtener la velocidad angular se procede a obtener la velocidad lineal, ya que el radio del eje del motor es conocido y se procede a aplicar la siguiente ecuación:

$$v = \omega * r$$

Donde:

v= velocidad lineal [m/s]

ω = Velocidad angular [1/min]

r= radio del eje. [m]

En la práctica se analizan tres puntos los cuales se consideran importantes, el primer punto es a la salida de la bomba, es segundo punto es a la entrada del cilindro y el tercer punto es a la salida del cilindro, cabe recalcar que en cada punto se analiza la medición de presión, y de caudal salvo en el primer punto. Con las medidas obtenidas se procede a obtener la potencia, mediante a siguiente ecuación:

$$P(KW) = \frac{p(bar) * Q\left(\frac{L}{min}\right)}{612}$$

Donde:

P=Potencia.

p=Presión.

Q= Caudal

En donde se trabajará con 4 potencias, ya que se incluye la potencia nominal que el motor eléctrico transmite a la bomba P_m , esto nos da el fabricante del motor su valor máximo:

$$P_m = 1.12 \text{ HP} = 0.84 \text{ KW}$$

A partir de estos datos se procede a obtener la eficiencia de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{P_{transmitida}}{P_{absorbida}}$$

El rendimiento del conjunto motor-bomba

$$\eta_{m-b} = \frac{P_1}{P_{motor}}$$

Las perdidas ejercidas en el circuito, en donde se asumirá que el camino de ida es aproximadamente igual que el de vuelta:

$$\xi(KW) = 2(P_1 - P_2)$$

Luego se procede a obtener el rendimiento debido a las pérdidas en el circuito:

$$\eta_p = \frac{P_1 - \xi}{P_1}$$

El rendimiento del cilindro se calcula de la siguiente manera:

$$\eta_c = \frac{P_3}{P_2}$$

Con todos estos valores, se puede obtener el rendimiento global de todo el sistema:

$$\eta_{total} = \eta_{m-b} * \eta_p * \eta_c$$

Con todo el procedimiento claro, se procede a realizar la práctica que se divide en 4 casos, los cuales están distribuidos dependiendo del paso de caudal.

Primer caso

Se presenta en la válvula reguladora de caudal con un paso de caudal de 100%.

	v (m/s)	p [bar]	Q (L/min)	P (KW)
PUNTO 1				
PUNTO 2				
PUNTO 3				

Segundo caso

Se presenta en la válvula reguladora de caudal con un paso de caudal de 75%.

	v (m/s)	p [bar]	Q (L/min)	P (KW)
PUNTO 1				
PUNTO 2				
PUNTO 3				

Tercero caso

Se presenta en la válvula reguladora de caudal con un paso de caudal de 50%.

	v (m/s)	p [bar]	Q (L/min)	P (KW)
PUNTO 1				
PUNTO 2				
PUNTO 3				

Cuarto caso

Se presenta en la válvula reguladora de caudal con un paso de caudal de 25%.

	v (m/s)	p [bar]	Q (L/min)	P (KW)
PUNTO 1				
PUNTO 2				
PUNTO 3				

Conclusiones

Recomendaciones

Apéndice Y

Guía de mantenimiento de banco electrohidráulica de mecatrónica.

La presente guía de mantenimiento está basada en la norma DIN 31051, la cual define al mantenimiento como medidas para mantener el estado nominal de todos los elementos que forman un sistema. Las medidas de mantenimiento se planean de acuerdo a la importancia, sensibilidad y tiempo de uso (intermitente o varios turnos) que se les da a los equipos.

1. Inspección

Es necesario que los puntos individuales de inspección del equipo sean indicados la lista de inspección o check list, así de esta manera se lleva control por parte de los docentes de laboratorio acerca del estado inmediato de los equipos.

Las partes consideradas críticas del sistema ya sea por la sensibilidad de sus componentes o por su tiempo de operación en el tablero de electrohidráulica los puntos de inspección críticos serían los siguientes:

- a) Tanque de aceite hidráulico. (Revisión de niveles y color de aceite)
- b) Filtro de presión. (Revisión de impurezas).
- c) Válvulas de alivio. (Revisión de control de presión)
- d) Válvula de control de caudal. (Revisión de correcto funcionamiento)
- e) Fugas en actuadores.

