

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PUCP**

**MÓDULO DIDACTICO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN Y**

**TEMPERATURA EN CILINDROS HIDRÁULICOS**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero**

**Mecatrónico**

**AUTOR:**

Oscar Javier Villar Vargas

**ASESOR:**

Karol Muñoz Salas

Lima, Septiembre, 2020

## RESUMEN

El movimiento de objetos con gran tamaño o peso es una acción que se encuentra presente en la construcción, minería, industria maderera, trasbordadores espaciales, en la extracción de hidrocarburos, entre otros rubros. Esta acción no sería posible solo con fuerza humana, sino también con el apoyo de mecanismos hidráulicos. Los elementos principales de un mecanismo hidráulico son el pistón o actuador y el cilindro. El primero es quien se encarga de transmitir la fuerza proveniente de la presión ejercida dentro del cilindro hidráulico.

Se representa el diseño de un módulo oleohidráulico de laboratorio que permita al usuario estudiar a la oehidráulica a fin de buscar mayor eficiencia en los distintos procesos industriales. Como mayor durabilidad de los equipos, precisión, velocidad y seguridad.

El sistema oleohidráulico consiste en un cilindro hidráulico cuyo pistón se encarga de desplazar una carga compuesta por pesas de metal hasta la posición ingresada por el usuario. Esta posición es verificada mediante un sensor de proximidad

El sistema cuenta con dos tipos de sensores los cuales son los encargados de registrar datos en tiempo real. El recorrido del pistón se mide por medio de un sensor ultrasónico ubicado cerca del cilindro y en el mismo plano que el de la base del pistón. La temperatura se mide gracias a un sensor PT100 instalado dentro del tanque hidráulico en contacto directo con el aceite.

El ensayo de laboratorio es automatizado y controlado por el software LABVIEW y por el microcontrolador ARDUINO UNO; ambos trabajan en conjunto. A través del software se pueden ingresar valores como el recorrido deseado y las constantes del control PID ( $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$ ). El software gobernará el funcionamiento del ensayo haciendo que las electroválvulas hidráulicas de 24VDC se activen o desactiven. Así como también lo hará el intercambiador de calor si la temperatura en el tanque llega a los 80 grados Celsius con el fin de evitar cambios en la viscosidad, lo cual podría traer consigo problemas en el sistema.

El costo aproximado del módulo oleohidráulico es de S/.12,000.00. Siendo los conceptos más elevados la adquisición de los componentes mecánicos y el diseño del sistema oleohidráulico.

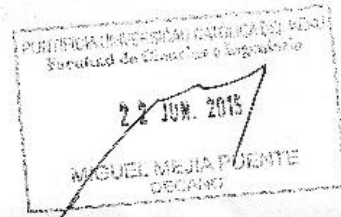


© 2015, Oscar Javier Villar Vargas

Se autoriza la reproducción total o parcial,  
Con fines académicos a través de cualquier  
Medio o procedimiento, incluyendo la cita  
Bibliográfica del documento.

**TRABAJO DE FIN DE CARRERA PARA OPTAR  
EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Título : MODULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN Y TEMPERATURA EN CILINDROS HIDRÁULICOS  
Asesor : Karol Muñoz Salas  
Alumno : Oscar Javier Villar Vargas  
Código : 20074112  
Tema N° : 105  
Fecha : Junio 15 del 2015



**Descripción y Objetivos**

El objetivo principal de la presente tesis es que el alumno ponga en práctica los conocimientos básicos del Control y la Oleohidráulica familiarizándose con estos campos de suma importancia en la automatización y así despertando interés en temas afines.

La hidráulica, ciencia encargada del estudio de las propiedades de los fluidos, se desarrolló con el fin de hacer reemplazar la fuerza humana por la de los fluidos a condiciones dadas; una rama de la hidráulica es la Oleohidráulica, en la que el fluido a usarse para los trabajos es el aceite y derivados de este.

En lo que Oleohidráulica respecta, se siguen desarrollando tecnologías alrededor del mundo, sobre todo en países desarrollados como Alemania, Japón y USA. Hace ya varios años la industria en los países latinoamericanos ha crecido enormemente gracias a este campo de la hidráulica; y es que mediante este se pueden realizar trabajos que serían imposibles para una persona o grupo de personas sin la ayuda de esta.

El trabajo tiene como finalidad desarrollar un módulo capaz de controlar el recorrido final del vástago de un cilindro hidráulico y la temperatura del tanque por medio de un control PID, el primero será posible con la ayuda de un sensor ultrasonido y el segundo con un termopar; ambos procesos serán controlados con la interface Labview-Arduino. Dicho módulo estará diseñado para trabajar con válvulas hidráulicas de 24VDC tipo ON/OFF (apertura y cierre) así como también válvulas proporcionales.

*MA'XIMO: 100 páginas*

Me. Karol Muñoz





Dedicado,

A mis padres por brindarme su apoyo en mi etapa universitaria, a mis abuelos Delfín Vargas Ruiz y Esperanza Álvarez Abanto por inculcarme siempre valores y a menor mi hija Luciana Villar Damas por motivarme a ser perseverante y luchar por lograr mis objetivos.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme guiado durante mi vida; en especial, por hacerlo durante la realización del presente trabajo y de toda la carrera de ingeniería Mecatrónica.

Así mismo, agradezco a mis padres Oscar Villar Gamboa y Elizabeth Vargas Álvarez, quienes me brindaron la oportunidad de estudiar la carrera y por la constante preocupación de mi desarrollo como profesional y persona.

Finalmente, agradezco a todos mis compañeros de la especialidad de Ingeniería Mecatrónica por su ayuda incondicional.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
APROBACIÓN DE TEMARIO DE TESIS .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
INDICE DE CONTENIDO.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS .....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1
I. ANTECEDENTES .....	2
1.1 Conceptos generales	
1.1.1 Propiedades de los aceites.....	3
1.1.2 Tipos de fluidos hidráulicos.....	5
1.2 Grupo hidráulico .....	6
1.2.1 El tanque hidráulico .....	6
1.2.2 Bomba hidráulica .....	7
1.2.3 Filtros hidráulicos .....	9
1.3 Actuadores .....	10
1.3.1 Actuadores hidráulicos.....	10
1.3.2 Actuadores neumáticos .....	11
1.3.3 Actuadores eléctricos.....	11
1.4 Válvulas hidráulicas.....	11
1.4.1 Válvulas distribuidoras .....	12
1.4.2 Válvulas reguladoras de caudal .....	13
1.4.3 Válvulas de presión.....	14
1.5 Sensores .....	15
1.5.1 Sensores de proximidad .....	15
1.5.2 Sensores de temperatura .....	17
1.5.2.1 Termómetro de vidrio .....	17
1.5.2.2 Termómetro bimetálico.....	17
1.5.2.3 Termómetros de bulbo y capilar .....	18
1.5.2.4 Termómetros de resistencia (RTD).....	19
1.5.2.5 Termistores .....	22

1.5.2.6	Sensores de temperatura de semiconductor .....	23
1.5.2.7	Termopares .....	23
II.	DISEÑO CONCEPTUAL .....	26
2.1	Problemática .....	26
2.2	Lista de requerimientos.....	27
2.3	Estructura de funciones.....	30
2.4	Diagrama de funciones .....	32
2.5	Concepto de solución.....	33
III.	SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	35
3.1	Grupo hidráulico .....	36
3.1.1	Cilindro .....	36
3.1.2	Bomba.....	38
3.1.3	Motor.....	41
3.1.4	Tanque.....	42
3.1.5	Válvula limitadora de presión.....	43
3.1.6	Válvula solenoide de distribución 4/3.....	44
3.1.7	Filtros .....	45
3.1.8	Mangueras hidráulicas .....	47
3.2	Sensores .....	49
3.2.1	Sensor de recorrido .....	49
3.2.2	Sensor de temperatura.....	50
3.3	Componentes para la instalación eléctrica.....	53
3.4	Controlador seleccionado.....	55
3.5	Computadora.....	56
IV.	PROGRAMACIÓN Y CONTROL .....	58
4.1	Descripción del sistema de control .....	58
4.2	Sensado del recorrido.....	60
4.3	Sensado de la temperatura .....	63
4.4	Sistema hidráulico.....	65
4.5	Sistema eléctrico .....	66
4.6	Circuito de potencia .....	67
V.	SIMULACIÓN Y RESULTADOS.....	68
VI	PLANOS, COSTOS DE DISEÑO Y FABRICACIÓN.....	77
	OBSERVACIONES.....	82
	CONCLUSIONES .....	84
	BIBLIOGRAFÍA .....	86



## A N E X O S

Anexo A: MATRIZ MORFOLÓGICA.....	90
Anexo B: CONCEPTO SOLUCIÓN Y EVALUACIÓN .....	93
Anexo C: FICHA TÉCNICA DEL CILINDRO HIDRÁULICO .....	97
Anexo D: FICHA TÉCNICA DEL TANQUE.....	99
Anexo E: FICHA TÉCNICA DE LA VÁLVULA LIMITADORA DE PRESIÓN...100	
Anexo F: FICHA TÉCNICA DE LA VÁLVULA 4/3.....101	
Anexo G.1: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FILTRO DE RETORNO...103	
Anexo G.2: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FILTRO DE SUCCIÓN .. 104	
Anexo G.3: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FILTRO DE LLENADO...105	
Anexo H: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SENSOR DE PROXIMIDAD...106	
Anexo V: DISEÑO ERGONÓMICO PARA EL USUARIO .....	109
Anexo W: DISEÑO ERGONÓMICO PARA EL PERSONAL TÉCNICO .....	111
Anexo X: CIRCUITO DE CONTROL DE TEMPERATURA .....	114
Anexo Y: ESQUEMA HIDRÁULICO DEL SISTEMA MECATRÓNICO .....	116
Anexo Z: PLANOS MECÁNICOS.....	118



## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

### Capítulo 1

Figura 1.1. Variación del módulo de elasticidad volumétrico con la presión.....	5
Figura 1.2. Esquema de tanque hidráulico .....	7
Figura 1.3. Tipos de filtros según su colocación .....	10
Figura 1.4. Cilindro hidráulico.....	11
Figura 1.5. Diagrama de clasificación de válvulas. ....	12
Figura 1.6. Circuito con válvula distribuidora .....	13
Figura 1.7. Dos posiciones de válvulas distribuidoras.....	13
Figura 1.8. Termómetro bimetálico .....	19
Figura 1.9. A la izquierda, termómetro actuado por líquido; a la derecha, termómetro actuado por vapor (clase IIA, IIB, IIC y IID) .....	20
Figura 1.10. Relación entre la temperatura y el valor real de la resistencia obtenido por la fórmula $R_t = R_0 (1 + t)$ . ....	21
Figura 1.11. Curvas de resistencia relativa de varios metales vs temperatura.....	21
Figura 1.12. Partes de una termorresistencia .....	22
Figura 1.13. Curva resistencia-temperatura NTC y PTC del termistor .....	23
Figura 1.14. Conexión de un Termopar .....	25
Figura 1.15. Curvas temperatura vs resistencia de los diferentes tipos de Termocuplas .....	25
Figura 1.16. A la izquierda, partes de una termocupla y a la derecha, circuito interno .....	25

### Capítulo 2

Figura 2.1. Módulo de hidráulica Laboratorio de Olehidráulica y Neumática PUCP. ....	28
Figura 2.2. Caja negra .....	31
Figura 2.3 Diagrama de funciones seleccionada.....	33

Figura 2.4. Implementación de los equipos y componentes de la parte superior del sistema mecatrónico .....	34
Figura B.5. Implementación de los equipos y componentes de la parte inferior del sistema mecatrónico .....	35
 Capítulo 3	
Figura 3.1. Diagrama de cuerpo libre .....	42
Figura 3.2. Esquema de tanque de acuerdo a la norma JIC ... ..	42
Figura 3.3. Válvula limitadora de presión modelo RDBA de la marca Sunhydraulics. ....	43
Figura 3.4. Esquema de válvula 4/3 .....	43
Figura 3.5. Válvula 4/3 modelo DNDC de la marca Sunhydraulics .....	44
Figura 3.6. Cálculo del diámetro de las mangueras. ....	47
Figura 3.7. Sensor Ultrasónico Hc-sr04 .....	48
Figura 3.8. A la izquierda se tiene un PT100 y a la derecha un transmisor de temperatura .....	49
Figura 3.9. Instalación de sensor de temperatura con sus respectivos transmisores en el módulo.....	50
Figura 3.10. Intercambiador de calor marca WHE versión 2024 220 VAC .....	51
Figura 3.11. Datos relevantes del intercambiador de calor .....	52
Figura 3.12. Arduino Uno .....	54
Figura 3.13. Entorno de programación propio de Arduino .....	55
Figura 3.14. Laptop 14" i5 1TB RAM-4GB VIDEO-2GB 3.9GHz.....	56
 Capítulo 4	
Figura 4.1. Control de recorrido de un cilindro hidráulico .....	57
Figura 4.2. Acondicionamiento del Front Panel de LabVIEW para control de constantes PID del sistema.....	58
Figura 4.3. Diseño del circuito regulador de voltaje necesario para el control de la válvula de flujo.....	59

Figura 4.4. Programación en Block Diagram de LabVIEW para control de constantes PID del sistema utilizando la válvula ON/OFF.....	60
Figura 4.5. Control de la constante PID en estructura Formula Node .....	61
Figura 4.6. Fragmento del control para válvula .....	61
Figura 4.7. Funcionamiento y pines de conexión del Digital Write Pin .....	62
Figura 4.8. Diferentes situaciones para los valores de la constante PID.....	62
Figura 4.9. Algoritmo controlador para el encendido del intercambiador de calor . .	63
Figura 4.10. Circuito para el control de la temperatura .....	64
Figura 4.11. Esquema hidráulico del sistema.....	65
Figura 4.12. Diagrama eléctrico del sistema.....	66
Figura 4.13. Circuito de potencia.....	66
 Capítulo 5	
Figura 5.1. De izquierda a derecha, avance y retroceso del vástago del cilindro hidráulico.....	67
Figura 5.2. De arriba abajo, gráficas para valores de constante $K_p$ de 3, 6 y 9.....	69
Figura 5.3. De arriba abajo, gráficas para valores de constante $K_d$ de 3, 6 y 9.....	71
Figura 5.4. De arriba abajo, gráficas para valores de constante $K_i$ de 0.2, 0.5 y 1 ....	72
Figura 5.5. Resultados de las pruebas combinando las constantes de control .....	73
 Anexos	
Figura B.1. Mesa de trabajo con cilindro en dirección horizontal .....	87
Figura B.2. Mesa de trabajo con el cilindro y las pesas que este moverá.....	88
Figura B.3. Mesa de trabajo con sistema de resortes y cilindro.....	88
Figura C.1. Ficha técnica de los cilindros hidráulicos de la marca FLUIDTEK .....	93
Figura D.1. Ficha técnica de tanques serie JIC .....	94

Figura E.1. Ficha técnica de la válvula limitadora de presión.....	95
Figura F.1. Ficha técnica de la válvula 4/3.....	96
Figura G.1.1. Ficha técnica del filtro de retorno .....	98
Figura G.2.1. Ficha técnica del filtro de succión.....	99
Figura G.3.1. Ficha técnica del filtro de llenado.....	100
Figura H.1. Datos técnicos del sensor de proximidad HC-SR04.....	103
Figura V.1. Percentil hombre y 5 percentil mujer frente al módulo Oleohidráulico.....	104
Figura V.2. Dimensiones y ángulos que forman el hombro y la espalda (mujer, 5 percentil) .....	104
Figura V.3. Dimensiones y ángulos que forman el hombro y la espalda (hombre, 95 percentil) .....	105
Figura W.1. Mala postura del operario (5 percentil mujer y 95 percentil hombre respectivamente) al retirar el grupo hidráulico para darle mantenimiento .....	109
Figura W.2. Correcta postura del operario (5 percentil mujer y 95 percentil hombre respectivamente) al retirar el grupo hidráulico para darle mantenimiento .....	109
Figura X.1. Circuito controlador de temperatura.....	110
Figura X.2. Diseño del circuito regulador de voltaje necesario para el control de la válvula de flujo .....	111
Figura X.3. Circuito regulador de voltaje 24VDC 3A.....	112
Figura Y.1. Esquema hidráulico del sistema mecatrónico .....	113
Figura Y.2. Esquema del Circuito de mando de la bomba hidráulica.....	113
Figura Y.3. Esquema del Circuito de fuerza de la bomba hidráulica.....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

### Capítulo 1

Tabla 1.1. Identificación de aceites hidráulicos a 40°C según norma ISO. ....	4
Tabla 1.2. Tipos de fluido clasificados según normas VDMA 24317 y 24320. ....	5
Tabla 1.3. Características técnicas del fluido hidráulico HL .....	6
Tabla 1.4. Bombas hidráulicas y sus principales características.....	8
Tabla 1.5. Tipos de filtros hidráulicos .....	10
Tabla 1.6. Tipos de válvulas direccionales .....	14
Tabla 1.7. Tipos de válvulas reguladoras de caudal.....	15
Tabla 1.8. Tipos de válvulas de presión.....	15
Tabla 1.9. Distintos tipos de sensores de Proximidad.....	17
Tabla 1.10. Rangos de trabajo de los fluidos en los termómetros.....	18
Tabla 1.11. Extracto de valores de resistencia según la temperatura en °C para las sondas de resistencia Pt100, con coeficiente de variación de resistencia 0,00385 según DIN 43.760 (IPTS-68). ....	22

### Capítulo 2

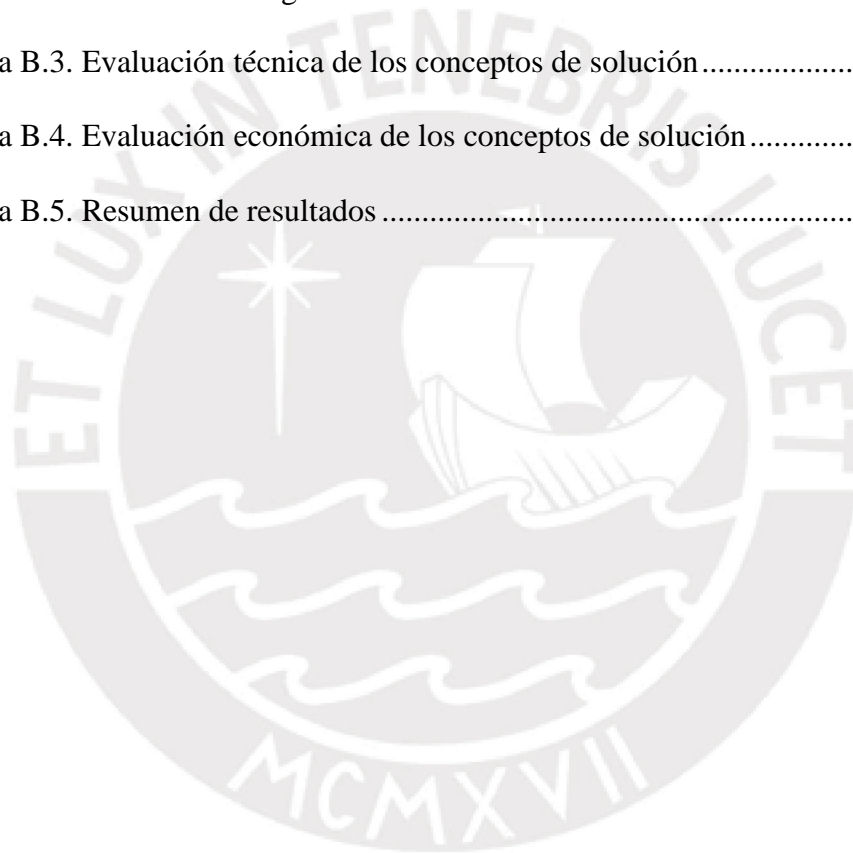
Tabla 2.1. Tabla de exigencias o requerimientos del sistema. ....	31
-------------------------------------------------------------------	----

### Capítulo 3

Tabla 3.1. Datos de los bloques .....	35
Tabla 3.2. Dimensiones de los cilindros hidráulicos .....	36
Tabla 3.3. Factor de corrección según el tipo de anclaje .....	37
Tabla 3.4. Características técnicas de los tipos de cilindros hidráulicos .....	38
Tabla 3.5. Valores de eficiencias de bomba.....	40
Tabla 3.6. Catálogo de bombas y motores .....	40
Tabla 3.7. Dimensiones de los tanques de aceite según la norma JIC .....	42

Tabla 3.8. Curva de rendimiento de la válvula DNDC de la marca Sunhydraulics...	44
Tabla 3.9. Grado de filtración Ikron.....	45
Tabla 3.10. Filtro de retorno modelo HF 547 .....	45
Tabla 3.11. Filtro de succión HF410.....	46
Tabla 3.12. Filtro de llenado HB50.....	46
Tabla 3.13. Rangos de velocidades para mangueras hidráulicas y velocidades seleccionadas.....	47
Tabla 3.14. Mangueras seleccionadas.....	48
Tabla 3.15. Tabla comparativa de algunos sensores de temperatura .....	49
Tabla 3.16. Muestra la relación entre litros por minuto y la presión generada.....	51
Tabla 3.17. Relés tripolares de protección térmica compensados y diferenciales .....	53
Tabla 3.18. Interruptores tripolares automáticos.....	53
Tabla 3.19. Contactores tripolares Serie D .....	54
Tabla 3.20. Requisitos mínimos para la PC .....	55
Capítulo 6	
Tabla 6.1. Estructura de planos .....	74
Tabla 6.2. Costos de componentes mecánicos .....	75
Tabla 6.3. Componentes relacionados a la instrumentación .....	76
Tabla 6.4. Componentes relacionados al control y procesamiento .....	76
Tabla 6.5. Costos de mano de obra directa (MOD) para la fabricación de la máquina .....	76
Tabla 6.6. Costos del diseño mecánico, eléctrico y electrónico del sistema oleohidráulico.....	77
Tabla 6.7. Costo total de fabricación .....	77
Anexos	
Tabla A.1 Matriz morfológica correspondiente a los equipos para el Control y Procesamiento .....	84

Tabla A.2 Matriz morfológica correspondiente a los equipos para las Funciones relacionadas a los sensores.....	85
Tabla A.3 Matriz morfológica correspondiente a los equipos para Funciones mecánicas.....	85
Tabla A.4 Matriz morfológica correspondiente a los equipos para Funciones relacionadas a los actuadores.....	86
Tabla A.5 Reorganización de tablas de la matriz morfológica.....	86
Tabla B.1 Nivel de importancia.....	89
Tabla B.2. Valorización según escala de Likert.....	89
Tabla B.3. Evaluación técnica de los conceptos de solución.....	89
Tabla B.4. Evaluación económica de los conceptos de solución.....	90
Tabla B.5. Resumen de resultados.....	90





## LISTA DE SÍMBOLOS

F	: Fuerza de empuje vertical [N]
$F_n$	: Fuerza normal a la superficie [N]
P	: Presión de la cámara 1 [N/mm <sup>2</sup> ]
T	: Intervalo de muestreo [s]
W	: Tiempo de residencia del proceso [s]
$\beta$	: Ángulo de salida en la cuchilla [°]
$\omega_n$	: frecuencia natural [rad/s]
$\mu_p$	: Viscosidad a una presión absoluta de p bar
$\mu_0$	: La viscosidad a la presión atmosférica
K	: Elasticidad volumétrica
R0	: Resistencia en ohmios a 0 °C
Rt	: Resistencia en ohmios a t °C
$\alpha$	: Coeficiente de temperatura de la resistencia 1
$\delta$	: Coeficiente de temperatura de la resistencia 2
$\beta$	: Coeficiente de temperatura de la resistencia 3
V	: Volumen (mm <sup>3</sup> )
v	: Velocidad m/min
h.	: Carrera de trabajo (m)
Q	: Caudal (cm <sup>3</sup> /min)
Vb	: Desplazamiento volumétrico real
N	: Revoluciones por minuto RPM
Vb(real)	: Desplazamiento volumétrico real (cm <sup>3</sup> /rev)
$\eta_v$	: Eficiencia volumétrica de la bomba
P	: Potencia (KW)
P(real)	: Presión real (bar)
$\eta_t$	: Eficiencia de la bomba
$\eta$	: Eficiencia del motor
Vn	: Voltaje nominal (V)
In	: Corriente nominal(A)
I_Relé	: Corriente que necesita el relé térmico
I_contactor	: Corriente que necesita el contactor
I_llave	: Corriente que necesita la llave térmico

## INTRODUCCIÓN

El transporte y movimiento elementos pesados, así como también la precisión con la que se realiza es una de las actividades más importantes dentro de los principales rubros económicos en el Perú: la industria maderera, la construcción, la minería y la extracción de hidrocarburos. En la industria maderera, luego de la tala se transporta toneladas de madera hacia las centrales para así procesar este material. En la construcción, para el desarrollo de edificios, carreteras, puentes, túneles, etc. En la minería, para extraer los minerales de los puestos de trabajo. Además, se utiliza para la extracción de petróleo y gas. Por lo tanto, existe una necesidad por estudiar a la oleohidráulica a fin de buscar mayor eficiencia en los procesos que son parte de las actividades más importantes en el país.