1.1 Verificar nivel de fluido del tanque.

Niveles demasiados bajos en el tanque de almacenamiento se dan casi siempre por fugas externas en el sistema; mientras que niveles demasiado altos del sistema también generan problemas, esto se puede dar debido a descarga de componentes durante el tiempo de parada.

1.2 Verificar presiones

Verificar presiones de válvulas primarias ya sean reguladoras de presión o de seguridad.

1.3 Verificar fugas

Se debe verificar fugas en mangueras hidráulicas o componentes del sistema; se puede identificar la magnitud del desgaste en motores hidráulicos mediante la medición de la cantidad de aceite de fuga.

1.4 Verificar limpieza del fluido

Para determinar la limpieza puede utilizarse tres métodos:

-Determinación gravimétrica de sustancias solidas mediante el filtrado fino de una determinada cantidad de fluido.

-Contar las partículas con aparatos electrónicos de conteo y clasificación.

1.5 Verificar ensuciamiento de filtros

Se puede determinar el grado de ensuciamiento a través de la medición de la diferencia de presión sobre el elemento filtrante. Para hacer este procedimiento sin medición solo se deben emplear filtros con indicadores ópticos de ensuciamiento.

1.6 Verificar la generación de ruido

Verificar las válvulas limitadoras de presión y si se escucha un siseo o silbido puede ser señal de daños en las válvulas así mismo los cilindros pueden tabletear o rechinar en el arranque esto indica desgaste o también un aumento del ruido de carcasa puede indicar daños de erosión.

1.7 Verificar potencia y velocidad

El consumo de potencia de bombas se determina según su el tipo de equipo y con esto también se puede interpretar el estado del equipo.

1.8 Verificar sistema de tuberías y mangueras

Es necesario verificar las conexiones de las tuberías ya que las flojas pueden generar pérdidas de presión en el sistema.

2. Mantenimiento de equipos hidráulicos

2.1 Reposición de fluido hidráulico

En pocas palabras debe reponerse el mismo fluido con el que se ha llenado el sistema y también con otras clases de fluidos se deben evitar las mezclas.

2.2 Cambio del fluido hidráulico

Cuando el fluido se ve alterado químicamente es necesario el cambio inmediato y así mismo, cuando existe suciedad es necesario cambiarlo.

Después de cada cambio de fluido debe limpiarse el tanque, el fluido debe ingresar a través de un filtro con una malla más pequeña que el filtro de presión.

2.3 Limpieza de filtros

Los filtros deben reemplazarse o limpiarse en cada cambio de fluido.

2.4 Reajustar presión

Se deben reajustar en su totalidad las presiones, ya que esto sirve para las válvulas limitadoras de presión de trabajo, en circuitos de comando y en la gama de bajas presiones.