En el presente documento se muestra el diseño de un módulo oleohidráulico de laboratorio para estudiar el comportamiento de un cilindro hidráulico bajo el control de posición y temperatura, y así aumentar la eficiencia del proceso. En el primer capítulo se hace una revisión de algunos conceptos básicos, así como también se mencionan los equipos que formarían parte del equipo. En el segundo capítulo se contextualiza el diseño bajo la evaluación de los conceptos de solución. En el tercer capítulo, de los aportes anteriores, se procede al diseño eléctrico y mecánico, además de desarrollar los cálculos respectivos a fin de especificar técnicamente los componentes que forman parte del módulo. En el cuarto capítulo, una vez terminado el diseño se procede a realizar la programación para el sensado del recorrido y de temperatura. En el quinto capítulo, se obtienen las simulaciones y resultados de las pruebas realizadas. El capítulo seis se presentará el presupuesto y los costos de fabricación. Finalmente, se muestran algunas conclusiones y observaciones de la presente tesis.

## CAPÍTULO 1

### ANTECEDENTES

En este capítulo se abordarán dos partes de gran importancia. En primera instancia, se presentarán algunos datos acerca de los cuatro principales rubros en el Perú. En segunda instancia, se mostrarán algunos conceptos básicos, así como también una breve revisión de los tipos de componentes que se utilizarían para el diseño del módulo oleohidráulico.

El Perú es un país que sustenta sus ingresos en base a la extracción de la materia prima como la madera, minería e hidrocarburos. También se ha visto un crecimiento interesante en la última década. A continuación, se brindan más detalles acerca de estos cuatro rubros.

La madera es el único commodity a nivel mundial cuya demanda continuará en aumento. En lo que respecta la exportación de este bien, los números ascienden a US\$ 395 millones al año [Ministerio de Agricultura y Riego, 2014].

Con respecto al sector construcción, se tiene que el Mercado de Edificaciones en Lima Metropolitana y Callao realizado por la Cámara Peruana de Construcción, la inversión en el sector inmobiliario ascendió a \$ 2,975 Millones en el 2016. [Perú21, noviembre 2016]

La minería ha cobrado gran importancia en las últimas décadas, esta se demuestra en el impacto económico que se genera sobre los diferentes países en lo referido a producción, inversión, exportación y tributos. Así mismo, la influencia que tiene la producción de los minerales sobre los mercados financieros internacionales, ratifica la relevancia de este sector en la economía global. El año 2015 se llegó a una inversión cerca de los \$ 8,000 millones [Osinergmin, 2016].

La extracción del petróleo en el Perú empezó hace más de un milenio, cuando los nativos usaron el petróleo desde los afloramientos superficiales en la costa norte. El proyecto Camisea tuvo una inversión total de \$ 2,500 millones y el proyecto Gas Natural, \$ 3,800 millones [Perú Petro, 2010].

El Perú se localiza dentro de una de las más prolíficas zonas en hidrocarburos en América del Sur.

La oleohidráulica es aplicable en diversas áreas, muchas de ellas de gran importancia para la economía de nuestro país; por lo tanto, el estudio y manejo de esta es de suma importancia por lo que se desea desarrollar un módulo de laboratorio para mejorar la eficiencia de los diferentes procesos involucrados.

## 1.1 Conceptos generales

### 1.1.1 Propiedades de los aceites

El aceite hidráulico tiene un punto de ebullición alto y un punto de congelamiento más bajo que el agua, no oxida el metal, lubrica las superficies de elementos móviles, es incompresible, transmite energía por medio del aumento de presión y disipan el calor generado por las pérdidas de carga. A continuación, se mencionan las propiedades principales de los aceites.

#### La densidad

En el caso de aceites hidráulicos, se utiliza la densidad en grados API (American petroleum institute). La relación entre este parámetro y S se muestra en la ecuación 1.1.

$$^{\circ}API = \frac{141,5 - 131,5 \cdot S}{S} \dots\dots\dots(1.1)$$

Donde S es el cociente entre la densidad del fluido y la del agua.

El agua cuenta con una densidad de 10° API y un aceite hidráulico, entre 25 y 45° API [Escuela Universitaria Politécnica San Sebastián-Donostia, 2007].

#### La viscosidad

Existen dos formas de medir la viscosidad de un fluido, están son a través de consideraciones científicas y empíricas. La viscosidad puede ser dinámica (absoluta), cinemática, extensional y aparente. La unidad de la viscosidad absoluta o dinámica ( $\mu$ ) es el SI:

$$Poiseuille = Pl (kg m^{-1} s^{-1})$$

Simplificando, se obtiene la ecuación 1.2.

$$Poiseuille = Pascal * segundo (Pa.s) \dots\dots\dots(1.2)$$

Existen fluidos más viscosos que otros, por ejemplo, la viscosidad del agua a 20°C es 1 mPl y esto a su vez es 0,001 Pa.s. Por otro lado, la viscosidad del aceite mineral a 20°C es 35 mPl.

Las normas ISO y DIN 51524 clasifican los aceites de acuerdo a su viscosidad a 40 °C como se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Identificación de aceites hidráulicos a 40°C según norma ISO. [Dörr H., 2010]

Clase de viscosidad ISO	Viscosidad cinemática (mm <sup>2</sup> /s) a 40 °C	
	Mínima	Máxima
ISO VG 10	9	11
ISO VG 22	19,8	24,2
ISO VG 32	28,8	35,2
ISO VG 46	41,4	50,6
ISO VG 68	61,2	74,8
ISO VG 100	90	110

### Variación de la viscosidad

La viscosidad es alterada, principalmente, con la variación de temperatura; también lo hace la presión, pero tan solo si su modificación es muy considerable.

La variación de la viscosidad por medio de la temperatura se denomina Índice de Viscosidad. Si este es alto corresponde a fluidos con viscosidad estable al variar la temperatura, mientras que si es bajo señala que el aceite presenta cambios en la temperatura. En oleohidráulica, los aceites utilizados deben contar con un índice de viscosidad superior a 75 [Escuela Universitaria Politécnica San Sebastián-Donostia, 2007].

La variación de la viscosidad con la presión viene definida por la ecuación 1.3.

$$\mu_p = \mu_0 e^{\alpha p} \dots\dots\dots(1.3)$$

Dónde:

$\mu_p$ : Viscosidad a una presión absoluta de p bar

$\mu_0$ : Viscosidad a la presión atmosférica

$\alpha$ : Posee los valores para diferentes temperaturas

## Compresibilidad

La compresibilidad en un fluido es la capacidad para reducir su volumen cuando se aumenta la presión a la que se encuentra sometido el fluido. Esta se cuantifica mediante el módulo de elasticidad volumétrico (K), que se obtiene a partir del cociente de la variación de presión y la variación unitaria de volumen:

$$K = \frac{-\Delta p}{\frac{\Delta v}{v}} \dots\dots\dots(1.4)$$

El valor del módulo de elasticidad volumétrico de los líquidos en ocasiones puede ser considerado como incompresibles. [Escuela Universitaria Politécnica San Sebastián-Donostia, 2007]

$$K_{agua} = 2,1 \times 10^9 \text{ Pa} = 210 \text{ KN/m}^2 = 210 \text{ bar}$$

$$K_{aceite} = 1,6 \times 10^9 \text{ Pa} = 160 \text{ KN/m}^2 = 160 \text{ bar}$$

En la figura 1.1, se observa que el módulo de elasticidad volumétrico de un líquido no varía linealmente con la presión, pero a partir de 300 bar lo hace exponencialmente.

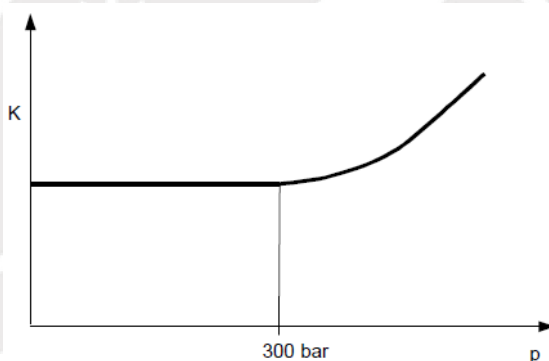


Figura 1.1. Variación del módulo de elasticidad volumétrico de un fluido con la presión.  
Fuente: [Dörr H., 2010]

### 1.1.2 Tipos de fluidos hidráulicos

Los fluidos usados en hidráulica se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Aceite mineral
- Emulsiones de aceite y agua
- Mezcla agua y poliglicol
- Líquidos sintéticos

A continuación, en las tablas 1.2 y 1.3 se muestran los tipos de fluidos y sus características técnicas, respectivamente:

Tabla 1.2. Tipos de fluido clasificados según normas VDMA 24317 y 24320.

Fuente: [Dörr H., 2010]

Fluido tipo	Norma VDMA	Composición	% de contenido de agua
HFA	24 320	Emulsión aceite - agua	80 ... 98
HFB	24 317	Emulsión agua – aceite	40
HFC	24 317	Solución acuosa p.e. agua - glicol	35 ... 55
HFD	24 317	Solución no acuosa ester-fosfato	0 ... 0,1

Tabla 1.3. Características técnicas del fluido hidráulico HL.

Fuente: [Dörr H., 2010]

HIDRAULICO HL			GRADO ISO		
CARACTERISTICAS		NORMA ASTM	32	46	68
Densidad 15 °C,	g/cm <sup>3</sup>	D-4052	0,872	0,878	0,882
P. Inflamación V/A,	°C	D-92	210	215	220
P. Congelación,	°C	D-97	-24	-21	-18
Viscosidad a 40 °C,	mm <sup>2</sup> /s	D-445	31	48,3	66,7
Índice de Viscosidad		D-2270	100	100	100

## 1.2 Grupo hidráulico

La generación de energía en un sistema hidráulico se obtiene gracias a la bomba, la cual va acoplada a una serie de elementos mecánicos, formando así el grupo hidráulico. Este se compone, principalmente, de un depósito o tanque, una válvula de seguridad, una bomba, un manómetro y racores, uno es para el empuje del fluido y el otro para el regreso de este al tanque T (como se muestra en la figura 1.2). La línea L permite recoger el aceite producido por las fugas [Dörr, 2010].

Suele llevar filtros y si el grupo es grande se necesitarán de enfriadores y calentadores del aceite, además es común encontrar las válvulas de control para reducir la instalación de tuberías y demás componentes.

Cada vez son más los elementos que se utilizan en la automatización, como presostatos, sensores de temperatura, de nivel, de caudal, de presión, entre otros.

### 1.2.1 El tanque hidráulico

El tanque hidráulico cumple diversas funciones como reservar y refrigerar el aceite, separar el aire del fluido, sostener los componentes, entre otras.

Este debe estar lo suficientemente ventilado para permitir la eliminación de burbujas de aire que están disueltas en el aceite. Por otro lado, se debe evitar la contaminación del fluido hidráulico mediante un tapón de llenado y aireador [Dörr, 2010].

Las partículas sólidas más gruesas se acumulan en el inferior del tanque, es por eso que se debe realizar mantenimiento, vaciado y limpieza del tanque.

En la figura 1.2 se muestra a un tanque hidráulico típico y las partes de este.

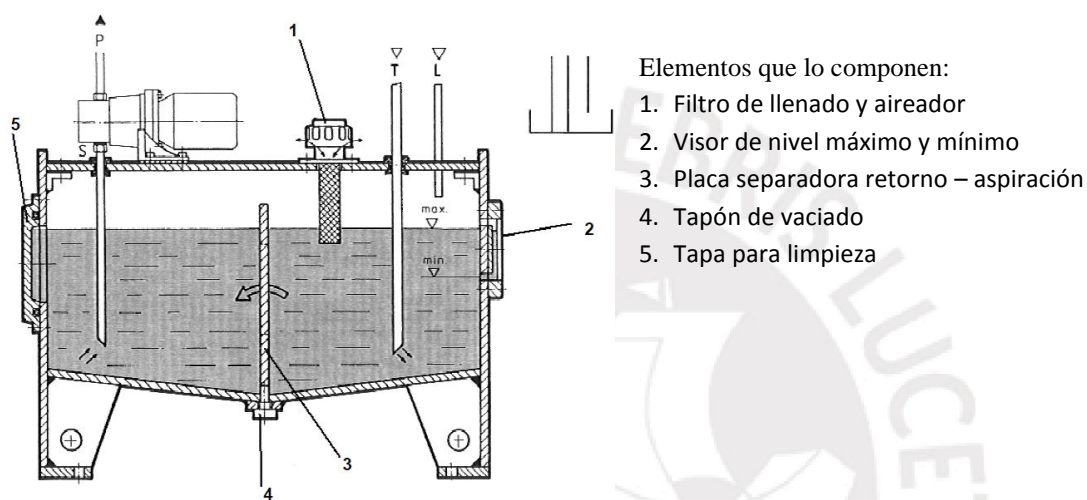


Figura 1.2. Esquema de tanque hidráulico.

Como norma se establece que el volumen del tanque debe ser entre 3 a 5 veces el valor del volumen impulsado por la bomba [manual barriga].

### 1.2.2 Bomba hidráulica

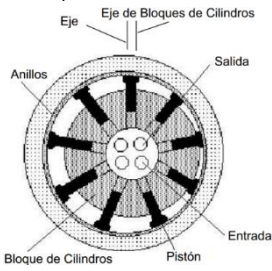
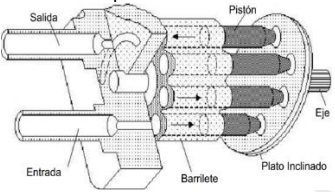
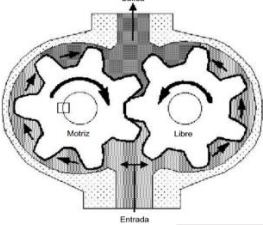
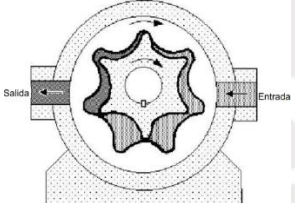
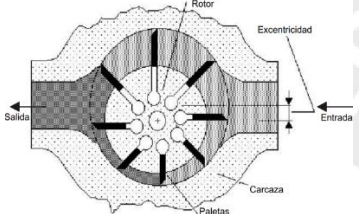
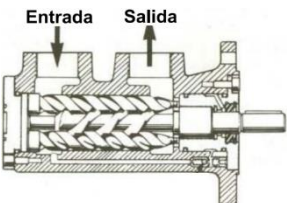
La oleohidráulica estudia la transmisión de fuerza y energía por medio de un fluido sometido a variaciones de presión; por lo tanto, en todos los sistemas hidráulicos es necesaria una fuente de energía, en este caso una bomba hidráulica [Cisneros, 2009].

Las bombas hidráulicas son las encargadas de impulsar al fluido, en este caso aceite, transformando la energía mecánica en energía hidráulica.

En la tabla 1.4, se muestran las características de algunas bombas hidráulicas.



Tabla 1.4. Bombas hidráulicas y sus principales características.

Tipo de bomba	Presión (bar)	Velocidad (rpm)	Eficiencia (%)	Características
<p>De pistones radiales</p> 	350/700	750-3000/ normal:1450	90	Consta de una leva central accionada por un motor, el cual gira moviendo a cada uno de los pistones alternadamente
<p>De pistones axiales</p> 	250/400	750-3000/ normal:1450	90	Los cilindros están en paralelo entre sí, los émbolos son desplazados en distintos tiempos mediante una placa inclinada.
<p>De engranajes externos</p> 	150/200	500-6000/ normal:1450	75	Cuenta con dos piñones cilíndricos (el motriz y el arrastrado). Ambos giran dentro del mismo cuerpo de bomba. El aceite entrante es succionado al girar los piñones, atrapado entre los dientes y obligado a circular con los piñones hasta que se descarga
<p>De engranajes internos</p> 	300/400	500-3000/ normal:1450	75	Consiste en una rueda dentada la cual gira con el cuerpo de la bomba. Son muy solicitadas para reducir el caudal
<p>De paletas</p> 	140/180	750-2000	75	Consta de un tambor cilíndrico con paletas, dicho tambor gira para generar la succión del líquido y así depositarlo en la impulsión. En cada revolución se producen dos ciclos completos.
<p>De husillo</p> 	80/200	900-5000/ normal:1450	75	Se le conoce también como bomba centrífuga, utiliza un tornillo helicoidal que hace fluir el aceite en una dirección

Nota. Adaptado de “Manual de oleohidráulica”, “SOHIPREN S.A. OLEOHIDRÁULICA y Sistemas neumáticos y oleohidráulicos”, de “Escuela Universitaria Politécnica San Sebastián-Donostia”.

### 1.2.3 Filtros hidráulicos

El filtrado en un sistema hidráulico es de suma importancia; ya que, reduce el mantenimiento y prolonga la durabilidad de los elementos del sistema.

Durante el funcionamiento del sistema se desprenden pequeñas partículas de las tuberías, válvulas, metálicas o simplemente polvo; estos pueden invadir la instalación interior, generando suciedad y desgaste en algunas piezas de la instalación hidráulica [Blume, 1979].

En la tabla 1.5 se muestran cuatro tipos de filtros.

Tabla 1.5. Tipos de filtros hidráulicos.

Filtro	Características	Comentarios
De alta presión o impulsión	Elimina partículas muy finas con el fin de proteger los componentes del grupo hidráulico como válvulas	Fácil montaje, desmontaje y mantenimiento
De retorno	Normalmente, se instala en la parte superior del tanque junto con el manómetro o presostato y se encarga de impedir las partículas del fluido que provienen del cilindro	Las partículas que ingresen al tanque podrán ser filtradas por este recién cuando salgan del cilindro o alguna válvula de retorno, pero no antes.
De aspiración	Protege al sistema de partículas gruesas	Su precio es reducido y su montaje muy sencillo, debido a que trabaja a bajas presiones
De llenado	También llamado aireador. Este garantiza que el tanque esté a presión atmosférica	Se coloca en el tapón de llenado y se encarga del filtrado del aceite que se renueva

*Nota.* Adaptado de “Manual de oleohidráulica”, de SOHIPREN S.A., 2005, Escuela Universitaria Politécnica San Sebastián-Donostia, segunda edición.

En la figura 1.3 se observan los diferentes tipos de filtros y dónde son colocados.

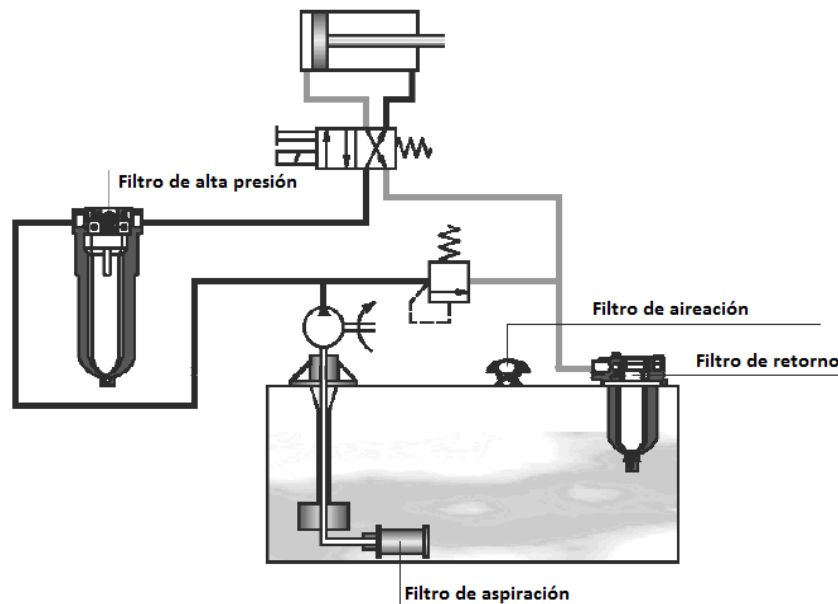


Figura 1.3. Tipos de filtros según su colocación.  
Fuente: [Dörr H., 2010]

### 1.3 Actuadores

Dispositivo mecánico que proporciona fuerza con la finalidad de generar movimiento, este movimiento puede ser lineal o circular, dependerá de la aplicación.

Los actuadores de mayor uso comercial son tres. Estos son usados en el campo de la robótica según los requerimientos de fuerza y velocidad [Loli, 2012].

- Hidráulicos
- Eléctricos
- Neumáticos

En adición, el tipo de trabajo y la energía necesaria determinan las características de los actuadores que serán utilizados.

#### 1.3.1.- Actuadores hidráulicos

Este utiliza un fluido como el aceite el cual se somete a presiones que pueden variar de 50 bares a más. Este fluido es incompresible, lo cual permite tener un buen control del émbolo y por ende una gran precisión. Por lo tanto, los actuadores hidráulicos son generalmente usados en la robótica y en algunos mecanismos automatizados [Loli, 2012].

Los cilindros o actuadores, como el mostrado en la figura 1.4, se dividen en hidráulicos de simple efecto y doble efecto.

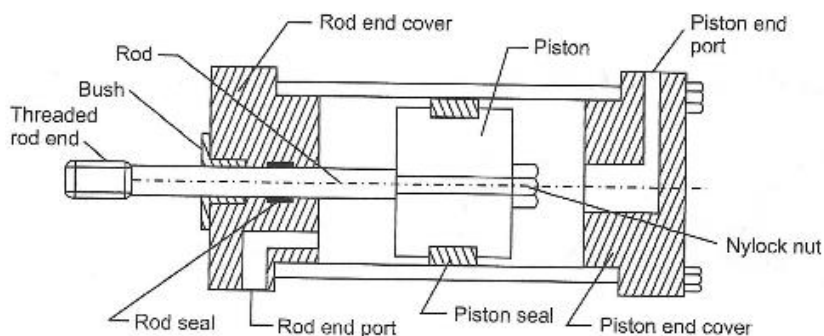


Figura 1.4. Cilindro hidráulico.

Fuente: [Ganesh, 2010]

Los de efecto simple trabajan en un solo sentido; es decir, el aceite ingresa por un extremo del cilindro y el pistón es empujado hacia un sentido, el retorno es gracias a un resorte que empuja al pistón a su posición inicial. Los de doble efecto que cuentan con dos tomas y el avance o el retroceso se consigue transportando aceite a una u otra toma por medio de un distribuidor, a diferencia del actuador de simple efecto.

A continuación, se mencionarán dos tipos de actuadores, neumáticos y eléctricos. Estos no serán parte en el diseño del módulo oleohidráulico.

### 1.3.2.- Actuadores neumáticos

No son muy distintos de los actuadores hidráulicos con respecto al funcionamiento, en este caso el fluido usado es aire. Sin embargo, al ser el aire un fluido compresible, los resultados son trabajos con menor precisión, pero a mayor velocidad [Loli, 2012].

### 1.3.3 Actuadores eléctricos

Estos no utilizan un fluido como son el caso de los actuadores hidráulicos y neumáticos; su principio de funcionamiento radica en hacer uso de la energía eléctrica para generar movimientos. Su principal uso es en robots de tamaño mediano que requieren baja potencia y bajas velocidades [Loli, 2012].

## 1.4 Válvulas hidráulicas

Es necesario el empleo de equipos que controlen y además dirijan el sentido del aceite; las válvulas tienen la misión de distribuir el fluido, regular a presión y el caudal. Por lo tanto, las válvulas pueden agruparse de la siguiente manera:

1. Válvulas distribuidoras
2. Válvulas reguladoras de caudal
3. Válvulas de presión

En la figura 1.5 se muestra un diagrama de las válvulas más utilizadas en la industria.

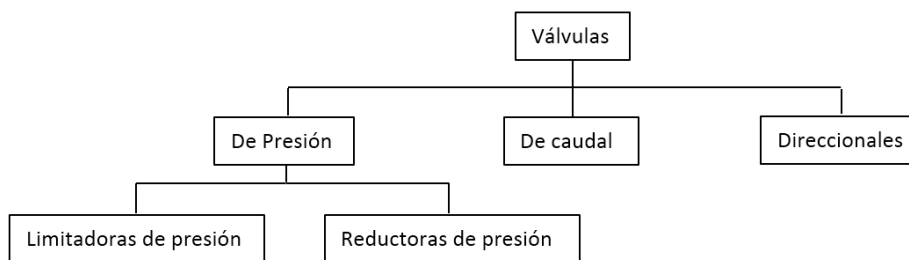


Figura 1.5. Diagrama de clasificación de válvulas.

Fuente: [Escuela Universitaria Politécnica San Sebastián-Donostia, 2007]

Algunas válvulas contienen electroimanes, los cuales al ser excitados cambian de posición de la corredera a abierto o cerrado, sin posiciones intermedias.

En el caso de las válvulas proporcionales, los electroimanes pueden ocupar posiciones intermedias. Son capaces de regular la presión y el caudal en una tubería por medio de una señal eléctrica, ya sea voltaje o corriente [Dörr, 2010].

Según la norma ISO 1219, se pueden representar a los componentes hidráulicos tal y como se muestran en la figura 1.6.

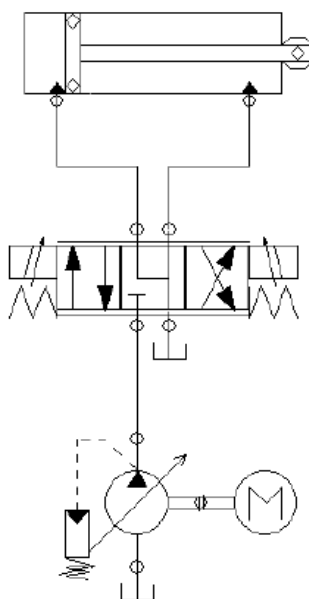


Figura 1.6. Circuito con válvula distribuidora.

Fuente: [Escuela Universitaria Politécnica San Sebastián-Donostia, 2007]

#### 1.4.1 Las válvulas distribuidoras

Cuentan con varios orificios, llamados vías, los cuales determinan el paso del fluido mediante presión a fin de ejecutar distintos movimientos.

A continuación, se explica el funcionamiento observamos la figura 1.7 en la cual contamos con dos posiciones. En la primera, el conmutador comunica a la línea de presión P con la salida A y la salida B queda comunicada con el tanque T; en la segunda sucede lo contrario, la línea de presión P se comunica con B y la línea A con T [Escribano, 1995].

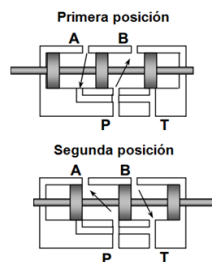


Figura 1.7. Dos posiciones de válvulas distribuidoras.

Fuente: [Ganesh, 2010]

En la tabla 1.6 se muestra diferentes válvulas direccionales, así como su funcionamiento.

Tabla 1.6. Tipos de válvulas direccionales

Válvula direccional	Descripción
<p>De centro cerrado</p>	<p>Para esta válvula, las vías permanecen cerradas, lo que impide que el fluido de la línea P se comuniquen con A o B. El fluido va al estanque por medio de la válvula de seguridad</p>
<p>De centro tándem</p>	<p>La línea de presión y tanque están comunicadas; por lo tanto, la bomba descarga directamente al depósito o tanque.</p>
<p>De centro flotante</p>	<p>Para este caso especial, las líneas A y B están comunicadas con el tanque, esto hace que estén a baja presión. La presión se bloquea, por lo tanto el aceite retorna hacia el depósito.</p>
<p>De centro abierto</p>	<p>Todas las vías se encuentran comunicadas con la línea de tanque; es decir a baja presión. Es un sistema lento en relación a los anteriores.</p>

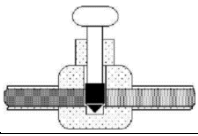
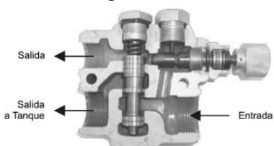
*Nota.* Adaptado “Instalación y mantenimiento electromecánico de maquinaria y conducción de líneas”, de Escribano, R., 1995, Automatismos eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

#### 1.4.2 Válvulas reguladoras de caudal

Estas delimitan el volumen del fluido por unidad de tiempo, varían la velocidad, que pasa a través del sistema hidráulico. Estas válvulas reguladoras no están compensadas, por lo tanto la retención produce calor [SOHIPREN S.A. OLEOHIDRÁULICA, 2005].

La tabla 1.7 se muestra las válvulas reguladoras de caudal compensadas y no compensadas.

Tabla 1.7. Tipos de válvulas reguladoras de caudal

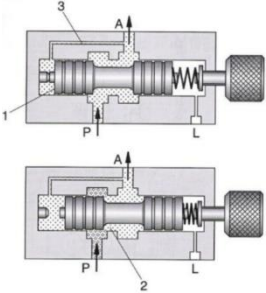
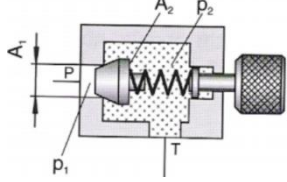
Válvula reguladora de caudal	Descripción
<p>No compensadas (Válvula de aguja)</p> 	<p>Esta válvula se tiene un cono conectado al mando de abrir y cerrar según la separación del asiento. Mientras se va aflojando el mando se va incrementando el área de paso, esto permite un mayor caudal; además está influenciado por la presión, ya que al incrementar esta se incrementa el caudal.</p>
<p>Compensadas</p> 	<p>A diferencia de las válvulas no compensadas, el diseño de estas hace que el caudal se mantenga constante aun cuando la presión varía. Son las más usadas, debido a que mantienen las velocidades de los actuadores más definidos que en el caso de las válvulas de aguja.</p>

*Nota.* Adaptado de “Manual de oleohidráulica”, de SOHIPREN S.A., 2005, Escuela Universitaria Politécnica San Sebastián-Donostia, segunda edición.

### 1.4.3 Válvulas de presión

Estas válvulas varían la presión del sistema hidráulico. Son limitadoras o reguladoras (Tabla 1.8).

Tabla 1.8. Tipos de válvulas de presión

Válvula de presión	Descripción
<p>Reguladora (reductora de presión)</p> 	<p>Estas reducen la presión de entrada hasta que alcanzan el valor deseado. La figura muestra una válvula reductora de presión manual; un resorte se encarga de generar una fuerza en sentido contrario a la presión del aceite hasta que este logra vencer la fuerza del resorte.</p>
<p>Limitadora (válvulas de seguridad)</p> 	<p>Permiten limitar y ajustar la presión deseada en el sistema hidráulico. Si la fuerza del fluido a la entrada supera a la del muelle de la válvula, esta empieza a abrirse permitiendo el paso del fluido; por lo tanto, una porción del caudal va hacia el depósito.</p>

*Nota.* Adaptado “Instalación y mantenimiento electromecánico de maquinaria y conducción de líneas”, de Escribano, R., 1995, Automatismos eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

## 1.5 Sensores

Todo ser vivo subsiste gracias a que es capaz de reaccionar a lo que sucede en su entorno, debido a que cuentan con receptores los cuales perciben los cambios dentro y fuera el sistema nervioso.

Los sensores son receptores artificiales, también llamados detectores; estos pueden ir montados en cualquier equipo o máquina para así permitir que estos reaccionen por sí solos en determinados estados [Vaca, 2014].

### 1.5.1 Sensores de proximidad

También conocido como transductor. Este detecta señales u objetos que se encuentran a cierta distancia del sensor [Meléndez, 2015].

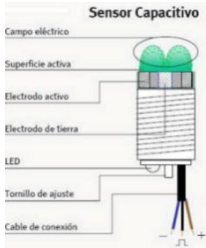
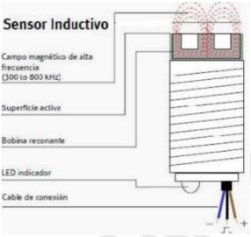
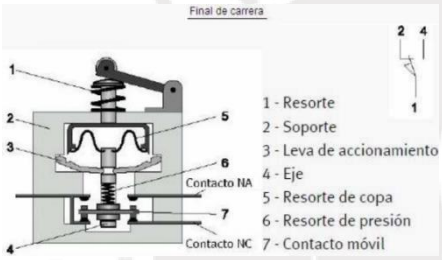
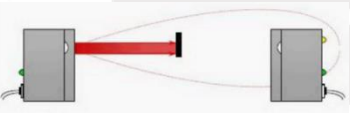
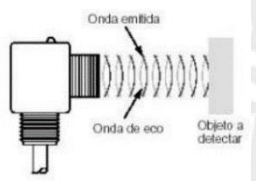

Según el principio que usan, existen diversos tipos de sensores de proximidad. Los más comunes son:

- Sensor capacitivo
- Sensor inductivo
- Sensor de fin de carrera
- Sensor infrarrojo
- Sensor ultrasónico
- Sensor magnético

Según la tabla 1.9 los tres primeros envían una señal al momento de detectar un objeto; esto no sería de gran ayuda, debido a que se desea medir la distancia, no solo detectar objetos. En este proyecto se realizará un comparativo del sensor infrarrojo con el ultrasónico.



Tabla 1.9 Distintos tipos de sensores de Proximidad.

Sensores de proximidad	Descripción
<p style="text-align: center;"><b>Capacitivo</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Sensor Capacitivo</b></p> <p>Campo eléctrico Superficie activa Electrodo activo Electrodo de tierra LED Tornillo de ajuste Cable de conexión</p>	<p>La función principal de este detector es señalar el cambio de estado baso en la variación del campo mangnético. Estos miden el cambio de capacitancia, por lo tanto puede detectar objetos metálicos y no metálicos.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Inductivo</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Sensor Inductivo</b></p> <p>Campo magnético de alta frecuencia (500 a 800 kHz) Superficie activa Bobina resonante LED indicador Cable de conexión</p>	<p>Genera un campo magnético y detecta las pérdidas de corriente de dicho campo generadas al introducirse un objeto, estos pueden ser férricos y no férricos.</p>
<p style="text-align: center;"><b>De fin de carrera</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Final de carrera</b></p> <p>1 - Resorte 2 - Soporte 3 - Leva de accionamiento 4 - Eje 5 - Resorte de copa 6 - Resorte de presión 7 - Contacto móvil</p> <p>Contacto NA Contacto NC</p>	<p>Se le conoce también como sensor de contacto, interruptor de límite (milit swicht), pueden ser dispositivos eléctricos, mecánicos o neumáticos que se sitúan al final del recorrido de un elemento móvil. Ejemplo: una faja transportadora</p>
<p style="text-align: center;"><b>Infrarrojo</b></p> 	<p>Comúnmente es un fotodiodo o un fototransistor. Cuenta con un emisor o transmisor y un receptor, el receptor capta las señales de salida del emisor para así amplificarla y adaptarla a su sistema. Cabe señalar que las salidas del emisor pueden codificarse para distinguirla de otras señales.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Ultrasónico</b></p>  <p>Onda emitida Onda de eco Objeto a detectar</p>	<p>Detectan objetos mediante la emisión y reflexión de ondas acústicas. Las ondas generadas por el pulso ultrasónico son captadas devuelta al chocar con un objeto. El tiempo que toma esta operación es utilizado como parámetro para el cálculo de la distancia.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Magnético</b></p> 	<p>Detectan objetos magnéticos como imanes. No es necesaria una exposición directa hacia el objeto, debido a que los campos magnéticos generados pueden atravesar materiales no magnéticos.</p>

*Nota.* Adaptado de “Sensores Ópticos de Proximidad”, de Meléndez, C., 2015, “<https://www.scribd.com/presentation/52452577/Sensores-Opticos-y-de-Proximidad>”

## 1.5.2 Sensores de temperatura

El control de la temperatura es fundamental en numerosos procesos industriales; debido a eso, es necesario contar con dispositivos de respuesta rápida y precisa, ya que la mala toma de la temperatura podría ocasionar graves daños como la explosión de calderas, sin mencionar los daños que podría provocar en personal adyacente [Creus, 2010].

Los sensores de temperatura son dispositivos que convierten la variación de temperatura en señales eléctricas, estas señales son procesadas por equipos electrónicos.

Existen diversos fenómenos influenciados por la temperatura y que son utilizados para medirla como variaciones del volumen de un cuerpo, resistencia de un conductor o semiconductor; así como también la intensidad de la radiación emitida por un cuerpo y entre otros.

Por lo tanto, se emplean diversos instrumentos como termómetros de vidrio, bimetálicos, de bulbo y capilar, de resistencia (RTD), termistores, semiconductores, termopares, entre otros.

### 1.5.2.1 Termómetro de vidrio

Consta de un envase de vidrio, contiene un material como el mercurio que al calentarse se expande y sube en el tubo capilar. En la tabla 1.10 se observan los fluidos con las sustancias que estos contienen según el rango de trabajo [Creus, 2010].

- Ventajas: No necesita de instalación eléctrica
- Desventajas: Dispositivo visual, no se puede introducir a un lazo de control y por ser de vidrio es frágil, además no llega a altas temperaturas.

Tabla 1.10 Rangos de trabajo de los fluidos en los termómetros.

Fuente: [Creus, 2010]

Material	Temperatura
Mercurio	-35 °C a +280 °C
Mercurio (tubo capilar lleno de gas)	-35 °C a +450 °C
Pentano	-200 °C a +20 °C
Alcohol	-110 °C a +50 °C
Tolueno	-70 °C a +100 °C

### 1.5.2.2 Termómetro bimetálico

Se basan en la dilatación de las diferentes aleaciones metálicas al ser expuestas a una misma temperatura. En la figura 1.8 se muestra la composición interna de un termómetro bimetálico, en ella genera un movimiento giratorio a la aguja indicadora [Creus, 2010].

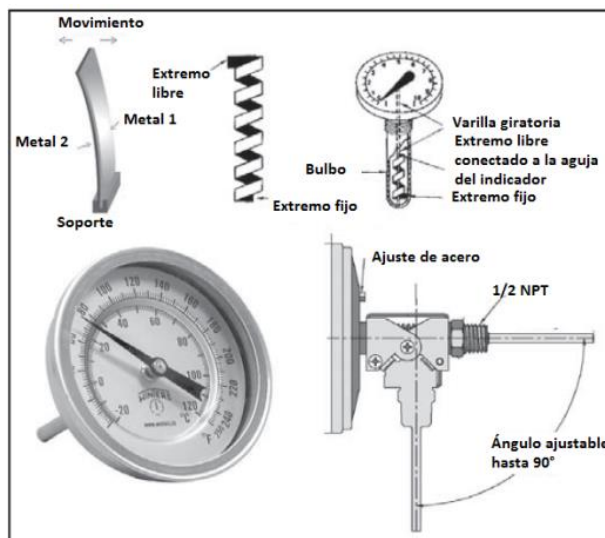


Figura 1.8. Termómetro bimetálico.

Fuente: [Creus, 2010]

- Ventajas: La exactitud es de  $\pm 1\%$  y su rango de medida es de  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$  (); cuentan con un display orientable, lo que los hace versátiles.
- Desventajas: La temperatura que miden es limitada y no son capaces de ser parte de un lazo de control.

### 1.5.2.3 Termómetros de bulbo y capilar

Consisten en un bulbo conectado por un capilar a un espiral. Si la temperatura del bulbo cambia, el fluido en el bulbo se expande y la espiral tiende a desenrollarse, moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura en el bulbo. [Creus, 2010, p.237]

A continuación, se tiene cuatro clases:

- **Clase I.** Termómetros actuados por líquido ( $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- **Clase II.** Termómetros actuados por vapor ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- **Clase III.** Termómetros actuados por gas ( $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- **Clase IV.** Termómetros actuados por mercurio ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

A continuación, se muestra la estructura de los termómetros de bulbo y capilar en la figura 1.9.

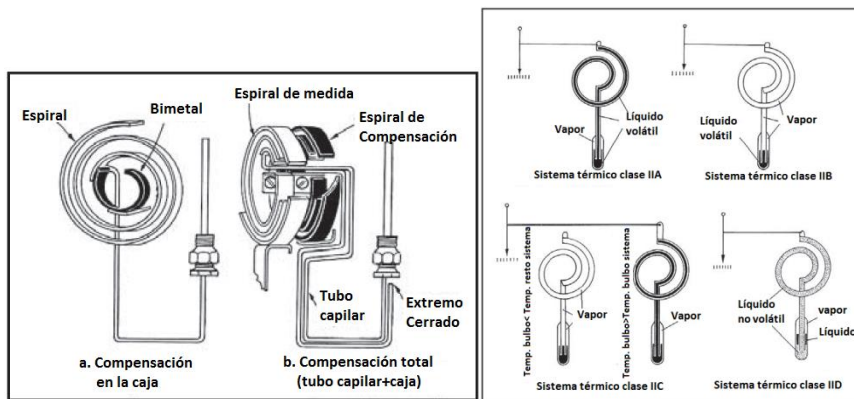


Figura 1.9. A la izquierda, termómetro actuado por líquido; a la derecha, termómetro actuado por vapor (clase IIA, IIB, IIC y IID)

Fuente: [Creus, 2010]

- Ventajas: Los tiempos de respuesta varían de entre 1 a 10 segundos, fácil instalación y no requiere de cableado.
- Desventajas: No se puede realizar lazos de control con dichos termómetros.

### 1.5.2.4 Termómetros de resistencia (RTD)

Son sensores de temperatura RTD contienen sondas de resistencia, las cuales varían con el cambio de temperatura [Creus, 2010]. La ecuación 1.5 muestra esta relación.

$$R_t = R_0 * (1 + \alpha * t) \dots \dots \dots (1.5)$$

Donde:

$R_0$ : Resistencia en ohmios a 0 °C

$R_t$ : Resistencia en ohmios a  $t$  °C

$\alpha$ : Coeficiente de temperatura de la resistencia. En un rango de temperaturas de 0 °C a 100 °C es de 0,003850  $\Omega / (\Omega / ^\circ C)$  en la Escala Práctica de Temperaturas Internacional (IPTS-68).

La figura 1.10 muestra la relación entre la temperatura y la resistencia en Ohms obtenida de las pruebas de un RTD.

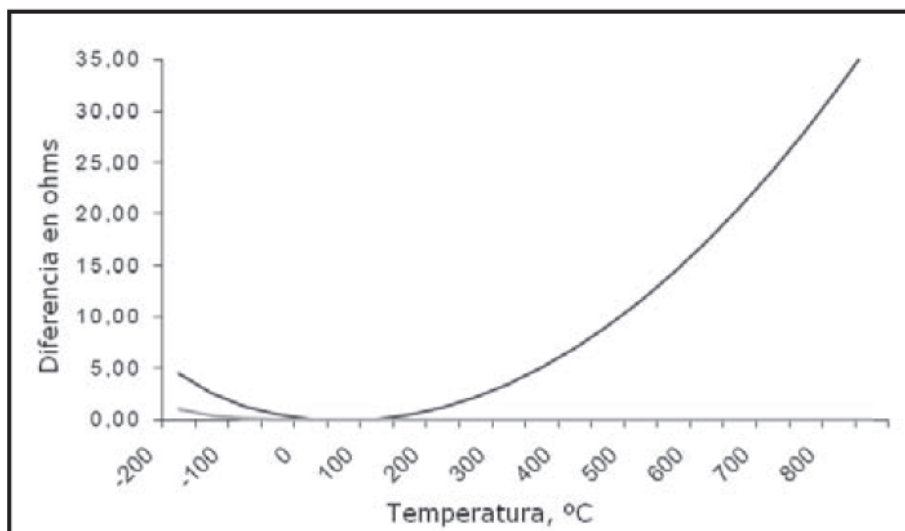


Figura 1.10. Relación entre la temperatura y el valor real de la resistencia obtenido por la fórmula  $R_t = R_0 (1 + t)$ .

Fuente: [Medrano, 2002]

En la figura 1.11, se muestran las curvas de resistencia relativa para diferentes metales al cambio de temperatura.

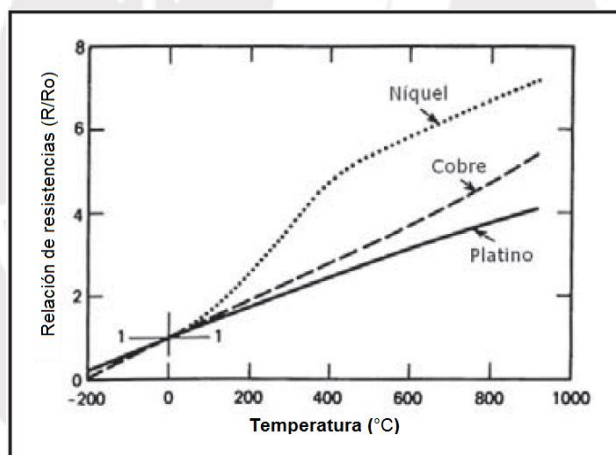


Figura 1.11. Curvas de resistencia relativa de distintos metales vs temperatura.