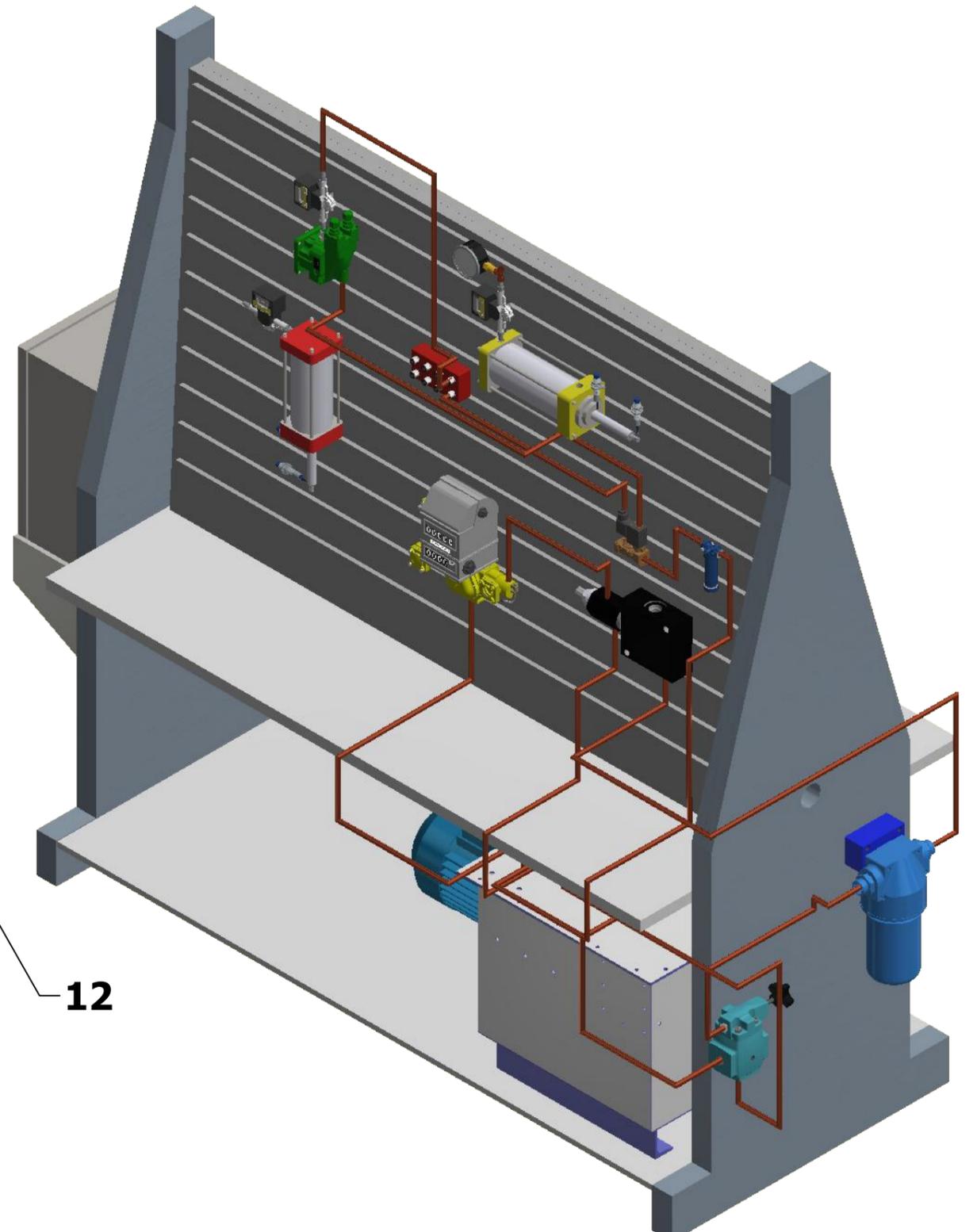
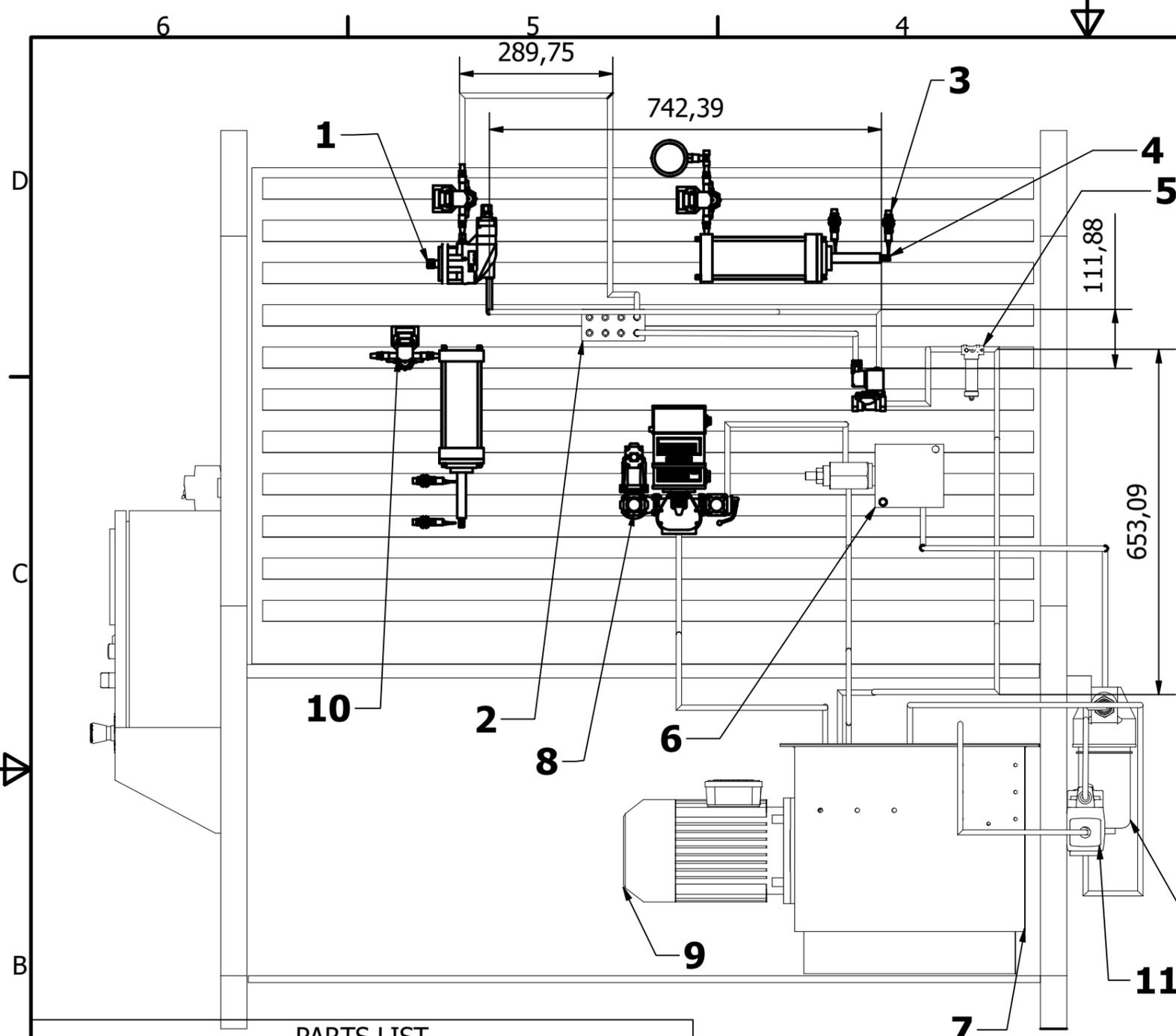
2.5 Eliminar pérdidas en el sistema de tuberías