Fuente: Fuente: [Medrano, 2002]

El platino tiene una resistencia de 100 ohmios a 0 °C. En la tabla 1.11 se observan los valores de resistencia de las sondas Pt100. La misma tabla es válida para las sondas Pt500 (500 ohmios a 0 °C) y Pt1000 (1.000 ohmios a 0 °C) multiplicando los valores mostrados en la tabla por 5 y por 10, respectivamente [Creus, 2010].

En la figura 1.12 se muestra las partes de un RTD.

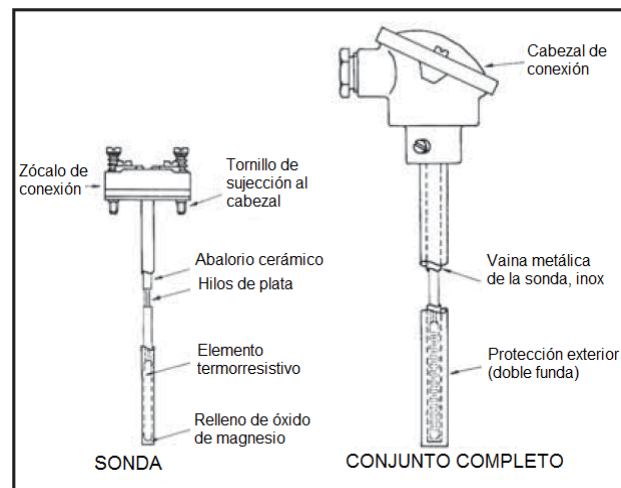


Figura 1.12. Partes de una termorresistencia.

Fuente: [Creus, 2010]

Tabla 1.11. Extracto de valores de resistencia de acuerdo a la temperatura en °C para las sondas de resistencia Pt100, con coeficiente de variación de resistencia 0,00385 según DIN 43.760 (IPTS-68).

Fuente: [Medrano, 2002]

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45

Existen tres modos y tipos de conexión para una sonda resistiva, estos son de dos, tres y cuatro hilos. Mientras más hilos posea la sonda, mayor será la precisión [Creus, 2010].

Donde:

- RTD*: Valor resistencia desconocida  
*K*: Coeficiente de resistencia por unidad de longitud  
*a, b*: Longitudes de los hilos de conexión de la sonda al puente.

- Ventajas: Tienen una alta precisión, son confiables y estables, sencillos de calibrar, amplio rango de precisiones.
- Desventajas: Algunos accesorios, como el termopozo, hacen que el tiempo de respuesta se incremente.

### 1.5.2.5 Termistores

Son semiconductores electrónicos. Cuentan con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado; por lo tanto, presentan variaciones rápidas, y extremadamente grandes, para cambios pequeños en la temperatura.

Están hechos con óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, titanio, magnesio y otros metales. Se los encapsula en sondas y discos.

Existen dos tipos, siendo los más comunes los NTC (*Negative Temperature Coefficient* - coeficiente de temperatura negativo) y los (PTC - *Positive Temperature Coefficient*) que aumentan su resistencia con la temperatura [Creus, 2010].

En la ecuación 1.6 se muestra la relación entre la resistencia del termistor y la temperatura.

$$R_t = R_0 * e^{\beta(\frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_0})} \dots\dots\dots (1.6)$$

Donde:

- $R_t$ : Resistencia ( $\Omega$ ) a la temperatura absoluta  $T_t$
- $R_0$ : Resistencia ( $\Omega$ ) a la temperatura absoluta de referencia  $T_0$
- $\beta$ : Constante de un intervalo moderado de temperaturas

En la figura 1.13, se observa el comportamiento tanto de los termistores de coeficiente negativo y como de coeficiente positivo al elevar la temperatura. En el caso de las temperaturas no tan altas se consideran curvas lineales como se puede observar. En el caso contrario; es decir, al tener un alto coeficiente de temperatura, son más sensibles y permiten intervalos de medida de 1 °C (*span*) [Creus, 2010].

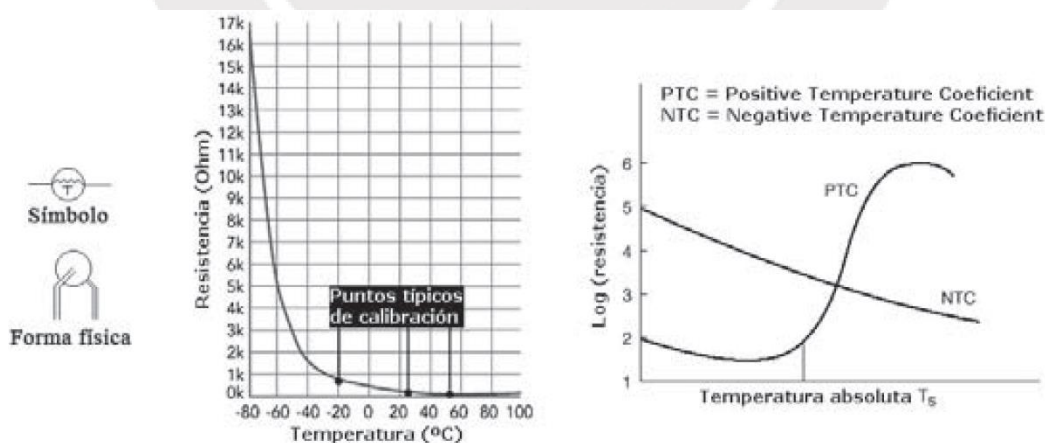


Figura 1.13. Curva de resistencia-temperatura NTC y PTC del termistor.

Fuente: [Creus, 2010]

Los termistores obtienen su principal aplicación en la compensación, la medición, el control de la temperatura; además de servir como medidores de temperatura diferencial.

- Ventajas:
  - Tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor, variando de 0,5 a 10 segundos.
  - Suelen medir entre dos y cuatro centímetros
- Desventajas:
  - Se debe tomar precauciones en la instalación del equipo ya que si el cable es largo, afectará en la medición por la resistencia que este.
  - Las temperaturas con las que trabajan no son tan altas en comparación a los RTD.

#### 1.5.2.6 Sensores de temperatura de semiconductor

Estos sensores disponen de funciones de transferencia que son proporcionales a la temperatura en °K, °C o °F. En la mayor parte de las aplicaciones, la señal de salida alimenta un comparador o un convertidor A/D para convertir los datos de temperatura a un formato digital. [Creus, 2010]

Estos sensores pueden ser digitales o analógicos con una tensión de salida proporcional a la temperatura absoluta en °C o °F.

- Ventajas:
  - Tienen mucha presencia en ordenadores, disco duro, cargador de batería y pantallas LCD con el fin de protegerlos.
  - Los analógicos tienen una sensibilidad de 10 mV/°C, así como también salida proporcional a la temperatura absoluta y una sensibilidad de 1 A/°C hasta 3 A/°C y termostatos de -40 °C hasta +125 °C.
- Desventajas:
  - Cuentan con exactitud de  $\pm 1$  °C dentro del intervalo -55 °C a 150 °C [Creus, 2010].

#### 1.5.2.7 Termopares

También llamado termocupla, este genera tensión debido al contacto térmico de dos metales [Mayné, 2003].

A continuación, se observa lo expuesto anteriormente en la figura 1.14.



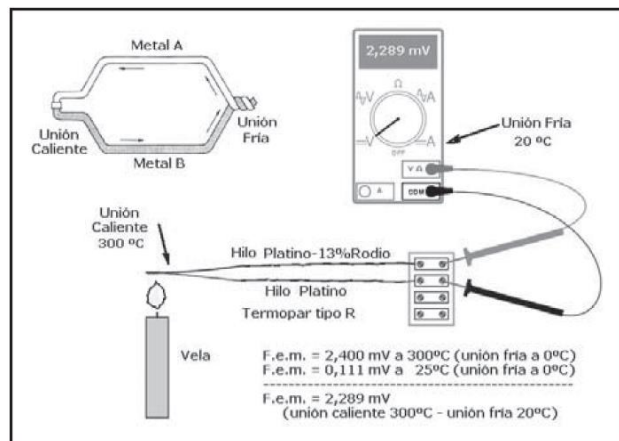


Figura 1.14. Conexión de un Termopar.

Fuente: [Creus, 2010]

El tipo de termopar se define por la combinación de metales que este usa, entre los más comunes se tiene a los de tipo J, K, T, E y R, pero existen otros más. Cada uno de estos reacciona de manera distinta al calor (Figura 1.15). Por otro lado, se muestra la estructura interna de un termopar en la figura 1.16.

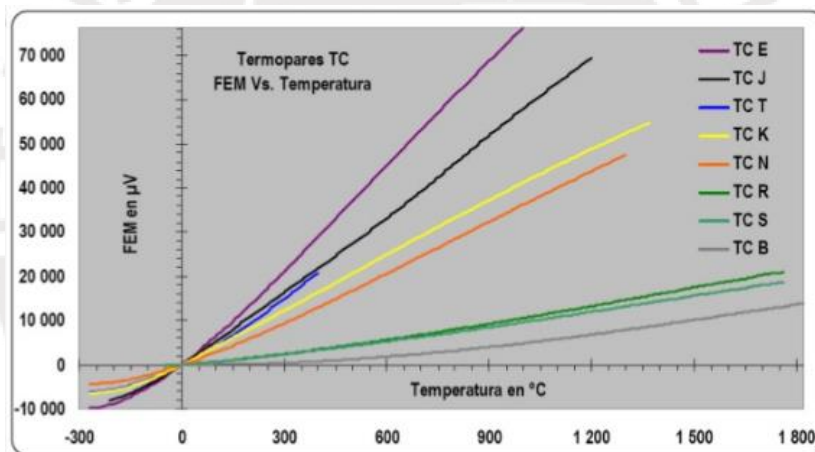


Figura 1.15. Curvas temperatura vs resistencia de los diferentes tipos de Termocuplas.

Fuente: [Medrano, 2002]

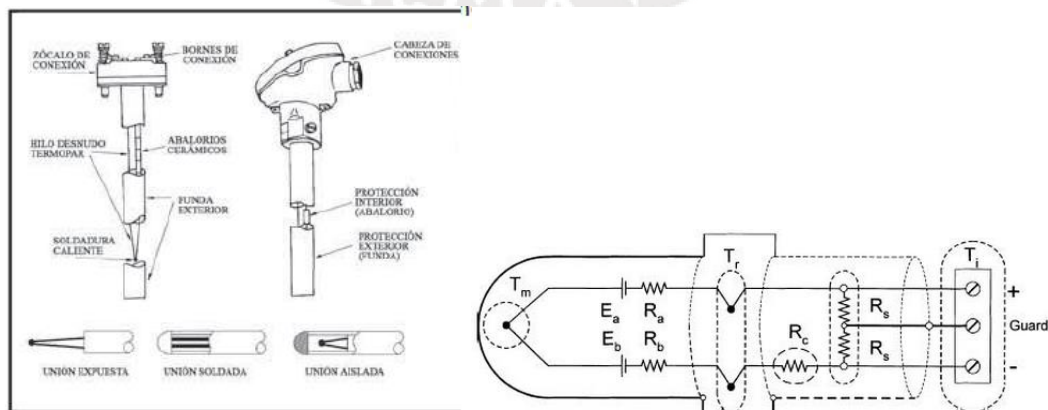


Figura 1.16. A la izquierda, partes de una termocupla y a la derecha, circuito interno.

Fuente: [Creus, 2010]

- Ventajas:
  - Ser económicas y robustas, por lo que es fácil encontrarlas en el mercado.
  - Trabajan en altos rangos de temperatura (-180 a +1370°C).
- Desventajas:
  - Cuentan con una precisión baja (0.5°C) y su vida útil se reduce al ser expuestas a altas temperaturas o a atmósferas oxidantes y reductoras.

En este capítulo, se han mencionado los sensores, actuadores, válvulas y accesorios que podrían ser usados en el desarrollo del proyecto. Más adelante se llevará a cabo la selección de los componentes en base a lo aprendido en este capítulo.



## CAPÍTULO 2

### DISEÑO CONCEPTUAL

El presente trabajo muestra el diseño de un módulo oleohidráulico de laboratorio con el fin de estudiar el comportamiento de un cilindro hidráulico bajo el control de posición y temperatura. En este capítulo se expondrá la problemática que la presente tesis trata de resolver y la solución planteada mostrando las consideraciones tomadas. El propósito general de este trabajo es que, a través del estudio, se logre buscar una mayor eficiencia en los procesos que son parte de diversas actividades a nivel industrial haciendo uso de menos recursos y mejorando la vida útil de los módulos hidráulicos.

En el desarrollo de esta tesis, se hará uso de la metodología de diseño normalizada VDI 2222 [Barriga, 1985].

#### **2.1. Problemática**

El Laboratorio de Oleohidráulica y Neumática de la sección de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú cuenta con un módulo hidráulico (figura 2.1) con el cual tanto docentes como alumnos ponen en práctica los conceptos básicos de la oleohidráulica.

Actualmente, el módulo existente está diseñado para permitir el acoplamiento de diversos componentes como son el cilindro hidráulico, mangueras y algunas válvulas manuales y electromagnéticas como se puede mostrar en la figura. Como se puede notar, en el módulo existente se pueden realizar simples pruebas de control del movimiento del vástago.

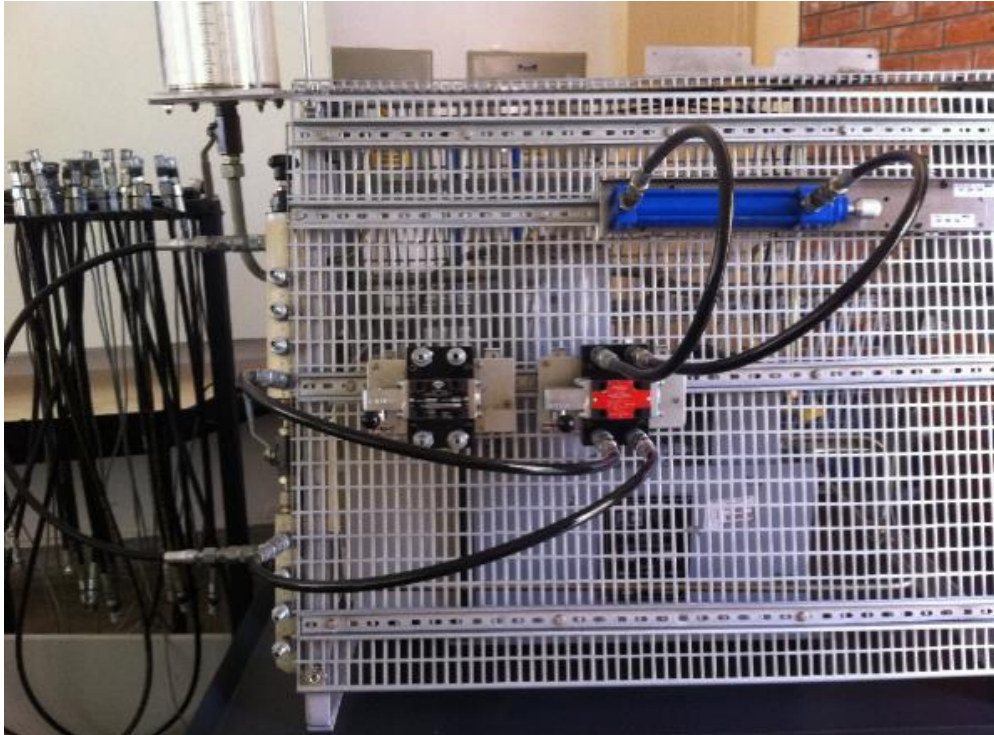


Figura 2.1. Módulo de hidráulica Laboratorio de Olehidráulica y Neumática PUCP.

Siendo el objetivo el de buscar una mejor eficiencia, rendimiento y precisión en los trabajos de los equipos hidráulicos es que se propone el control de la temperatura del tanque hidráulico; así como también, el control del recorrido del vástago del cilindro con un control PID.

## 2.2. Requerimientos

Se considera necesario hacer una lista de los requerimientos que debe cumplir el sistema mecatrónico, a fin de generar diferentes soluciones. Los requerimientos más importantes de la máquina son que el vástago sea capaz de recorrer las distancias señaladas y que la temperatura se autorregule en todo momento.

### Cinemática:

- El vástago del cilindro hidráulico deberá desplazarse longitudinalmente en un rango de 0 a 200mm para poder desplazar la carga que se le asignará a una velocidad de 2m/min.
- La presión mínima en la válvula de seguridad deberá ser regulada 200PSI.

### Control

- La máquina debe contar con un sistema de control confiable. Para que el usuario se sienta seguro en que el sistema va a salvaguardar su seguridad; ya que la presión a la que puede llegar el sistema hidráulico es de 30 bares.
- El sistema de control debe contar con una respuesta precisa. El criterio a seguir es del 5% de error.

### Energía

- La máquina deberá ser capaz de conectarse a una red estándar de 220 VAC y 60Hz; ya que es para ensayos en las instalaciones del laboratorio de la PUCP, el cual trabaja a este voltaje.

### Ergonomía

- La máquina debe contar con una interfaz de usuario fácil para su manipulación; para así evitar este la manipule físicamente.
- El dispositivo de accionamiento debe seguir normativas de tamaño, forma y color según normas Ministerio del Trabajo a fin de evitar accidentes.
- El diseño del sistema debe seguir a la guía del percentil antropométrico que corresponde al país donde se desarrollará. El usuario deberá estar de pie para realizar los ensayos.

### Fabricación

- El diseño de la máquina debe asegurar que sea de simple fabricación para que pueda producirse en cualquier taller mecánico.
- Debe realizarse bajo ciertas normas de seguridad y haciendo uso de los equipos de protección adecuado.

### Fluido

- El tanque hidráulico de la máquina debe contar con un aceite que tenga la viscosidad requerida para el trabajo.

### Fuerza

- La máquina debe proporcionar la fuerza suficiente para poder desplazar 4 bloques de acero A36 de 8.84kg cada uno. Lo cual hace una fuerza total de 346.98N. La capacidad máxima del cilindro es cercana a los 7500N.

### Geometría

- La máquina deberá ser compacta y hermética para utilizarse en el Laboratorio de Oleohidráulica y Neumática de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Debe permitir el intercambio de piezas como cilindro hidráulico, válvulas, sensores y demás.
- Para el montaje se debe tener en consideración las dimensiones que la máquina ocupará. Se estima que el área superficial será de 0.9 m<sup>2</sup>, con longitudes de 1500 mm y 600 mm; así mismo, cuenta con una altura cercana a los 1800 mm. Se obtiene finalmente un volumen de 1.62 m<sup>3</sup>.

### Mantenimiento

- En el diseño de la máquina debe considerarse la menor cantidad de piezas para poder facilitar el mantenimiento, tanto en manipulación como en costos.
- Deben incluirse piezas con formas para un sencillo desmontaje y así agilizar la tarea de mantenimiento.

### Seguridad

- El diseño de la máquina debe ser capaz de salvaguardar la seguridad e integridad del usuario a fin de evitar accidentes.
- Deberá contar con dispositivos de seguridad que den aviso y aseguren una manipulación confiable.
- Deberá contar con un medio de accionamiento para emergencias; el cual libere las cargas que puedan resultar peligrosas para el usuario.
- Deberá ser amigable con el medio ambiente, sin contar con algún tipo de emisión tóxica.

### Señales

- La máquina deberá ser capaz de medir el recorrido del vástago y la temperatura del aceite hidráulico para poder, en ambos casos, tomar acciones correctivas.
- Los actuadores y sensores deben utilizar niveles de voltaje estándares o comerciales a fin de que el suministro de energía sea sencillo.

### Materia:

- La máquina deberá contar con materiales resistentes para ser capaz de soportar las cargas; ya que cualquier daño en la estructura o parte de ella puede ocasionar fugas de aceite y poner en riesgo la seguridad del usuario como afectar los resultados del ensayo.
- Los materiales deberán ser duraderos ante la corrosión del ambiente. Por lo tanto, las mangueras, válvulas, cilindro hidráulico y el resto de accesorios de tanque deberán ser los adecuados.

### Montaje:

- La máquina debe contar con piezas de sencilla manipulación que faciliten el montaje y desmontaje; a fin de que los ensayos se puedan realizar de manera rápida y eficaz.

### Uso:

- La máquina debe ser fácil de manipular con conocimiento básico indicado en el manual de instrucciones; es decir, no requiere de conocimiento especializado para su uso.

En la tabla 2.1 se muestran los requerimientos del sistema.

Tabla 2.1. Tabla de exigencias o requerimientos del sistema.

Tipo	Descripción
Cinemática	El vástago del cilindro hidráulico deberá desplazarse longitudinalmente
	La presión mínima en la válvula de seguridad deberá ser regulada 200PSI
Control	Contar con un sistema de control confiable
	Contar con una respuesta precisa con el criterio del 5% de error
Energía	Capaz de conectarse a una red estándar de 220 VAC
Ergonomía	Contar con una interfaz de usuario simple para su manipulación
	El dispositivo de accionamiento debe seguir ciertas normativas
	Diseño en base a guía antropométrica
Fabricación	Diseño de fácil fabricación
	Bajo normas de seguridad y usando el equipo de protección adecuado
Fluido	Asegurar que tenga la viscosidad requerida en el trabajo
Fuerza	Proporcionar la fuerza necesaria para poder desplazar 500kg
Geometría	Modelo compacto y hermético
	Permitir el intercambio de piezas
	Considerar las dimensiones que la máquina ocupará
Mantenimiento	Considerarse la menor cantidad de piezas posible
	Piezas con formas de sencillo desmontaje
Seguridad	Asegurar la salud y el bienestar del usuario
	Dispositivos de seguridad que adquiera la manipulación
	Accionamiento de emergencia
	Amigable con el medio ambiente
Señales	Capaz de medir las variables que se solicitan
	Niveles de voltaje comerciales
Materia	Materiales resistentes a las cargas
	Materiales duraderos ante la corrosión
Montaje	Piezas de sencilla para el montaje y desmontaje
Uso	Fácil uso

### 2.3 Estructura de funciones

A continuación, se presenta la estructura de funciones, inicialmente, como una caja negra (figura 2.2). En esta se agrupa e identifica las funciones del diseño. Se partirá de lo general a lo específico; en otras palabras, las funciones principales se subdividen en pequeñas funciones llamadas sub funciones que permiten lograr el objetivo final.

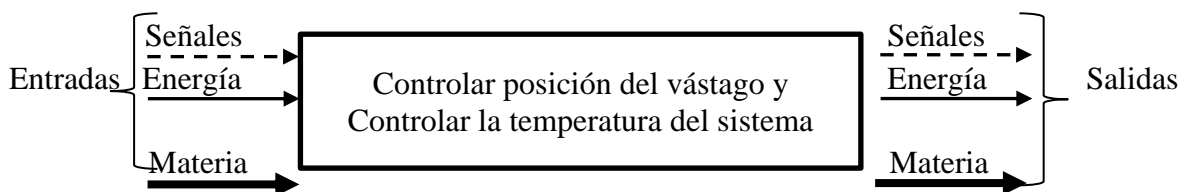


Figura 2.2. Caja negra. [Barriga, 1985]

**Entradas:**

- Señales: Partida o inicio del funcionamiento del sistema, parámetros de control de la posición del vástago y de la temperatura.
- Energía: Fuente de energía hidráulica (mecánica), sistema de control y accionamiento manual del usuario.
- Materia: Aceite hidráulico

**Salidas:**

- Energía: Ruido, calor y vibración.
- Señales: Distancia real del vástago y temperatura detectada.
- Materia: Aceite hidráulico combinada con pequeñas partículas propias del desgaste.

Las funciones se dividirán en cuatro grandes grupos: funciones de control y procesamiento, funciones mecánicas, funciones relacionadas a actuadores y funciones relacionadas a sensores.

**Funciones de control y procesamiento:**

- Transformar Energía eléctrica de 220VAC a 24VAC (para actuadores o sensores)
- Rectificar energía eléctrica 24VAC a 24VDC
- Ingresar recorrido del vástago (Interfaz)
- Ingresar constantes de control  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$
- Seleccionar temperatura deseada
- Acondicionar señales de sensores
- Controlar actuadores
- Almacenar datos de posición
- Almacenar datos de temperatura

**Funciones mecánicas:**

- Transformar energía eléctrica en mecánica
- Regular válvula de estrangulamiento
- Aumentar o disminuir la presión
- Acelerar o desacelerar vástago
- Asegurar que el sensor ultrasónico está en posición cero
- Disipar energía restante
- Generar fuerza de contacto entre la cabeza del vástago y el cuerpo a empujar
- Repetir el número de veces que el usuario desee

**Funciones relacionadas a actuadores:**

- Regular recorrido del cilindro
- Regular la temperatura del aceite hidráulico

**Funciones relacionadas a sensores:**

- Registrar posición actual del vástago
- Regular temperatura actual del sistema



## 2.4 Diagrama de funciones

Se pueden ver los flujos de señal, energía y materia, dentro de las funciones y sub funciones que han sido establecidas.

En la figura 2.3, se cuenta con el diagrama de funciones.

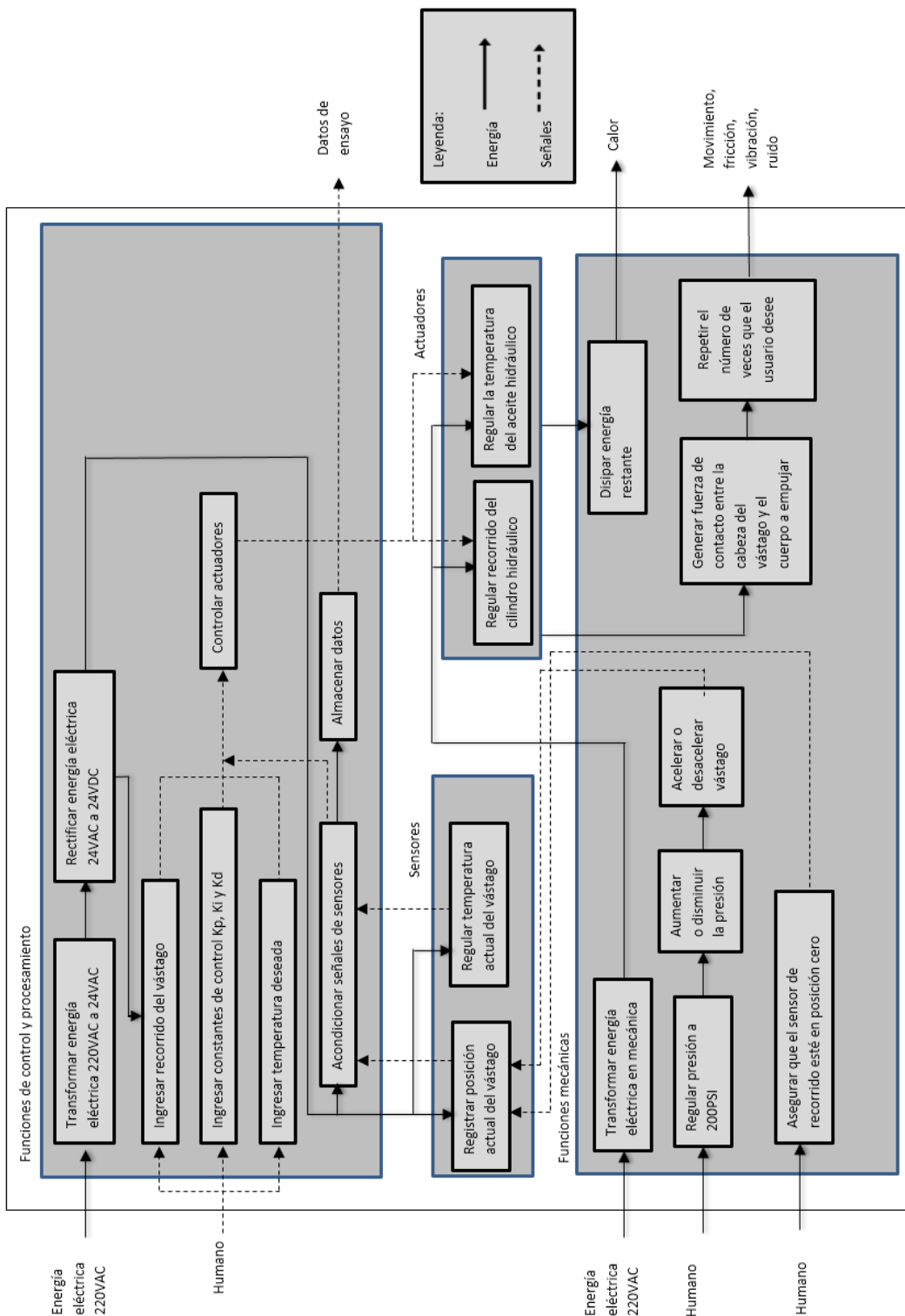


Figura 2.3. Diagrama de funciones seleccionada.

## 2.5 Concepto de solución

El concepto de solución que, con respecto al diseño de la estructura y soporte del cilindro hidráulico y de las pesas, ha sido seleccionado se muestra en la figura 2.4. En esta solo se muestra el sistema de elevación el cual irá sobre la mesa de trabajo. Por otro lado, la bomba, el tablero y demás no se muestran

El análisis y evaluación de los conceptos de solución se muestran en el Anexo B. Previo a ello se trabajó la matriz morfológica en el Anexo A. Esta permitió mostrar diferentes alternativas de solución para cada una de las funciones que han sido enlistadas en este capítulo.

En la figura 2.4 se observan los equipos y componentes de la parte superior del sistema mecatrónico; por otro lado, en la figura 2.5 se tiene a los equipos de la parte inferior del sistema.

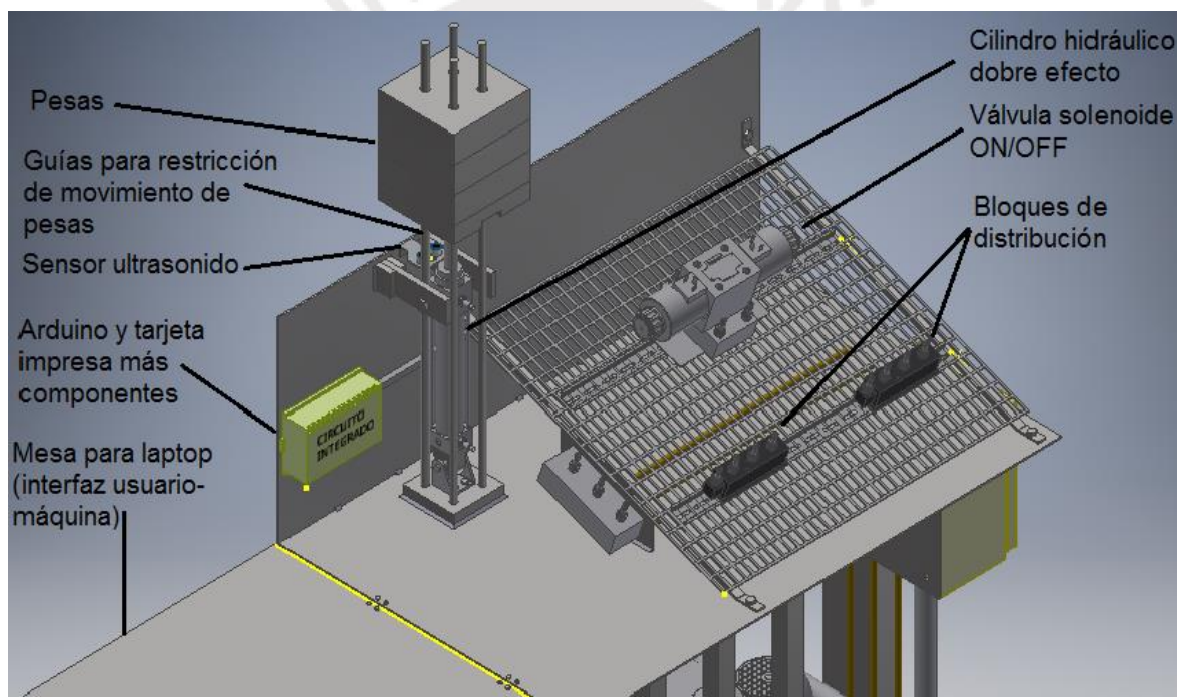


Figura 2.4. Implementación de los equipos y componentes de la parte superior del sistema mecatrónico.

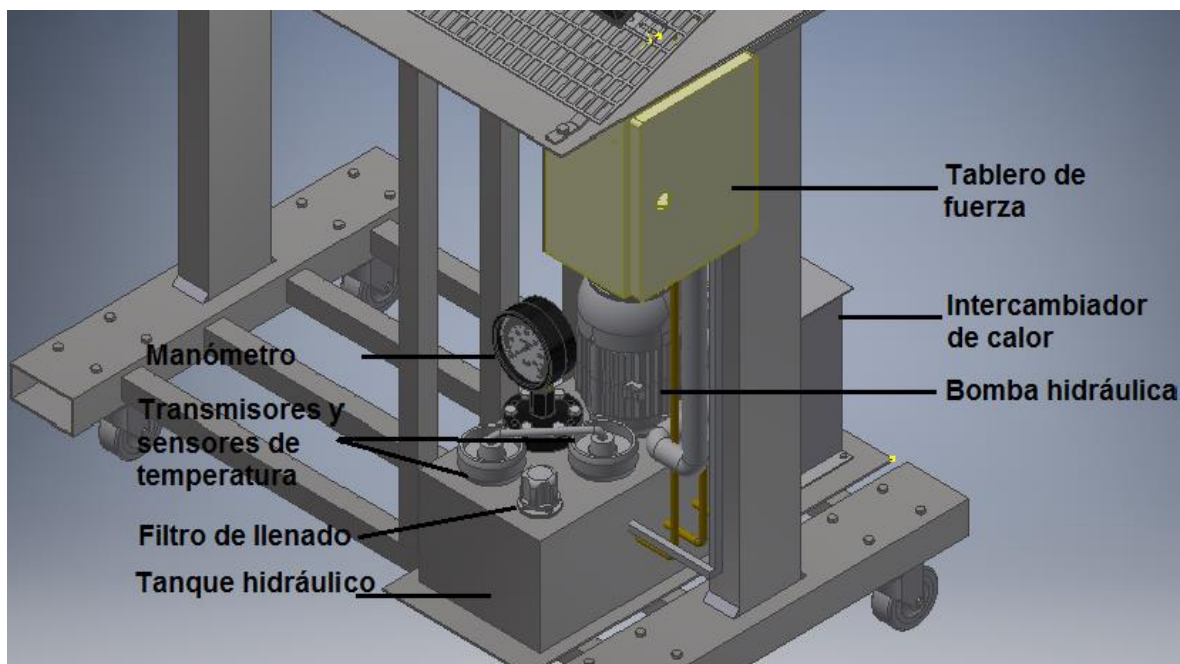


Figura 2.5. Implementación de los equipos y componentes de la parte inferior del sistema mecatrónico.

El concepto solución obtenido se basa en el desplazamiento longitudinal del vástago el cual empuja las pesas que reposan encima de este. El movimiento del vástago se genera por la presión ocasionada por una bomba ubicada en el tanque hidráulico. Se desarrollará con más detalles en el punto capítulo 3.

A fin de poder recolectar los datos del recorrido se dispone de un sensor para dicha función. En este proyecto se hará uso de un sensor ultrasonido. Los datos recolectados por este sensor pasan por un preprocesamiento con el fin de adecuar a las señales para luego procesarlas por la unidad de control.

El concepto de solución ideado utiliza un microcontrolador Arduino Uno conectado a una laptop con el software LabView. Se seleccionó a este software por su interfaz amigable y versátil para con el usuario. Este último será la interfaz que permitirá la interacción entre la máquina y el usuario. El microcontrolador se encargará de la activación de los actuadores correctos para el ensayo, regulación de parámetros, recopilación y almacenamiento de los datos.

## CAPÍTULO 3

### SELECCIÓN DE COMPONENTES

Se procederá a seleccionar los equipos y accesorios adecuados; para ello, se deben hacer los cálculos respectivos sabiendo que el módulo será exclusivamente para uso didáctico. Se cuenta con cargas de acero al extremo del vástago que serán elevadas por este.

Las cargas a empujar por el cilindro hidráulico están compuestas por cuatro bloques prismáticos con dimensiones 50x150x150mm.

La figura 3.1 muestra el diagrama de cuerpo libre.

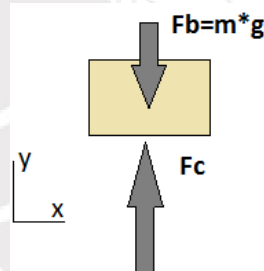


Figura 3.1. Diagrama de cuerpo libre.

Donde  $F_b$  representa a la fuerza ejercida por los bloques prismáticos y  $F_c$  a la fuerza que ejerce el pistón del cilindro hidráulico.

De acuerdo a la segunda ley de Newton, se tiene lo siguiente:

$$\sum F_y = m * a$$

Como resultado se obtiene la ecuación 3.1.

$$F_c - F_b = m * a \dots\dots\dots(3.1)$$

Los datos conocidos se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Datos de los bloques

Dato	Símbolo (Unidad)	Valor
Densidad del A36	kg/lm <sup>3</sup>	7860
Longitud de la sección 1	L1(m)	0.05
Longitud de la sección 2	L2 (m)	0.15
Longitud de la sección 3	L2 (m)	0.15
Gravedad	g(m/s <sup>2</sup> )	9.81

Mediante la ecuación 3.2 se obtendrá la fuerza ejercida por los bloques (Fb) que deberá elevar el cilindro.

$$Fb = densidad\ A36 * 4 * L1 * L2 * l3 * g \dots\dots\dots (3.2)$$

Se obtiene que la fuerza Fb es 346.98N.

Por lo tanto, la fuerza que deberá aplicar el cilindro (Fc) para vencer el movimiento de los bloques deberá ser mayor a 346.98N.

### 3.1 Grupo hidráulico

A continuación, se seleccionarán los componentes principales del grupo hidráulico.

#### 3.1.1 Cilindro

Es el elemento que convertirá la energía hidráulica en la fuerza que el sistema necesita para empujar las cargas definidas. La carrera de este será de 200mm; espacio suficiente para la aplicación requerida.

Las presiones de diseño usuales de los cilindros son 50, 100, 125, 160, 250 y 315bar [Barriga, 1985].

Debido a que la carga que el cilindro va a izar es baja, se establece una presión de trabajo máxima de 50 bares y a partir de ella se determinará el diámetro mínimo del émbolo.

El diámetro del émbolo se hallará a partir del área de la ecuación 3.3.

$$A = \frac{F}{p} \dots\dots\dots (3.3)$$

Teniendo en cuenta que la fuerza es 346.98N, se obtiene un área A es 69 mm<sup>2</sup>. Luego, con la ecuación 3.4, se obtiene un diámetro mínimo para el émbolo de 9.37mm.

$$dmin - emb = \sqrt{A * \frac{4}{\pi}} \dots\dots\dots (3.4)$$

De acuerdo a la tabla 3.2, en la cual se muestran los datos de los cilindros de la marca FLUIDTEK, el diámetro del émbolo inmediatamente superior es de 40mm. Por otro lado, el diámetro del vástago más pequeño corresponde a uno de 16mm.

Tabla 3.2. Dimensiones de los cilindros hidráulicos. Fuente: FLUIDTEK

D (mm)	d (mm)	A1 (cm <sup>2</sup> )	A0 (cm <sup>2</sup> )
40	16	12,57	10,56
	20		9,42
	25		7,66
50	20	19,64	16,49
	25		14,73
	32		11,59

Donde,

D: Diámetro del émbolo (mm)

d: Diámetro del vástago (mm)

A1: Área del émbolo (mm<sup>2</sup>)

A0: Área anular (mm<sup>2</sup>)

En el Anexo C, se adjunta la ficha técnica de los cilindros hidráulicos de la marca FLUIDTEK.

Se procede a la verificación de la resistencia del émbolo del cilindro hidráulico por pandeo.

### Verificación por pandeo

Consiste en verificar si el cilindro fallará ante una fuerza de compresión longitudinal.

Primero, se procede a hallar el radio de giro del cilindro. El cual se obtiene de una relación entre la inercia del instrumento y el área de la sección como lo muestra la ecuación 3.5.

$$i = \sqrt{\frac{i}{A}} \dots\dots\dots(3.5)$$

Al tratarse de una sección circular, el radio de giro se calcula con la ecuación 3.6.

$$i = \frac{dvástago}{4} \dots\dots\dots(3.6)$$


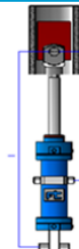
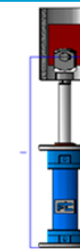
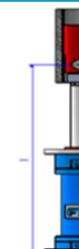
Se obtiene un radio de giro de 4mm.

Segundo, se procede a calcular la esbeltez (ecuación 3.7). Esta se obtiene de la relación entre la longitud efectiva del cilindro y el radio de giro. El primero mencionado es la longitud real desplazada del cilindro multiplicada por el factor de corrección por pandeo.

$$\lambda = \frac{L_p}{i} \dots \dots \dots (3.7)$$

El cilindro se encontrará pivotado en la parte inferior y estará libre en la parte superior; por lo tanto, el factor de corrección según la tabla 3.3 es 2.1. Por lo tanto, la esbeltez calculada es 105.

Tabla 3.3. Factor de corrección según el tipo de anclaje.

Solicitaciones según euler				
Situación montaje del cilindro	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
				
Ejemplo	Un extremo libre, un extremo fijo.	Dos extremos articulados	Un extremo articulado un extremo fijo.	Dos extremos fijos.
Montaje	BD, BP, PP	PI, PE, PR	BD, BP, PP	BD, BP, PP
Solución	$L_p = 2 \cdot l$	$L_p = l$	$L_p = 0,7 \cdot l$	$L_p = 0,5 \cdot l$
I: longitud extendida del vástago				

Tercero, se debe verificar que la fuerza de pandeo ( $F_k$ ) sea mayor a la carga de compresión ( $F$ ) mediante la ecuación 3.8.

$$F \leq F_k = \frac{\pi^2 * E * I}{FS * L_p^2} \dots \dots \dots (3.8)$$

Con respecto al factor de seguridad (FS), la ficha técnica indica un mínimo de 3 o 5. Se seleccionará uno de valor 5.

$$F \leq F_k = \frac{\pi^2 * 210000 * \pi * 16^2}{5 * 105^2 * 4}$$

Del desarrollo anterior, se obtiene que  $F_k$  de 7559.62N, el cual es mucho mayor a la carga de trabajo de 346.98N. Finalmente, el cilindro no fallará por el efecto de pandeo ante la carga a utilizar.

### 3.1.2 Bomba

Dentro del grupo hidráulico se hará el cálculo de la bomba; para ello se necesitará conocer la velocidad con la que trabajará el cilindro.

Tabla 3.4. Características técnicas de los tipos de cilindros hidráulicos. Fuente: FLUIDTEK

Modelos	CHA	CHB	CHC	CHD
Presión máxima de trabajo	100	160	250	350
Presión de prueba	150	240	375	525
Tipo de construcción	Cabezales redondos y bridad			
Rango de diámetros de tubos	Desde 40mm hasta 250mm			
Rango de diámetro de vástagos	Desde 16mm hasta 160mm			
Formas de montaje	06 opciones			
Amortiguación	En uno o en ambos extremos con o sin amortiguación			
Fluido	Aceite mineral según DIN 51524			
Temperatura de trabajo	Desde -20°C hasta +80°C			
Viscosidad	Desde 2,8 hasta 400 cSt (mm <sup>2</sup> /s)			
Velocidad máxima al pistón	0,5 m/s			
Filtración	Mínimo. Clase 19/15 ISO 4406(β≥75)			
Conexiones	Roscas G según ISO 228/1 o bridadas.			

La velocidad máxima a la que puede desplazarse el vástago es de 0.5m/s según lo indicado en la tabla 3.4. De acuerdo a cálculos anteriores realizados por el encargado de esta tesis, se tomará como referencia el recorrido total del vástago por la unidad de tiempo en el sistema internacional de unidades, el segundo; es decir, se trabajará con una velocidad de 0.2m/s y no con el máximo que es 0.5m/s debido a que con este último valor se obtendrían una bomba y motor sobredimensionados.

En la selección del sistema hidráulico se cuenta con los siguientes datos:

- Recorrido del vástago: 0.2m
- Velocidad de recorrido 0.2 m/s o 12m/min

El caudal en el movimiento del cilindro es según la ecuación 3.9.

$$Q = v * A \dots \dots \dots (3.9)$$

Reemplazando valores en la ecuación anterior, se obtiene el caudal:

$$Q = 12(m/min) * 12.57(cm^2) * 100(cm/m) = 15084 cm^3/min$$

De acuerdo a la tabla 3.6, la velocidad de los motores POLARIS 20 va desde 500 a 3500 revoluciones por minuto. La velocidad de 3500 RPM se obtiene de un motor de 2 polos, en este caso se utilizará uno de 4, debido a que es más potente que su homólogo de 2, con lo que se deberían obtener alrededor de 1750 RPM.

A continuación, se determina el desplazamiento volumétrico por vuelta (ecuación 3.10) necesario para desplazar el pistón.

$$Vb = Q/n \dots \dots \dots (3.10)$$



$$Vb = 15084 (cm^3/min)/1750RPM = 8.61 cm^3/rev$$

El desplazamiento volumétrico real producido en la bomba se basa en la ecuación 3.11.


$$Vb(real) = Vb/\eta_v \dots\dots\dots(3.11)$$

Donde, se conoce el desplazamiento volumétrico por vuelta  $Vb$  y eficiencia volumétrica de la bomba  $\eta_v$ . Esta última se obtiene de la tabla 3.5.

$$Vb(real) = 8.61(cm^3/rev)/0.97 = 8.87(cm^3/rev)$$

Del catálogo (Tabla 3.6) se elige el valor próximo superior del desplazamiento volumétrico  $Vb(real)$  es  $8.87(cm^3/rev)$  y corresponde a una bomba PL.10-8 con  $8.51(cm^3/rev)$  de la marca CASAPPA.