Se debe realizar pruebas de estanqueidad que consiste en un ensayo de fugas que se lleva a cabo sin presión; luego de esto se deben reemplazar todas las juntas en las que se presente fugas.

2.6 Limpiar el equipo

Se debe limpiar exteriormente el equipo hidráulico para que la búsqueda de las fugas sea facilitada y así mismo no arrastrar suciedad al interior al recompensar el fluido en el equipo hidráulico. Es importante que el líquido utilizado no ingrese al sistema hidráulico y también que el equipo pueda soportar este efectivo método.

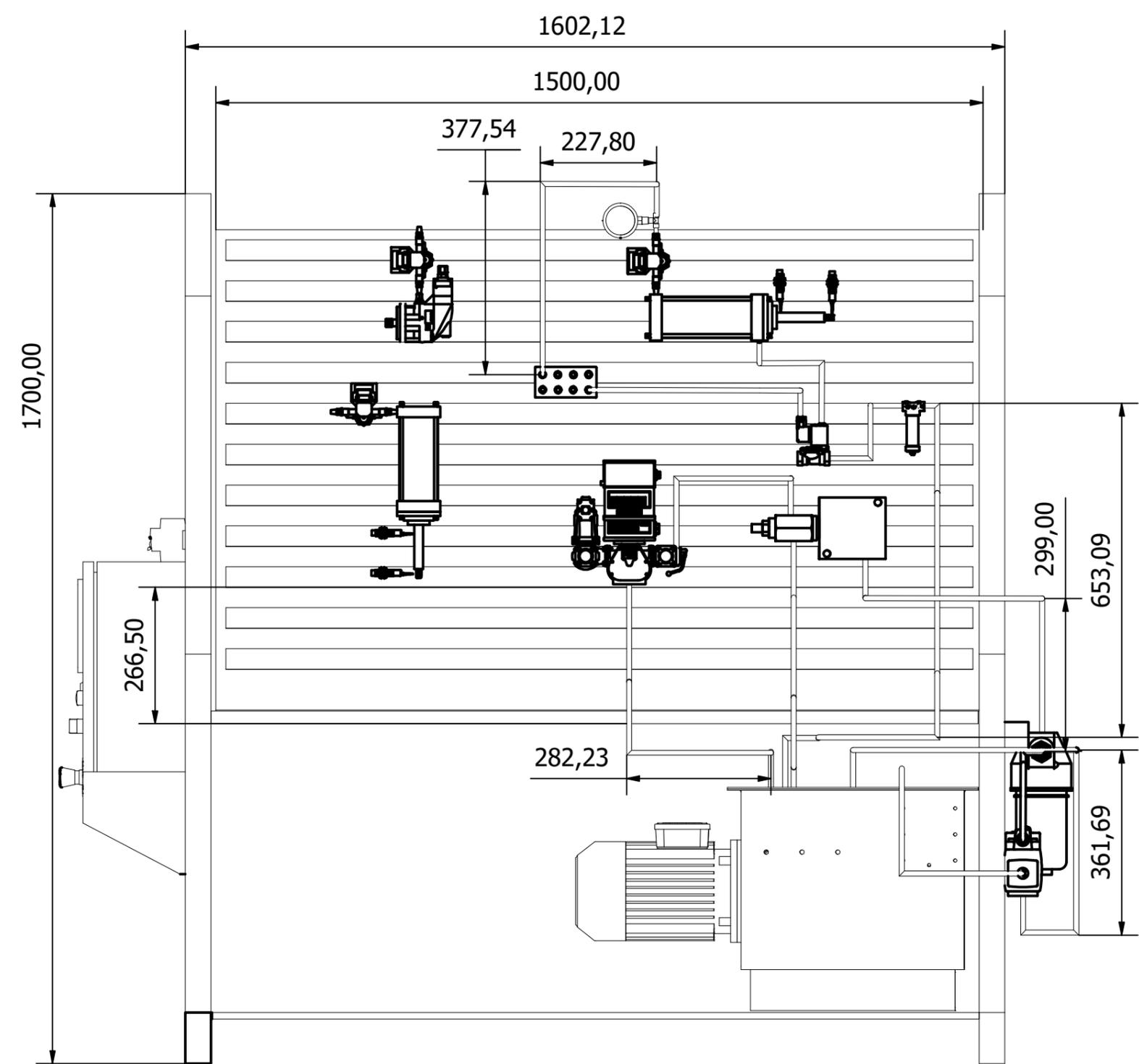
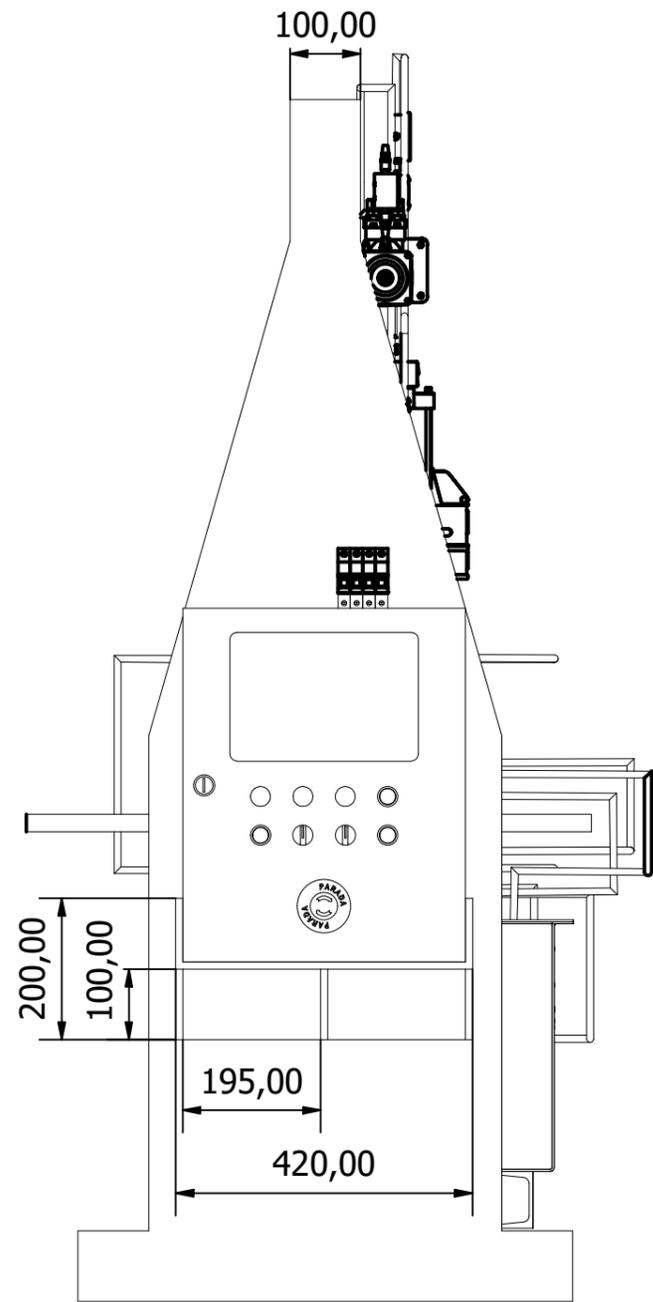
ANEXO PLANOS