Tabla 3.5. Valores de eficiencias de bomba. Fuente: CASAPPA<sup>1</sup>

		Polaris
GENERAL DATA PUMPS AND MOTORS		
<b>Q</b>	US gpm (l/min)	Flow
<b>M</b>	lbf in (Nm)	Torque
<b>P</b>	HP (kW)	Power
<b>V</b>	in <sup>3</sup> /rev (cm <sup>3</sup> /rev)	Displacement
<b>n</b>	min <sup>-1</sup>	Speed
<b>Δp</b>	psi (bar)	Pressure
<b>Replaces: 01/10.03</b>		
<b>Efficiencies</b>		
		Pumps    Motor
$\eta_v = \eta_v(V, \Delta p, n)$	Volumetric efficiency	(≈ 0,97)    (≈ 0,96)
$\eta_{hm} = \eta_{hm}(V, \Delta p, n)$	Hydro-mechanical efficiency	(≈ 0,88)    (≈ 0,85)
$\eta_t = \eta_v \cdot \eta_{hm}$	Overall efficiency	(≈ 0,85)    (≈ 0,82)

<sup>1</sup> <https://www.casappa.com/c/downloads/download/71/>

Tabla 3.6. Catálogo de bombas y motores. Fuente: CASAPPA<sup>2</sup>

CASAPPA FLUID POWER DESIGN		Polaris					
GENERAL DATA PUMPS AND MOTORS							
Series	Pump type PLP Motor type PLM	Displacement in <sup>3</sup> /rev (cm <sup>3</sup> /rev)	Max. pressure			Max. speed min <sup>-1</sup>	Min. speed
			P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>		
			psi (bar)				
POLARIS 10	PL. 10•1	0.07 (1,07)	3770 (260)	4060 (280)	4205 (290)	4000	650
	PL. 10•1,5	0.10 (1,6)	3770 (260)	4060 (280)	4205 (290)	4000	650
	PL. 10•2	0.13 (2,13)	3770 (260)	4060 (280)	4205 (290)	4000	650
	PL. 10•2,5	0.16 (2,67)	3770 (260)	4060 (280)	4205 (290)	4000	650
	PL. 10•3,15	0.20 (3,34)	3770 (260)	4060 (280)	4205 (290)	4000	650
	PL. 10•4	0.26 (4,27)	3625 (250)	3915 (270)	4060 (280)	4000	650
	PL. 10•5	0.33 (5,34)	3625 (250)	3915 (270)	4060 (280)	4000	650
	PL. 10•5,8	0.38 (6,20)	3335 (230)	3625 (250)	3770 (260)	3500	650
	PL. 10•6,3	0.41 (6,67)	3335 (230)	3625 (250)	3770 (260)	3500	650
	PL. 10•8	0.52 (8,51)	2610 (180)	2900 (200)	3045 (210)	3500	650
	PL. 10•10	0.65 (10,67)	2030 (140)	2320 (160)	2465 (170)	3500	650

### 3.1.3. Motor

En este capítulo se hizo mención de que la fuerza total a izar por el cilindro hidráulico es 346.98N, correspondiente al peso total de las cargas de acero. Se procederá a hallar la presión real para luego calcular la potencia de la bomba.

Se tiene:

$$P(\text{real}) = F/A_{\text{anular\_normalizada}} \dots \dots \dots (3.12)$$

De acuerdo a la tabla 3.2, el área anular del cilindro es 10.56 cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, de la ecuación 3.12, se obtiene que la presión real  $P(\text{real})$  de 32.86 N/cm<sup>2</sup> o 3.29 bares que se necesitarían para elevar las cargas utilizando el cilindro seleccionado.

Por otro lado, se debe tener en cuenta la presión de trabajo total. Normalmente, dicha presión de trabajo para un sistema hidráulico no debe ser menor a los 30 bares [Loli, 2012].

En consecuencia, se realizarán los cálculos considerando una potencia máxima de 30 bares para el sistema debido a que se considera suficiente por no ser complejo como se ha podido observar en el transcurso del desarrollo de esta tesis.

El siguiente paso es determinar la potencia. Se tiene la ecuación 3.13:

<sup>2</sup> <https://www.casappa.com/c/downloads/download/71/>

$$P = P(\text{real}) * Q = P(\text{real}) * Vb * n / (600 * \eta_t) \dots \dots \dots (3.13)$$

Donde  $\eta_t$  es la eficiencia de la bomba=0.85 (Tabla 3.5).

Reemplazando en la ecuación anterior:

$$P = \frac{30(\text{bar}) * 9.17 \left( \frac{\text{cm}^2}{\text{rev}} \right) * 1750 \text{RPM}}{600 * 0.85}$$

$$P = 0.94 \text{ kW} = 1.26 \text{ HP}$$

Por lo tanto, se seleccionará un motor asíncrono tipo jaula de ardilla de la marca WEG de 1.5 Hp y 220V.

### 3.1.4. Tanque

El tanque debe contener la cantidad mínima de aceite para evitar que al ser depositado en este haya tiempo suficiente para que el calor que absorbe se disipe durante el ciclo de trabajo. Ello a fin de evitar variaciones en la viscosidad [Campodónico, 2018]

Se tomará como referencia la norma JIC. En ella se incluyen algunos elementos que permitirán al tanque realizar correctamente su función; los cuales son los siguientes:

- a. Medidor de nivel de aceite
- b. Respiradero, el cual permite introducir aceite y a la vez evitar presiones negativas en el instante de la succión que realiza la bomba.
- c. Tapa para cubierta y acceso para mantenimiento
- d. Bafle con agujeros para una mejor transferencia de calor.
- e. Tapa de drenaje para la expulsión del aceite de ser necesario

La figura 3.2 muestra el esquema de un tanque hidráulico.

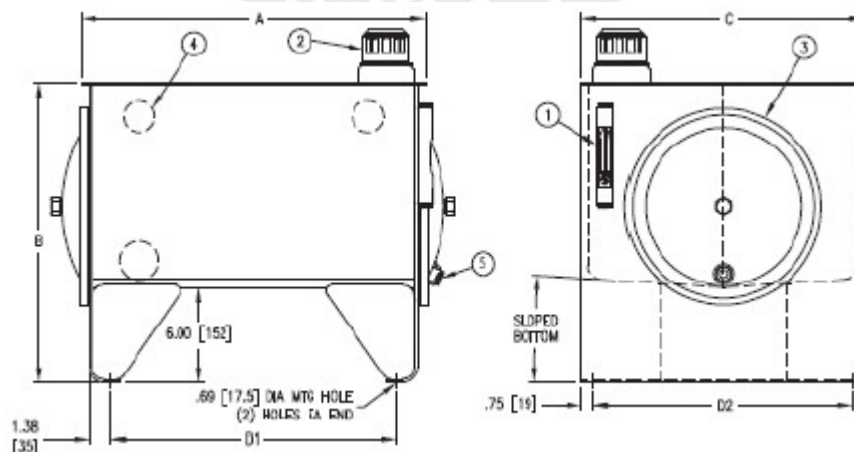


Figura 3.2. Esquema de tanque de acuerdo a la norma JIC.

El volumen del tanque de aceite se obtiene con la siguiente ecuación 3.14:

$$V_{tanque} = Q_{bomba} * K_t \dots \dots \dots (3.14)$$

Donde  $K_t$  puede tener un valor de entre 3 a 5.

Debido a que solo acciona un solo componente, se tomará el menor valor dentro del rango.

$$V_{tanque} = 15084 * 3 = 45252 \text{ cm}^3 = 11.95 \text{ gal}$$

Se selecciona el tanque utilizando la tabla 3.7 se muestran las dimensiones de los tanques según la norma JIC.

Tabla 3.7. Dimensiones de los tanques de aceite según la norma JIC.

Tank Dimensions (inches)										
Capacity (gal)	Part No.	A Length	B Height	C Width	Mounting Centers		Access Cover	Material Thickness		Piece Weight (lb)
					D1 ± .12	D2 ± .12		End	Top	
10	V37510	24.00	18.00	16.00	20.25	14.50	12.00	11 Ga	7 Ga	80
20	V37520	32.00	18.00	21.00	28.25	19.50	12.00	11 Ga	7 Ga	130
60	V37560	38.00	25.00	25.00	34.25	23.50	14.00	7 Ga	.25	236
80	V37580	47.00	26.88	30.00	43.25	28.50	14.00	7 Ga	.25	337
100	V375100	47.00	29.00	30.00	43.25	28.50	14.00	7 Ga	.25	355
120	V375120	60.00	27.00	30.00	56.25	28.50	14.00	7 Ga	.38	450
150	V375150	59.62	31.19	30.00	55.88	28.50	14.00	7 Ga	.38	496
200	V375200	72.00	29.00	36.00	68.00	34.50	18.00	.25	.38	769
250	V375250	72.00	35.00	36.00	68.00	34.50	18.00	.25	.38	900
300	V375300	82.00	29.00	48.00	77.00	45.00	18.00	.25	.50	1306
400*	V375400	96.00	23.75	72.00	92.25	70.50	18.00	.38	.50	2066

Se adjunta la ficha técnica del tanque según la norma JIC en el Anexo D.

### 3.1.5. Válvula limitadora de presión

La válvula limitadora de presión es la encargada de proteger el sistema hidráulico ante sobrepresiones que se pueden producir durante la manipulación de la máquina. Se establecerá una presión de trabajo para la válvula de 30 bares, ya que si la presión es mayor aumentaría el torque necesario por la bomba para el desplazamiento del fluido; esto generaría problemas en dicha bomba hidráulica.

La válvula de presión permanecerá cerrada cuando la presión de trabajo sea menor a la establecida; no obstante, se abrirá automáticamente cuando la presión supere dicho valor descargando así el fluido hacia el tanque y manteniendo la presión al valor establecido.

Por lo tanto, se seleccionó una válvula limitadora de presión modelo RDBA (figura 3.3) de la marca Sunhydraulics. Esta puede soportar hasta 350 bares y un caudal de 45 L/min. Se adjunta su ficha técnica en el Anexo E.

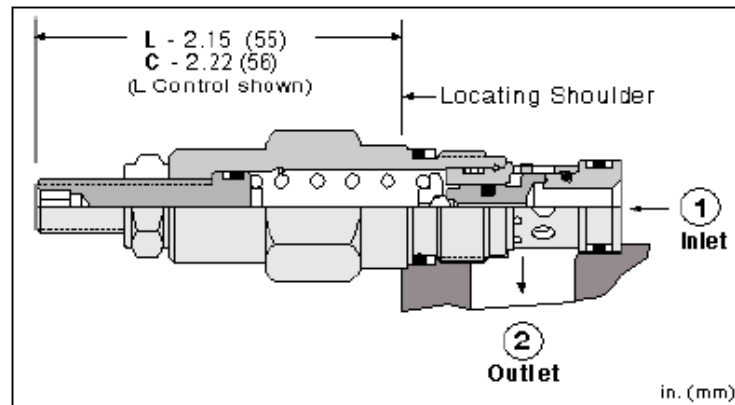


Figura 3.3. Válvula limitadora de presión modelo RDBA de la marca Sunhydraulics.

### 3.1.6. Válvula solenoide de distribución 4/3

Se seleccionará una válvula 4/3, es decir de cuatro vías y tres posiciones a fin de permitir el movimiento con el paso del fluido en dos sentidos del cilindro, avance y retroceso.

Además, se seleccionó la configuración T, es decir que, en la posición medio, la válvula descargará el fluido hacia el tanque directamente si activar la válvula de alivio. Esto sucederá cuando se logre el recorrido deseado del vástago.

El manejo de esta válvula se realizará mediante solenoides controlados por un computador. Ver figura 3.4.

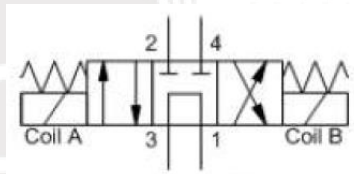


Figura 3.4. Esquema de válvula 4/3

Se selecciona una válvula 4/3 de la marca Sunhydraulics y modelo DNDC (figura 3.5)

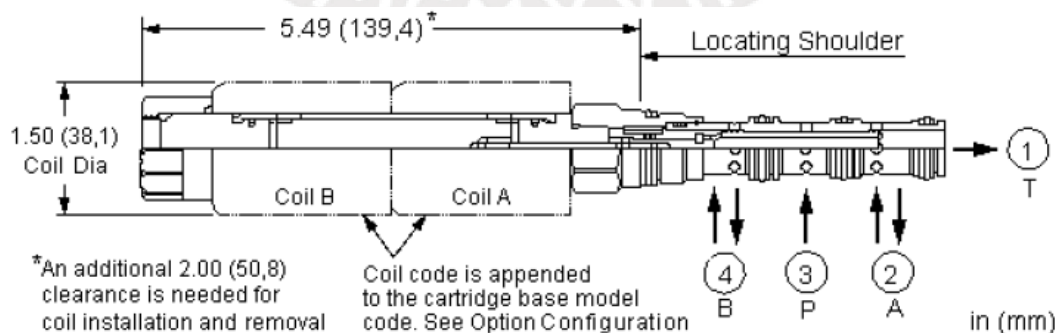
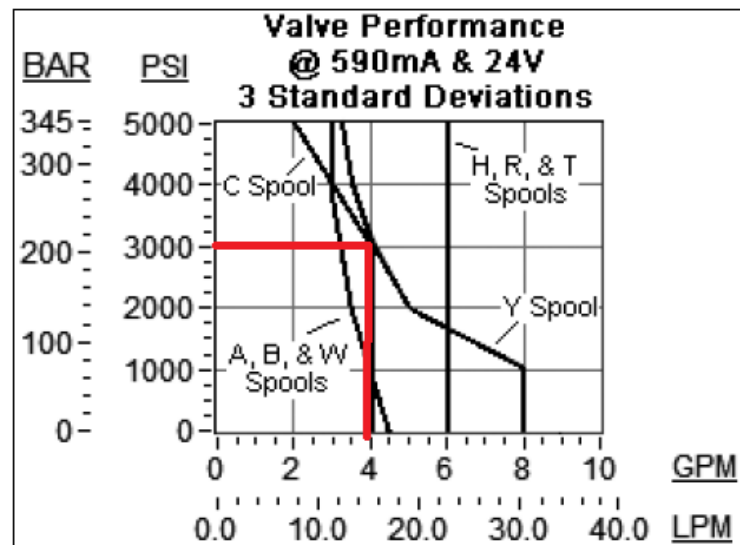


Figura 3.5. Válvula 4/3 modelo DNDC de la marca Sunhydraulics

El caudal máximo requerido es 15084 cm<sup>3</sup>/min o 15.08L/min; a este le corresponde una presión de 200 bares aproximadamente (tabla 3.8). Al ser esta presión mayor a la presión de

trabajo (30 bares), se concluye que la válvula satisface las condiciones de operación de la bomba.

Tabla 3.8. Curva de rendimiento de la válvula DNDC de la marca Sunhydraulics



Las características técnicas de la válvula 4/3 seleccionada se muestran en anexo F.

### 3.1.7. Filtros

La función principal de los filtros es reducir el nivel de contaminación que se genera en el aceite; ya que podrían generarse daños en los equipos del sistema.

Por lo tanto, el sistema hidráulico contará con un filtro de llenado, un filtro de retorno y un filtro de succión. El caudal requerido es 15.08 L/min. Este valor se utilizará para dimensionar los filtros que serán de la marca Ikron.

Inicialmente, se seleccionará el filtro de retorno.

En la tabla 3.9 se muestran los grados de filtración. En este proyecto puntual se hace uso de un motor de uso continuo y una bomba de engranajes, la presión de diseño del sistema es de 30 bares. En consecuencia, se obtiene un grado de filtración 21/19/16, esta denominación quiere decir que admite 21 partículas de  $4 \mu m$ , 19 partículas de  $6 \mu m$  y 21 partículas de  $16 \mu m$  por cada mililitro del fluido.

Tabla 3.9. Grado de filtración Icron

SELECTION OF DEGREE OF FILTRATION					
COMPONENT	USE	PRESSURE LEVEL (bar)	NAS 1638	ISO 4406:1999	DEGREE OF FILTRATION IKRON
GEAR PUMPS AND MOTORS	OCCASIONAL	X<140	11	22/20/17	RP/SP025 - FB060
		140<X<210	10	21/19/16	RP/SP010 - FG025
		X>210	10	21/19/16	RP/SP010 - FG025
	CONTINUOUS	X<140	10	21/19/16	RP/SP010 - FG025
		140<X<210	9	20/18/15	FG010
		X>210	8	19/17/14	FG010
FIXED AND VARIABLE DISPLACEMENT PISTON PUMPS AND MOTORS	OCCASIONAL	X<140	9	20/18/15	RP/SP010 - FG025
		140<X<210	9	20/18/15	RP/SP010 - FG025
		X>210	8	19/17/14	FG010
	CONTINUOUS	X<140	8	19/17/14	FG010
		140<X<210	8	19/17/14	FG010
		X>210	7	18/16/13	FG006 - FG010

El filtro seleccionado es uno con grado de filtración FG025, el cual indica un grado de filtración de  $25 \mu m$ . El modelo será HF 547 (tabla 3.10), ya que cuenta con un caudal máximo de 200 L/min de la línea de filtros de retorno de la marca Icron. Por lo tanto, se seleccionó el filtro HF 547-10.095, debido a que puede soportar un caudal de 20 L/min. Se adjunta el Anexo G.1 en el cual se detallan las características del filtro de retorno seleccionado.

Tabla 3.10. Filtro de retorno modelo HF 547

MICRO-FIBRE GLASS FLOWS							
Filter type	Ports			Degree of filtration			
				FG003	FG006	FG010	FG025
	Flow				Flow		
$\Delta p = 5.8 \text{ psi (0.4 bar)}$ ("AS" version values)				$\Delta p = 5.8 \text{ psi (0.4 bar)}$ ("AS" version values)			
GAS (BSPP)		NPT		SAE J514b		US gpm (l/min)	
	G 3/8	3/8 NPT	9/16-18 UNF-2B	4.0 (15)	4.0 (15)	5.3 (20)	5.3 (20)
HF 547-10.095	G 1/2	1/2 NPT	3/4-16 UNF-2B	5.3 (20)	5.3 (20)	6.6 (25)	7.9 (30)
	G 3/4	3/4 NPT	1 1/16-12 UNF-2B	6.6 (25)	6.6 (25)	7.9 (30)	10.6 (40)

Luego, se seleccionará el filtro de succión modelo HF410 y se definirá un grado de filtración de  $90 \mu m$  y mallas de acero como medio de filtro.

En la tabla 3.11 se muestra el filtro modelo HF410; por lo tanto, se selecciona el filtro HF410-10.060, ya que puede soportar hasta 15L/min. Las características técnicas del filtro de succión se adjuntan en el Anexo G.2.

Tabla 3.11. Filtro de succión HF410

NOMINAL FLOWS						
		Degree of filtration				
		MI025	MI060	MS090	MI125	MI250
Filter type	Ports GAS (BSPP)	Nominal Flow (*"AS" version values)				
		US gpm (l/min)				
HF 410-10.060	G 3/8	1.3 (5)	2.6 (10)	4.0 (15)	4.0 (15)	4.0 (15)
	G 1/2	4.0 (15)	5.3 (20)	6.6 (25)	6.6 (25)	6.6 (25)
HF 410-20.077	G 1/2	4.0 (15)	5.3 (20)	6.6 (25)	6.6 (25)	6.6 (25)
	G 3/4	5.3 (20)	6.6 (25)	7.9 (30)	7.9 (30)	7.9 (30)
	G 1	6.6 (25)	7.9 (30)	10.6 (40)	10.6 (40)	10.6 (40)
	G 1 1/4	7.9 (30)	11.9 (45)	14.5 (55)	14.5 (55)	14.5 (55)

Finalmente, se procede a seleccionar el filtro de llenado HB50, debido a que incluye un accesorio contra salpicaduras durante el llenado. De acuerdo a la tabla 3.12, se seleccionó el filtro HB50-A-05-E-1. Sus dimensiones se pueden observar en el Anexo G.3.

Tabla 3.12. Filtro de llenado HB50

HOW TO ORDER AN HB 50 FILLER CAP								
1	2	3	4	5				
HB 50	-	A	-	05	-	G	-	1
<b>1 Cap</b>	<b>CODE</b>						<b>4 Cap options</b>	<b>CODE</b>
Filler cap	HB 50						Without	E
<b>2 Air breather</b>	<b>CODE</b>						Basket	G
Without	0						Level dipstick 7.8740 in (200 mm) long	M
With air breather and 10 [µm] filter	A						Level dipstick 15.7480 in (400 mm) long	N
With air breather and 40 [µm] filter	B						Level dipstick 23.6220 in (600 mm) long	P
							Custom level dipsticks with different heights are available on request.	
<b>3 Fixing</b>	<b>CODE</b>						<b>5 Options</b>	<b>CODE</b>
Flange with screws	05						Without	1
Flange to be welded	10						Internal chainlet	2
1/4" GAS male thread	GB							

### 3.1.8. Mangueras hidráulicas

Estos accesorios son los encargados de conectar a los componentes hidráulicos y además de transportar el fluido a cada uno de estos.

En la actualidad, existen diversos tipos de mangueras, mangueras de presión, mangueras de succión y mangueras de retorno. En la Tabla 3.13 se muestran los rangos de velocidades para cada tipo de manguera, así como también la velocidad que se seleccionará para ese proyecto.



Tabla 3.13. Rangos de velocidades para mangueras hidráulicas y velocidades seleccionadas

Tipo de manguera	Rango de velocidades (ft/s)	Rango de velocidades (ft/s)
Presión	2.0 - 4.0	3.0
Succión	5.0 - 10.0	7.5
Retorno	10.0 - 20.0	15.0

Se procede a determinar el diámetro de la manguera, el cual se obtiene utilizando el monograma mostrado en la Figura 3.6. En la columna izquierda se encuentra el caudal con el que trabajará la bomba y el de la derecha corresponde a la velocidad del fluido. Se traza una línea de una columna hacia la otra teniendo en cuenta los datos seleccionados, el punto de la intersección de la línea con la columna del medio definirá el diámetro de la manguera.

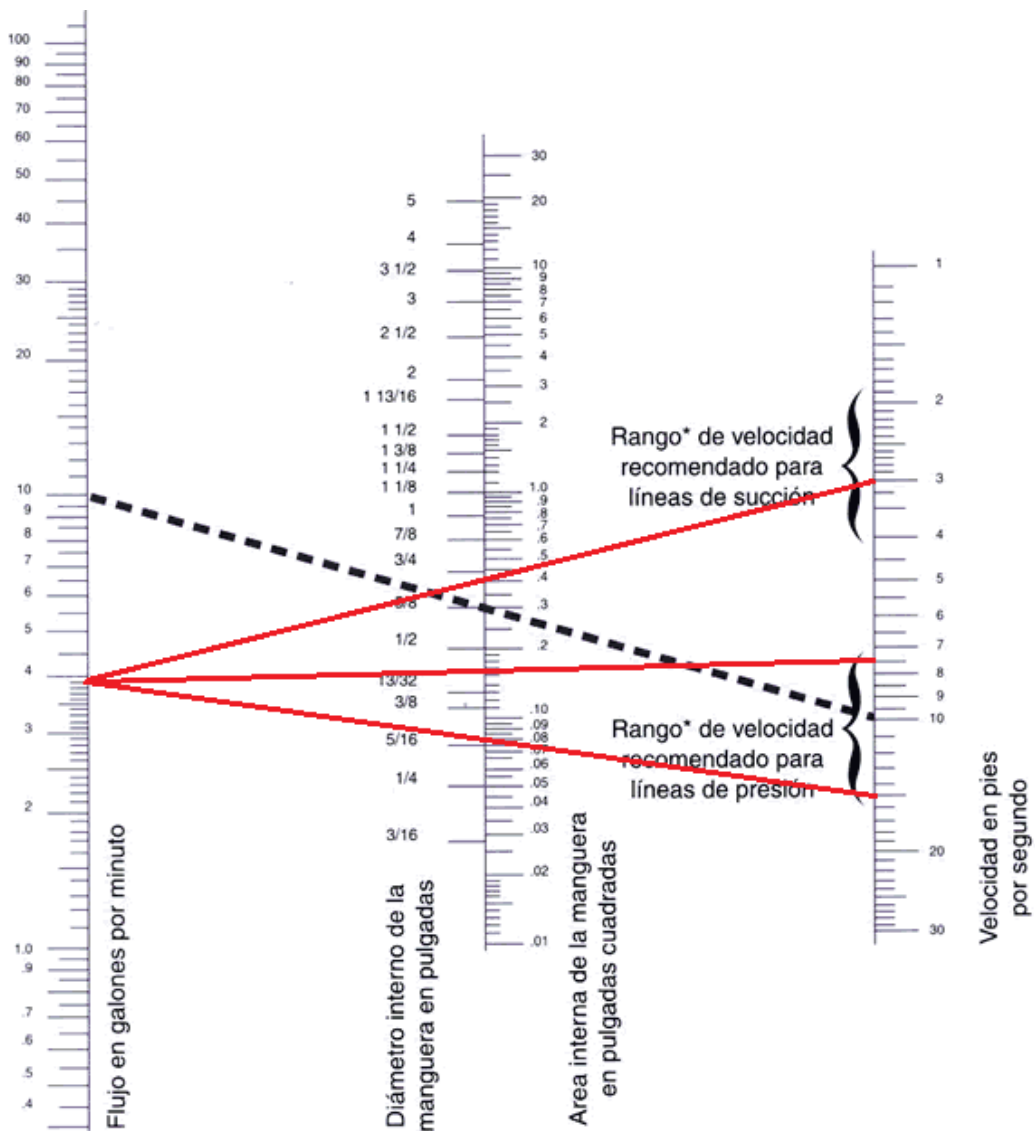


Figura 3.6. Cálculo del diámetro de las mangueras.

Teniendo como referencia un caudal máximo de 15 L/min o 3.96 gpm se procede a trazar las líneas de acuerdo a la tabla 3.14, obteniéndose los resultados en la figura 3.5 y los diámetros de las mangueras en la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Mangueras seleccionadas

Tipo de manguera	Rango de velocidades (ft/s)	Diámetro (pulg)
Succión	3.0	3/4
Retorno	7.5	1/2
Presión	15.0	3/8

### 3.2. Sensores

Se seleccionarán dos tipos de sensores. Uno de recorrido, para medir la distancia recorrida por el pistón del cilindro hidráulico ubicado en la pared de trabajo y dos de temperatura instalados en el tanque hidráulico.

#### 3.2.1. Sensor de recorrido

Como se pudo observar en el estado de arte, se cuenta con diferentes opciones para medir la distancia.

El sensor infrarrojo es muy utilizado en la industria en aplicaciones de distancias cortas. Su haz va en línea reta, lo cual lo hace su precisión sea de 1mm apropiadamente.

Por otro lado, el sensor ultrasonido cuenta con un ángulo de apertura de 15° y una precisión de 3mm.

En el desarrollo del proyecto la distancia más larga a medir será de 200mm. Por lo que se podrían usar cualquiera de los dos sensores.

En cuanto a lo económico, el ultrasonido es más accesible que el infrarrojo. Es por ello que para este proyecto se propone un sensor ultrasonido HC-SR04 (Figura 3.7). El cual está formado por un emisor y un receptor de ultrasonido que opera a una frecuencia de 40kHz.

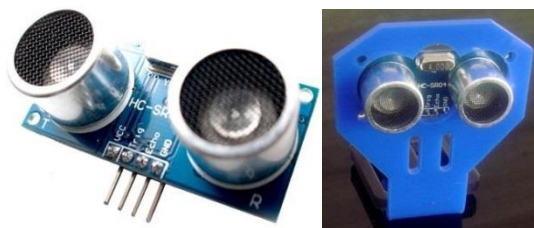


Figura 3.7. Sensor Ultrasónico Hc-sr04.

Este es un sensor de 4 pines, dos de alimentación –VCC (5VDC) y GND- y dos para capturar la distancia –Trig (*Disparo del ultrasonido*) y Echo (*Recepción del ultrasonido*)-.

## Funcionamiento

La medición de distancia con el HC-SR04 se genera mediante un pulso en el pin Trig de un ancho o tiempo de  $10\mu\text{s}$  como mínimo. Al mismo tiempo se monitorea la señal que llega al pin de Echo. La distancia es el resultado de la multiplicación del ancho del pulso y la velocidad del sonido, esto dividido por 2. En el Anexo F se muestran los detalles del funcionamiento.

### 3.2.2. Sensor de temperatura

Previo a la selección del sensor de temperatura, se realizará una comparación entre dichos dispositivos. En la Tabla 3.15 se presentan solo tres tipos de sensores de temperatura.

Tabla 3.15. Tabla comparativa de algunos sensores de temperatura.

Sensor de temperatura	Acondicionamiento de señales requerido	Exactitud	Sensibilidad	Rango de temperatura	Precio	Tiempo de respuesta
Termopares	- Amplificación - Filtrado - Compensación	$< 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	Bueno	entre $-180$ a $1370^{\circ}\text{C}$	1-50\$	fracciones de segundo
RTD	- Amplificación - Filtrado - Excitación de corriente	$\approx 1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$	Muy bueno	entre $-200$ a $500^{\circ}\text{C}$	25-1000\$	2.5-10s
Termistor	- Amplificación - Filtrado - Excitación de voltaje	$\approx 0.5^{\circ}\text{C}$	Excelente	entre $-90$ a $130^{\circ}\text{C}$	2-10\$	0.5-10s

De acuerdo a la tabla 3.15, el termistor sería la mejor opción debido a que cuenta con las mejores características, inclusive por el bajo costo. No obstante, el uso de este pequeño dispositivo no sería el adecuado en un sistema como el que se está desarrollando, debido a que el cabezal podría dañarse al estar en contacto con el aceite hidráulico. Es por ello que es necesario un sensor rígido como el del PT100 (Figura 3.8), que es un tipo de RTD.



Figura 3.8. A la izquierda se tiene un PT100 y a la derecha un transmisor de temperatura.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> <http://www.jararesistencias.com/>

## Instalación

El sistema hidráulico es un sistema cerrado por lo que la temperatura interior se considera promedio en cualquier punto de operación, por lo que los sensores podrían colocarse en puntos de fácil acceso.

En la Figura 3.9, se muestran dos transmisores de temperatura instalados sobre el tanque hidráulico, también se visualiza la bomba y el filtro de respiración.

Se recomienda mantener la temperatura del sistema hidráulico por debajo de los 70°C; esto prolongará la vida del aceite, los sellos, mangueras y los demás componentes.

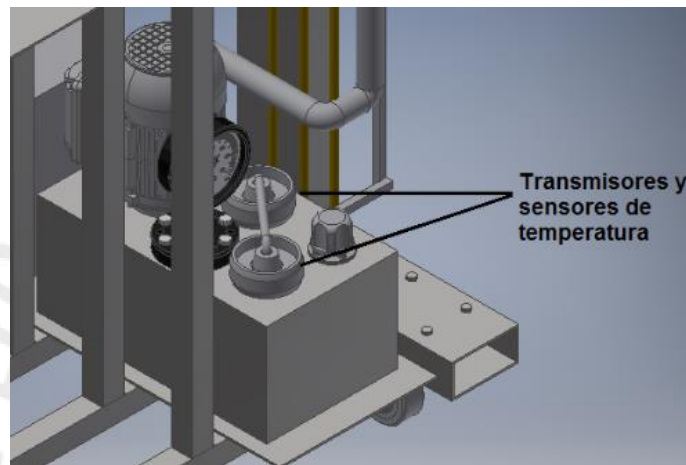


Figura 3.9. Instalación de sensor de temperatura con sus respectivos transmisores en el módulo.

La instalación para ambos sensores de temperatura se puede realizar con bridas de sujeción o con pines de rosca. En este caso se realizará con pines de rosca y empaquetaduras a fin hermetizar dichos puntos, debido a que la simplicidad de la instalación.

## Sobrecalentamiento en los sistemas hidráulicos

Este es resultado de las pérdidas en la potencia suministrada que se transforman en calor. Las pérdidas totales se expresan en la ecuación 3.15.

$$PL_{total} = PL_{bomba} + PL_{valvulas} + PL_{tuberias} + PL_{actuadores} \dots \dots \dots 3.15$$

Si  $PL_{total} >$  Cantidad de calor disipado, entonces habrá sobrecalentamiento.

La capacidad con la que cuenta el sistema hidráulico para disipar el calor deberá ser mayor a la carga de calor generada por él mismo, en este caso pérdidas. Por ejemplo, el suministro de potencia de un sistema es de 10 kW con una eficiencia del 80%, tendrá que ser capaz de disipar como mínimo una carga de calor de 2 kW [Brendan Casey, 2015].

Los problemas de sobrecalentamiento en sistemas hidráulicos se solucionan de dos maneras:

**a) Disminuir las cargas de calor**

Suele ser la mejor alternativa, como resultado se incrementa la eficiencia del sistema hidráulico. El reducir las cargas de calor significa disminuir la caída de presión, esto se puede hacer fácilmente sustituyendo las tuberías actuales por unas de mayor diámetro; en ocasiones el costo por este trabajo es elevado, por ello se puede optar por la instalación de un sistema de enfriamiento en el circuito. [Brendan Casey, 2015]

**b) Incrementar la capacidad de disipación de calor**

Una manera de incrementar la capacidad de un sistema para disipar el calor es el uso de intercambiadores de calor; su principio de funcionamiento es la conducción de calor para hacer el intercambio de temperaturas sin que los fluidos a ser usados entren en contacto; es decir, estos están separados por una pared sólida que evita la mezcla de fluidos [Brendan Casey, 2015].

El flujo que circula por el intercambiador puede ser agua o aire. En el caso del primero, se necesita una pequeña bomba para hacer circular; para el segundo, no se necesitará una bomba y bastará con un ventilador incorporado, según la aplicación.

En la figura 3.10 se muestra el intercambiador de calor a utilizar.



Figura 3.10. Intercambiador de calor marca WHE versión 2024 220 VAC. GRHPower.com<sup>7</sup>

La tabla 3.16 y la figura 3.11 muestran los datos técnicos del intercambiador de calor, así como también la relación de litros por minuto y bares. Esto con el fin de hacer una buena adecuada selección del equipo.

Tabla 3.16. Muestra la relación entre litros por minuto y la presión generada. Fuente: GRH<sup>4</sup>

Product code 产品型号	消耗功率 电压 V	频率 Hz	功率 kW	电流 A	风扇转速 rpm	风扇直径 φFan	噪音 dB(A)	长度 L(mm)	流量 (m <sup>3</sup> /h)	热损失 Kcal/h
WHE 2015 12VDC	12DC	/	0.075	7.2	3050	200	72	175	1050	6000
WHE 2015 24VDC	24DC	/	0.075	3.6	2950	200	73	175	1050	6000
WHE 2015 220VAC	220AC	50	0.070	0.32	2730	225	68	157	750	6000
WHE 2015 230-400VAC	230-400AC	50	0.065	0.25	2800	225	68	157	750	6000

<sup>4</sup> en.grhpower.com/wp-content/uploads/2018/01/dsf.pdf

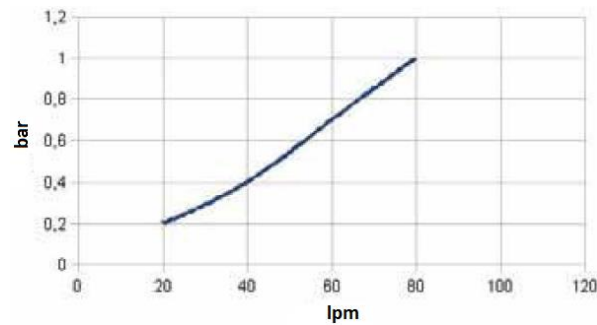


Figura 3.11. Datos relevantes del intercambiador de calor. Fuente GRH<sup>5</sup>

### 3.3 Componentes para la instalación eléctrica

Una vez ya seleccionados el motor y la bomba, se procede al diseño de la instalación eléctrica.

Se calcula la potencia activa mediante la ecuación 3.16:

$$\eta = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\text{Potencia Activa}} = \frac{\text{Pot. motor en HP} * 746}{\text{Potencia Activa}} \dots\dots\dots (3.16)$$

La potencia del motor seleccionado es de 1.5HP y se estima un factor de potencia de 0.85 (tabla 3.5). Con lo cual se obtiene una potencia activa de 1316.5W.

Así mismo, se tiene la siguiente ecuación 3.17 para la potencia activa:

$$\text{Pot. Activa} = Vn * In * \cos\phi \dots\dots\dots (3.17)$$

La alimentación es 220V en alterna. Despejando valores, se obtiene una corriente nominal (In) igual a 7.04 A.

- **Selección del relé térmico:**

El relé térmico se calcula con la ecuación 3.18, en este caso resulta  $I_{\text{Relé}} = 8,1 \text{ A}$ .

$$I_{\text{Relé}} = 1.15 * In \dots\dots\dots (3.18)$$

Según la tabla 3.17 el resultado corresponde a un Relé 7-10A LRD14.

- **Selección de la llave térmica**

La llave térmica se calcula con la ecuación 3.19, en este caso resulta  $I_{\text{Llave}} = 8,1 \text{ A}$ .

$$I_{\text{llave}} = 1.5 * In \dots\dots\dots (3.19)$$

<sup>5</sup> en.grhpower.com/wp-content/uploads/2018/01/dsf.pdf

Según la tabla 3.18 para este valor corresponde una llave termomagnética 10A C60H Bipolar 24986.

- **Selección del contactor:**

El contactor se calcula con la ecuación 3.20, en este caso resulta  $I_{\text{Contactor}} = 9,2 \text{ A}$

$$I_{\text{contactor}} = 1.3 * I_n \dots \dots \dots (3.20)$$

Según la tabla 3.19 de contactores LC1D09 a D150, obtenida de la web de Schneider Electric, el resultado anterior correspondería a un contactor 12A LC1D12.

Tabla 3.17. Relés tripolares de protección térmica compensados y diferenciales. Fuente: Schneider Electric.

Clase de disparo: 10A (1)



LRD05



LRD313

Referencia	Regulación térmica (A)	Para montaje Sobre contactor	Precio USD
<b>Relés térmicos para montaje en contactores Tesys Serie D</b>			
LRD04	0.40 a 0.63	D09 -D38	50,2
LRD05	0.63 a 1	D09 -D38	50,2
LRD06	1 a 1.7	D09 -D38	50,2
LRD07	1.6 a 2.5	D09 -D38	50,2
LRD08	2.5 a 4	D09 -D38	50,2
LRD10	4 a 6	D09 -D38	50,2
LRD12	5.5 a 8	D09 -D38	50,2
LRD14	7 a 10	D09 -D38	50,2
LRD16	9 a 13	D12 -D38	50,2
LRD21	12 a 18	D18 -D38	50,2
LRD22	16 a 24	D25 -D38	50,2
LRD32	23 a 32	D25 -D38	79,04
LRD35	30 a 38	D32 -D38	79,04
<b>Relés térmicos para montaje en contactores Tesys Serie D tipo A Conexión Everlink</b>			
LRD313	9 a 13	D40A -D65A	52,2
LRD318	12 a 18	D40A -D65A	52,2
LRD325	17 a 25	D40A -D65A	95,83
LRD332	23 a 32	D40A -D65A	95,83
LRD340	30 a 40	D40A -D65A	95,83
LRD350	37 a 50	D40A -D65A	112,95
LRD365	48 a 65	D50A -D65A	117,33
<b>Relés térmicos para montaje en contactores Tesys Serie D</b>			

MCMXVII

Tabla 3.18. Interruptores tripolares automáticos.

C60N		C60H		C60L		C120N		C120H		NG125N		NG125H		NG125L	
1	2-3-4	1	2-3-4	1	2-3-4	1	2-3-4	1	2-3-4	1	2-3-4	1	2-3-4	1	2-3-4
0.5-63		0.5-63		0.5-25		32-40		63-125		10-125		10-125		10-80	
500		500		500		500		500		690		690		690	
6		6		6		6		6		8		8		8	
440		440		440		440		440		500		500		500	
■		■		■		■		■		■		■		■	
■		■		■		■		■		■		■		■	
6		10		-		-		10		15		-		-	
20		-		30		-		50		-		70		-	
10		20		15		30		25		50		36		70	
3		10		4		15		6		25		9		36	
3		10		4		15		6		25		9		36	
-		6		-		10		-		20		-		30	
-		-		-		-		-		6		8		6	
75 %		50 %		50 %		50 %		75 %		50 %		75 %		75 %	

Tabla 3.19. Contactores tripolares Serie D. Fuente: Schneider Electric. Contactores LC1D09 a D150.



Referencia TeSys	HP/KW 220/240V	HP/KW 440V	AC3	AC1	Contactos Auxiliares	Precio USD
LC1D09..	3/2.2	5.5/4	9	25	1NA+1NC	33,18
LC1D12..	4/3	7.5/5.5	12	25	1NA+1NC	37,62
LC1D18..	5.5/4	12/9	18	32	1NA+1NC	51,63
LC1D25..	7.5/5.5	15/11	25	40	1NA+1NC	66,93
LC1D32..	10/7.5	20/15	32	50	1NA+1NC	96,64
LC1D38..	12/9	24/18.5	38	50	1NA+1NC	112,44
LC1D40A. (1)	15/11	30/22	40	60	1NA+1NC	119,67
LC1D50A. (1)	20/15	40/30	50	80	1NA+1NC	146,03
LC1D65A. (1)	25/18.5	50/37	65	80	1NA+1NC	208,58
LC1D80..	30/22	60/45	80	125	1NA+1NC	248,94
LC1D95..	34/25	60/45	95	125	1NA+1NC	315,26
LC1D115..	40/30	79/59	115	200	1NA+1NC	399,54
LC1D150..	54/40	107/80	150	200	1NA+1NC	491,83

### 3.4 Controlador seleccionado

Se seleccionó una tarjeta de Arduino Uno para el desarrollo de este proyecto (figura 3.12) debido a la flexibilidad y compatibilidad con los programas que se trabajó. Cabe señalar que su diseño es de libre distribución.

El microcontrolador que utiliza por lo general es el ATmega328, 5VDC para operación



Figura 3.12. Arduino Uno.



El programa se implementa haciendo uso del entorno de programación propio de Arduino (Figura 3.13) y se podrá transferir empleando un cable USB tipo B; este mismo proporciona la alimentación de la tarjeta.

Es necesario descargarse de la página web el entorno de desarrollo. Se dispone en versión para Windows, MAC y LINUX. La figura 3.11 muestra el aspecto del entorno de programación.



Figura 3.13. Entorno de programación propio de Arduino.

### 3.5 Computadora

La computadora permitirá realizar la programación de la lógica de control del sistema, manipulación de las variables de entrada, así como también la visualización y exhibición de los datos y resultados en la pantalla de la misma.

Esta debe contar con ciertas características mínimas para que los softwares pueden desarrollarse con normalidad. En la siguiente tabla 3.20 se muestran los requerimientos mínimos para los programas más importantes para la máquina.

Tabla 3.20. Requisitos mínimos para la PC

Programa	Procesador (en adelante)	Sistema Operativo	RAM (mínimo)	Disco duro (mínimo)	Tarjeta de Video (mínimo)
Arduino	Pentium IV	Hasta Windows 10	1 GB	0.5 GB	0.5 GB
Matlab	Pentium IV	Hasta Windows 8	1 GB	6 GB	1 GB
Labview	Pentium IV	Hasta Windows 10	1 GB	5 GB	0.5 GB
Office 2013	Pentium IV	Hasta Windows 10	1 GB	4 GB	0.5 GB

Como se puede observar en la tabla anterior, los requisitos mencionados hacen referencia a computadoras modernas accesibles. Por lo tanto, la PC propuesta que acompañará a la máquina en desarrollo para el año 2020 es una Laptop 14" i5 1TB RAM-4GB VIDEO-2GB 3.9GHz máximo. Esta se muestra en la figura 3.14.



Figura 3.14. Laptop 14" i5 1TB RAM-4GB VIDEO-2GB 3.9GHz.

## CAPÍTULO 4

### PROGRAMACIÓN Y CONTROL

Este capítulo permitirá conocer las funciones relacionadas a los sensores, actuadores y al control. Es de suma importancia la recopilación de posición y temperatura. Así mismo, se mostrará la electrónica de los circuitos, la programación y la lógica del control propuesta.

#### 4.1 Descripción del sistema de control

El sistema de control se muestra como secuencial, en otras palabras, se debe controlar que se ejecuten las acciones en el momento indicado y en un orden predefinido. Esto se evidencia en el avance del cilindro hidráulico, el cual es el resultado de la excitación de las bobinas de la válvula ON/OFF mientras que el cilindro llegue a la posición deseada. En la figura 4.1 se representa el sistema de control propuesto.

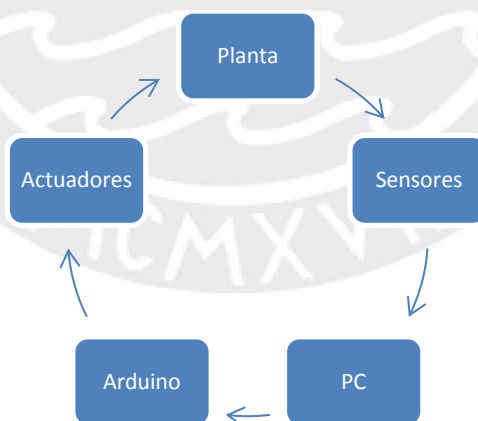


Figura 4.1. Control de recorrido de un cilindro hidráulico

El sistema de control, como se mencionó líneas arriba, es secuencial. El controlador Arduino Uno obedece a la lógica de control desarrollada en el programa Labview en la PC. El uso de aquel controlador permite conectar sensores, así como el acondicionamiento de las señales de los mismos por medio del software Labview. Luego de ello, el controlador enviará las

señales correspondientes al actuador que en este caso es la válvula ON/OFF y con ello el cilindro hidráulico se trasladará hasta la posición asignada.

Cabe mencionar que el Arduino Uno trabaja en un rango de tensiones de 0V a 5V, por lo que el resto de componentes y equipos deberán acondicionarse en este rango para que puedan comunicarse correctamente.

En cuanto al funcionamiento del sistema, se creará un entorno amigable (figura 4.2) que funcionará como interfaz entre el usuario y el sistema para el control de la posición.