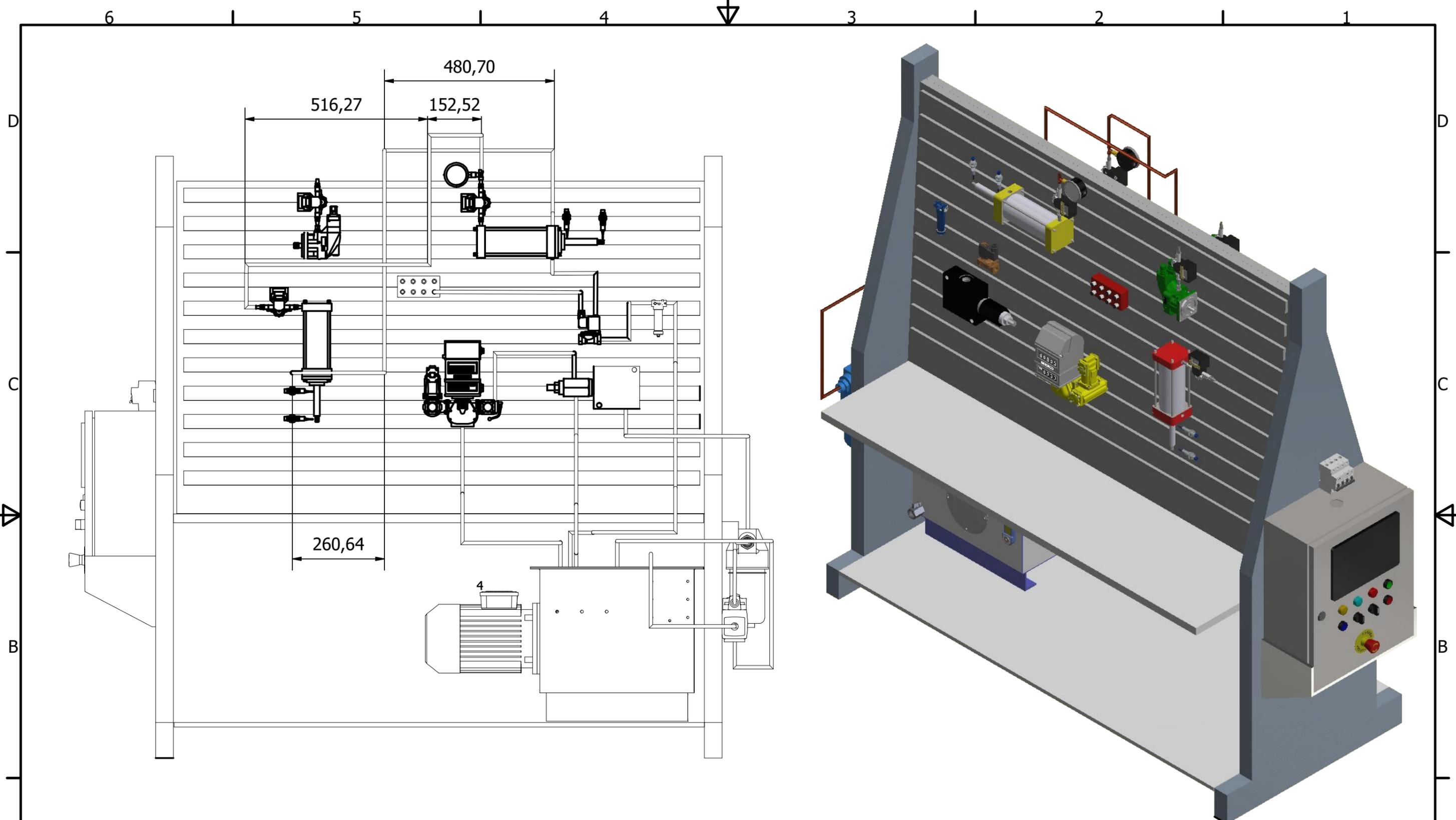
PARTS LIST

Item	Qty	Part Number	Description
1	2		Bomba hidráulica
2	2		Manifold
3	8		Sensor inductivo
4	4		Cilíndro hidráulico
5	2		Filtro de presión
6	2		Válvula de control de presión
7	1		Tanque de almacenamiento
8	2		Válvula proporcional de caudal
9	1		Motor eléctrico
10	6		Caudalímetro
11	1		Válvula de alivio
12	1		Filtro de retorno

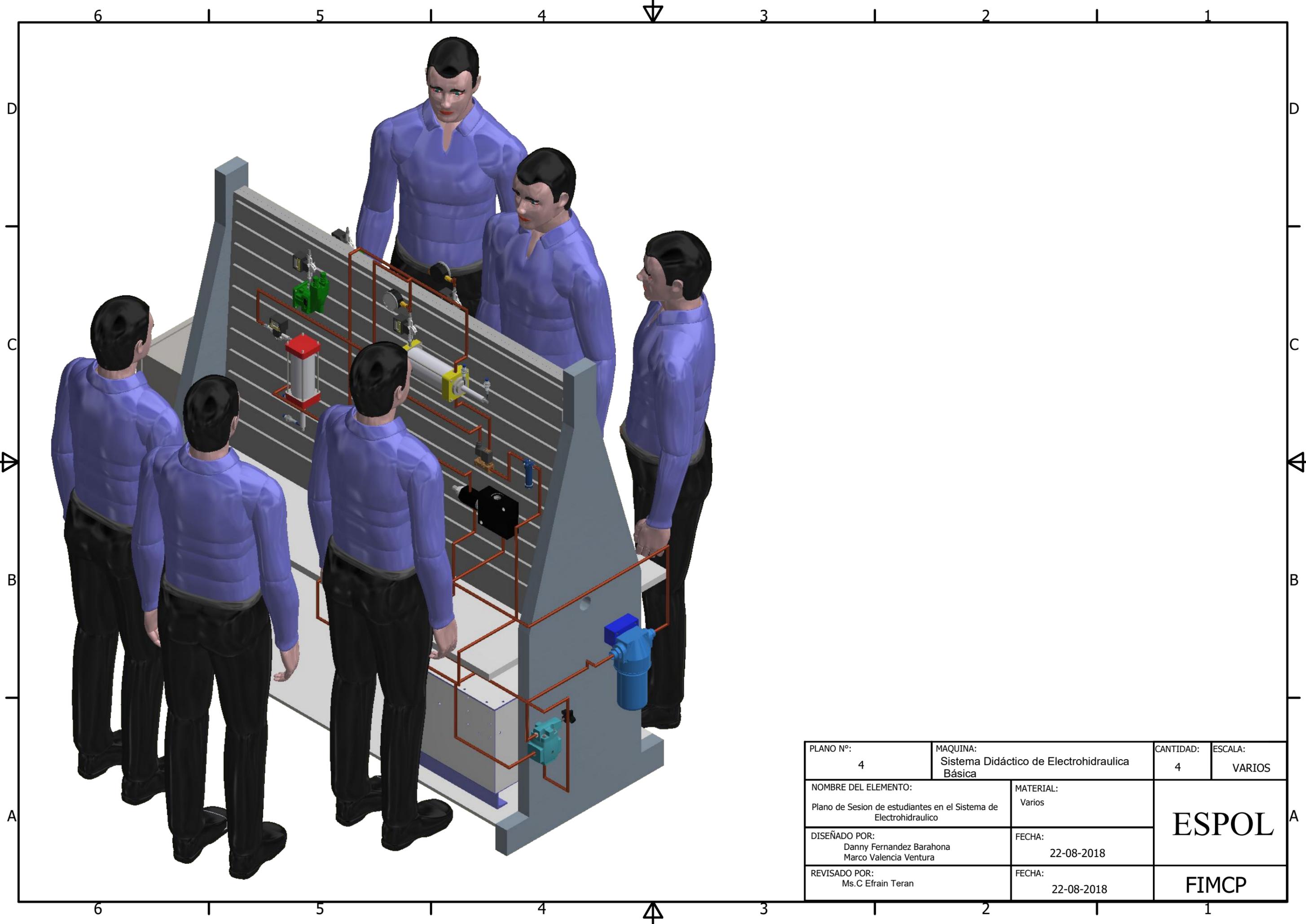
TODAS LAS MEDIDAS TIENE TOLERANCIAS DE ± 0.1 mm Y ANGULOS CON TOLERANCIA DE $\pm 0^\circ 20'$, A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO		PLANO N°: 1	MAQUINA: Sistema Didáctico de Electrohidraulica Básica	CANTIDAD: 4	ESCALA: VARIOS
REVISIONES	NOMBRE DEL ELEMENTO: Plano de Componente del Sistema de Electrohidraulica		MATERIAL: Varios	ESPOL	
OBSERVACIONES	DISEÑADO POR: Danny Fernandez Barahona Marco Valencia Ventura		FECHA: 22-08-2018		
	REVISADO POR: Ms.C Efrain Teran		FECHA: 22-08-2018		
				FIMCP	



TODAS LAS MEDIDAS TIENE TOLERANCIAS DE ± 0.1 mm Y ANGULOS CON TOLERANCIA DE $\pm 0^\circ 20'$, A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO	PLANO N°:	2	MAQUINA:	Sistema Didáctico de Electrohidraulica Básica	CANTIDAD:	4	ESCALA:	VARIOS
	REVISIONES	NOMBRE DEL ELEMENTO:		MATERIAL:	ESPOL			
	OBSERVACIONES	Plano de Vistas del Sistema de Electrohidraulica		Varios				
		DISEÑADO POR:	Danny Fernandez Barahona Marco Valencia Ventura		FECHA:	22-08-2018		
	REVISADO POR:	Ms.C Efrain Teran		FECHA:	22-08-2018			
					FIMCP			



TODAS LAS MEDIDAS TIENE TOLERANCIAS DE ± 0.1 mm Y ANGULOS CON TOLERANCIA DE $\pm 0^\circ 20'$, A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO	PLANO N°:	MAQUINA:		CANTIDAD:	ESCALA:
	3	Sistema Didáctico de Electrohidraulica Básica		4	VARIOS
	REVISIONES	NOMBRE DEL ELEMENTO:	MATERIAL:	ESPOL	
	OBSERVACIONES	Plano del Sistema Hidraulico activado Mecanicamente	Varios		
	DISEÑADO POR: Danny Fernandez Barahona Marco Valencia Ventura	FECHA: 22-08-2018			
	REVISADO POR: Ms.C Efraim Teran	FECHA: 22-08-2018	FIMCP		



PLANO N°: 4	MAQUINA: Sistema Didáctico de Electrohidraulica Básica	CANTIDAD: 4	ESCALA: VARIOS
NOMBRE DEL ELEMENTO: Plano de Sesión de estudiantes en el Sistema de Electrohidraulico		MATERIAL: Varios	ESPOL
DISEÑADO POR: Danny Fernandez Barahona Marco Valencia Ventura		FECHA: 22-08-2018	
REVISADO POR: Ms.C Efraim Teran		FECHA: 22-08-2018	FIMCP