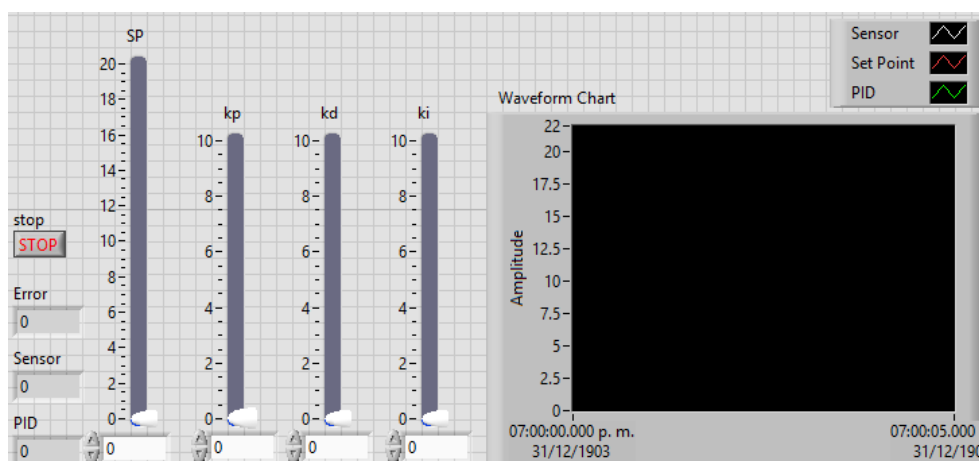


Figura 4.2. Acondicionamiento del Front Panel de LabVIEW para el control de constantes PID del sistema.

En este se ingresará la posición deseada. Dicha señal se enviará al Arduino Uno para contrastarla con la posición actual.

El sensor de ultrasónico envía las señales correspondientes al Arduino Uno con respecto a la posición actual y éste las procesa junto con la lógica de control definida en el programa LabView. Una vez que se termina de ejecutar el programa, el controlador envía señales a las bobinas de la válvula ON/OFF para que el vástago del cilindro hidráulico llegue a la posición indica.

Con respecto a la temperatura, los sensores de temperatura enviarán señales al Arduino Uno. Este, luego de procesar la información, mandará señales para encender o apagar un intercambiador de calor.

A continuación, se mostrarán los diagramas de conexiones y la lógica de propuesta en LabView.

## 4.2 Sensado del recorrido

Se realizará un circuito de control con el fin de controlar la válvula ON/OFF. A continuación, se muestra el circuito controlador del sistema (figura 4.3):

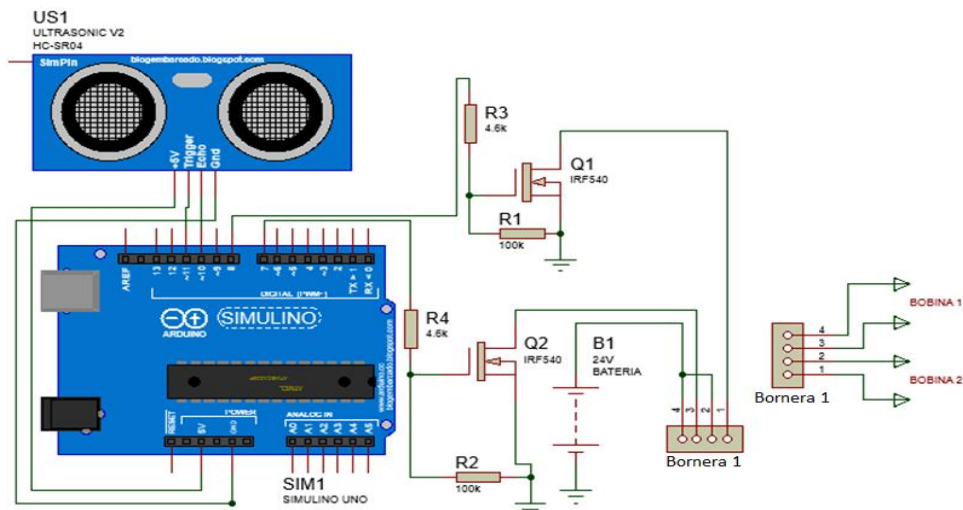


Figura 4.3. Diseño del circuito regulador de voltaje necesario para el control de la válvula de flujo.

Las salidas 1 y 2 de la bornera 1, irán conectadas a una de las bobinas y las salidas 3 y 4, se conectan con la restante tal y como se muestra en la programación de la figura 4.4.

Con respecto a la programación, primero se declaran y definen los pines de Arduino a usar para conectarlo al sensor ultrasónico HC-SR04. En este caso se harán uso de los pines 10 y 11; estos se observan en la figura 4.4. Las salidas se conectarán a las correspondientes bobinas de la válvula hidráulica a usar.

El pin 11 de Arduino irá conectado al pin Trig del sensor ultrasónico y el pin 10 de Arduino al pin Echo del sensor ultrasónico tal como se muestra en la figura 4.4.

Por otro lado, se ingresa el valor numérico de 100 a una función promedio; la cual brindará el valor promedio de las 100 muestras tomadas (figura 4.4).

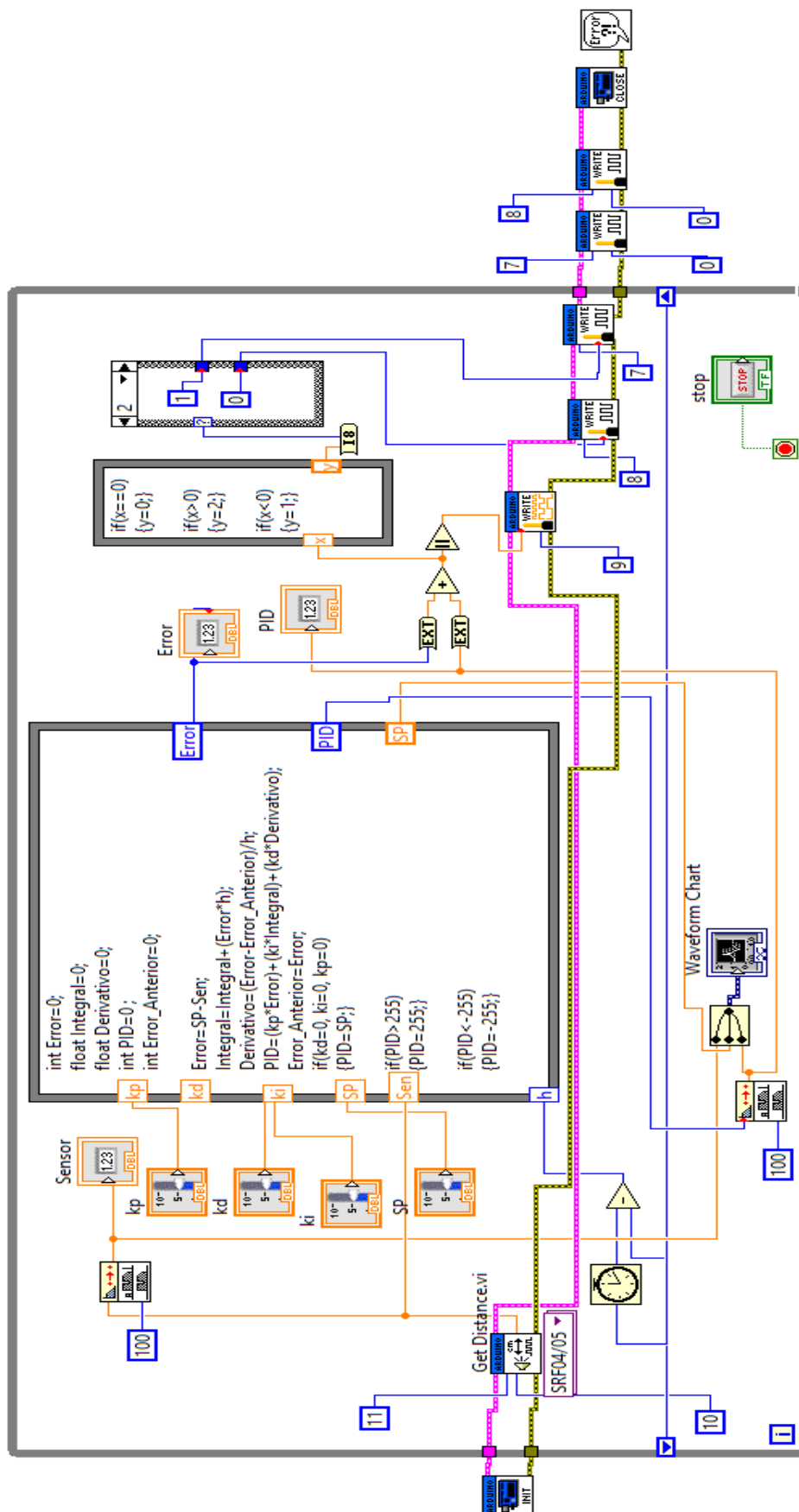


Figura 4.4. Programación en Block Diagram de LabVIEW para el control de constantes PID del sistema utilizando la válvula ON/OFF.

Se desarrolló un algoritmo dentro de la estructura Formula Node (figura 4.5) capaz de variar la constante PID inicialmente designada cero, donde los parámetros de entrada son el Set Point (SP), la lectura del sensor (Sen), el tiempo que toma toda la estructura While Loop y las constantes de control  $k_p$ ,  $k_d$  y  $k_i$ .

Aquella constante puede llegar a tener valores elevados. El rango de valores es de -255V a 0V o 0V a 255V. La salida del voltaje se dará por los pines 7 y 8. Si se obtiene un valor negativo para el PID, entonces este valor actuará en una bobina de la válvula y en caso de ser positivo actuará en la otra bobina evitando conflictos para un mismo tiempo. Se podría considerar el usar una brecha diferencial entre el cambio de estados, aunque las válvulas están preparadas para los cambios de posición bruscos.

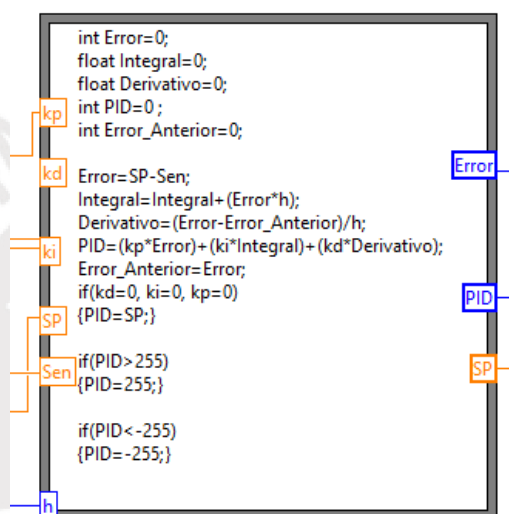


Figura 4.5. Control de la constante PID en estructura Formula Node.

En la figura 4.6 se muestra la lógica de control para una válvula ON/OFF.

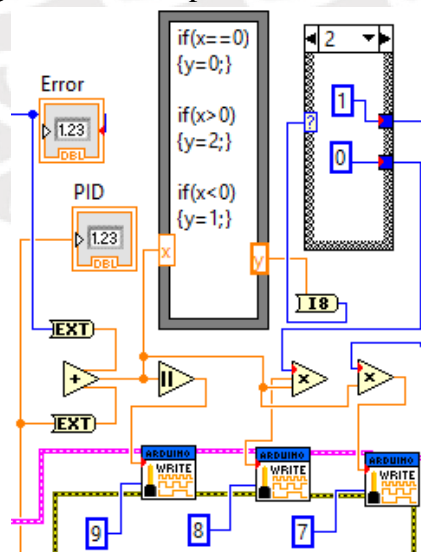


Figura 4.6. Fragmento del control para válvula.

Las salidas por los pines 7 y 8 del Arduino corresponden a valores que van de 0V a 5V. Teniendo en cuenta que se utilizará una válvula ON/OFF, bastará con que el MOSFET se

sature y ello se logra con 5V usando un Digital Write Pin (figura 4.7) que lo único que hace es enviar 0 o 1; en otras palabras, 0V o 5V.

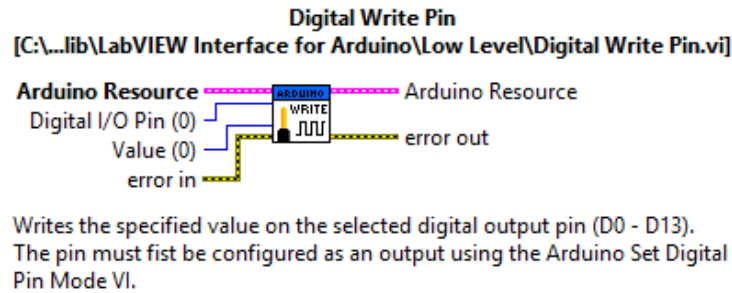


Figura 4.7. Pines de conexión y funcionamiento del Digital Write Pin. Fuente: National Instruments

Se aprecian 3 posibles resultados (figura 4.8). En la primera no se abre ninguna compuerta, en la segunda se abre la compuerta que será alimentada por el pin 8 (en este caso la constante PID es negativa) y en la tercera, por el pin 7 (PID es positivo). La válvula proporcional se abrirá proporcionalmente al voltaje que estos pines reciban.

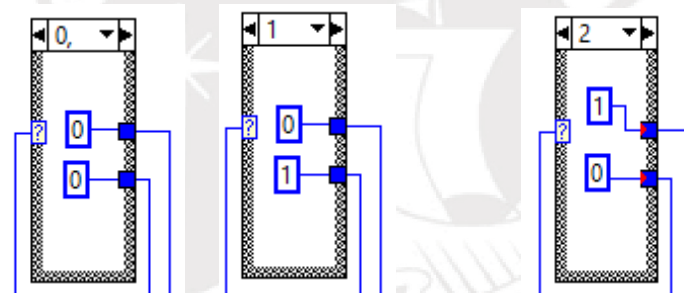


Figura 4.8. Diferentes situaciones para los valores de la constante PID.

### 4.3 Sensado de la temperatura

En el Capítulo 1 se mencionó que la resistencia del sensor de temperatura PT100 varía según una función lineal tomando en cuenta un rango de temperaturas de 0°C a 100°C con valores de resistencia de 100Ω y 141.91Ω.

En este proyecto se trabajará con un transmisor de temperatura capaz de operar hasta con medidas de 150°C.

El objetivo es mantener la temperatura por debajo de los 80°C como lo sugiere FLUIDTEK en la tabla 3.4, pero por encima de los 40°C.

Se tiene que 1V es a 0 °C como 5V es a 150 °C; por lo tanto, se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{V - 1}{5 - 1} = \frac{T - 0}{150 - 0}$$



$$V = \frac{4 \cdot T}{150} + 1 \dots \dots \dots (4.1)$$

Se obtienen valores de voltaje para 40°C y 80°C:

$$V_{40^{\circ}\text{C}} = 2.06\text{V}$$

$$V_{80^{\circ}\text{C}} = 3.13\text{V}$$

Por último, se tiene que el voltaje no debe superar el valor de 3.13V y no debe bajar de 2.06V para que el sistema opere en buenas condiciones.

Cuando el tanque hidráulico llegue a los 80°C se enviará una señal al intercambiador de calor que se mencionó en el Capítulo anterior por medio de la bornera 2 (figura 4.9).

A continuación (figura 4.9) se muestra la programación en Labview para el control de temperatura.

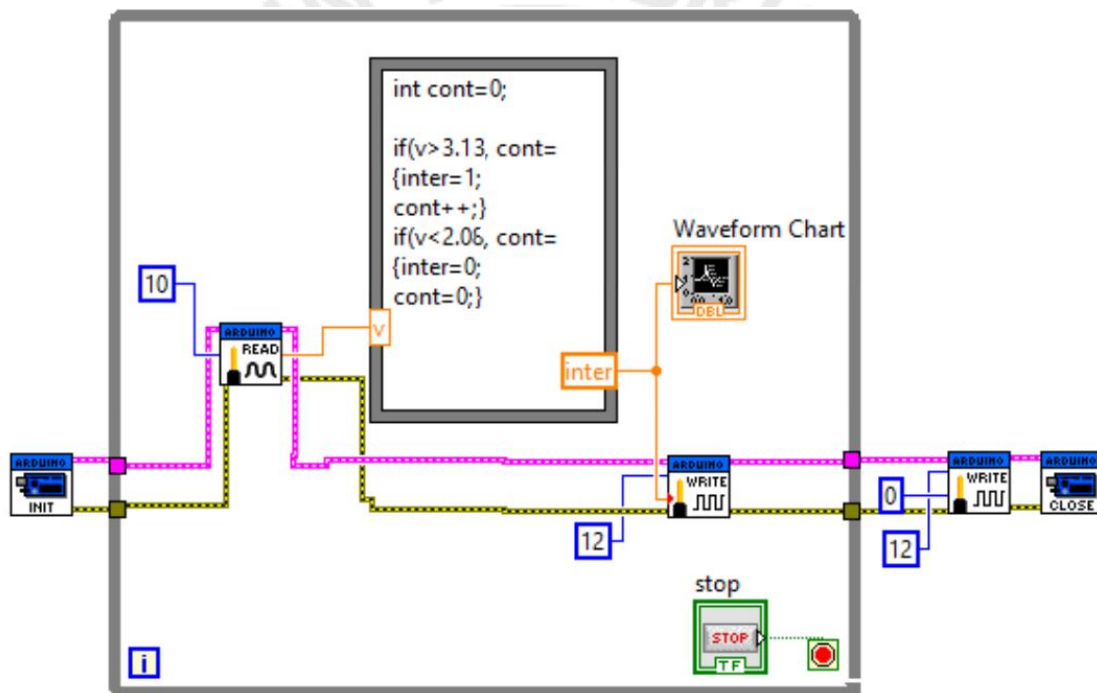


Figura 4.9. Algoritmo controlador para el encendido del intercambiador de calor.

Este proceso resulta sencillo ya que se cuenta con un PT100 de 3 hilos, además de un transductor que ya genera de 4-20mA por el pin 2 situado al lado izquierdo del transductor (figura 4.10). El voltaje generado en la resistencia de 250Ω será de 1V a 5V y este valor será leído por el pin A0 para que así mediante el voltaje ingresado se sepa cuál es la temperatura del tanque.

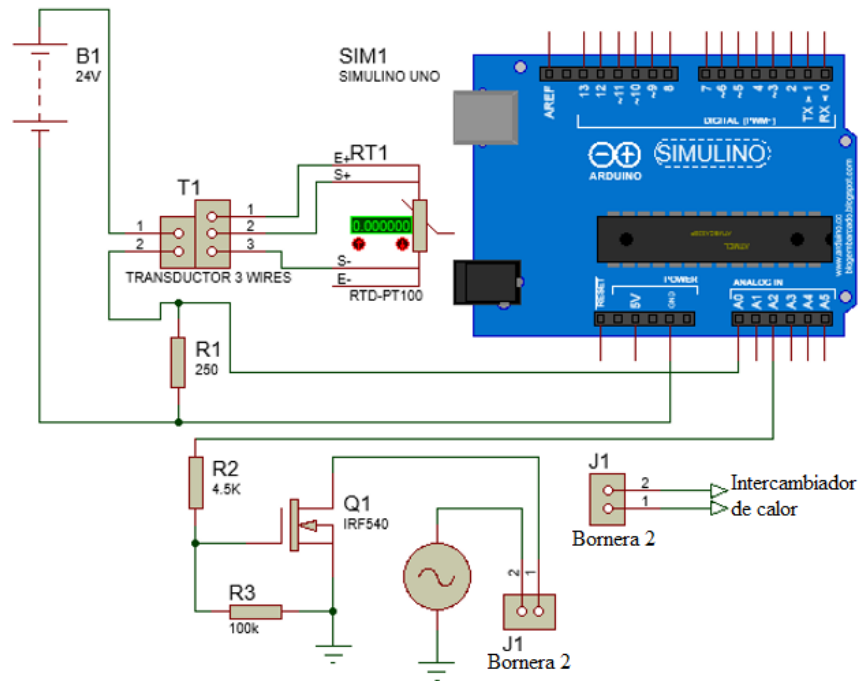


Figura 4.10. Circuito para el control de la temperatura.

#### 4.4 Sistema hidráulico

La figura 4.11 muestra el esquema del sistema hidráulico propuesto. Una vez dejadas las cargas de acero encima del vástago, se acciona la señal Y1 hacia la válvula para que el fluido pase por el cilindro y el vástago; el cual, a su vez, desplazará a las cargas. El retorno de dichas cargas se dará con el accionamiento de la señal Y2 sobre la válvula utilizada. El avance y retroceso de las cargas podrá darse durante cualquier instante de tiempo. Debido a que no se desea reducir la velocidad del sistema, no se utilizarán válvulas reguladoras de caudal. La presión de trabajo del sistema será regulada por una válvula limitadora de presión. En el caso de que dicha presión supere la presión establecida, la válvula de limitadora de presión dirigirá el fluido al tanque evitando la elevación de la presión.

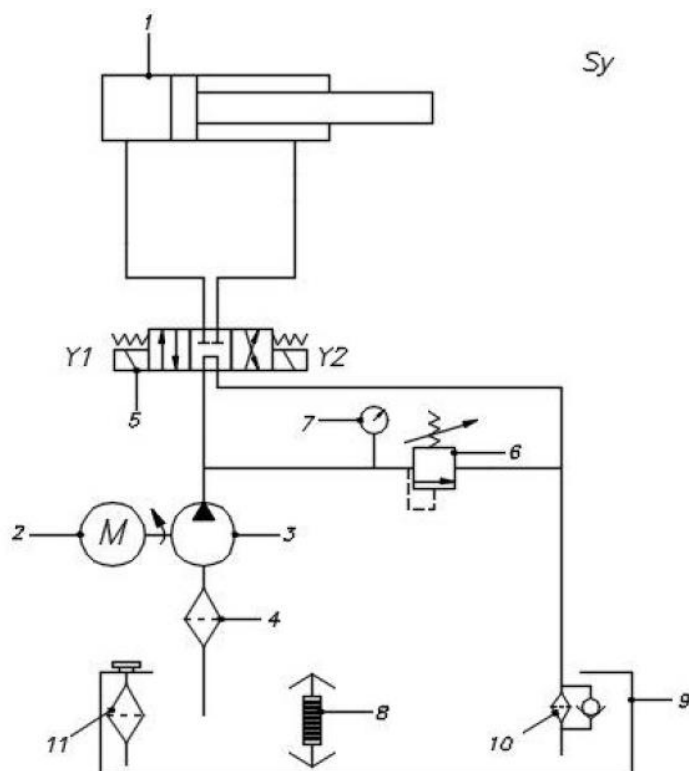


Figura 4.11. Esquema hidráulico del sistema

EL sistema hidráulico (figura 4.11) cuenta con los siguientes componentes:

1. Cilindro hidráulico de doble efecto
2. Motor eléctrico
3. Bomba de engranajes
4. Filtro de succión
5. Válvula solenoide de distribución 4/3
6. Válvula limitadora de presión
7. Manómetro
8. Medidor de nivel de aceite
9. Tanque de aceite
10. Filtro de retorno
11. Filtro de llenado/respiradero

#### 4.5 Sistema eléctrico

La figura 4.12 muestra el diagrama eléctrico del sistema. Este contará con un botón de encendido P1, el cual accionará al contactor KM1 encendiendo así al motor eléctrico. El motor será apagado con el botón P0. El sistema estará a la espera de la señal Sy para desactivar los solenoides Y1 y Y2.

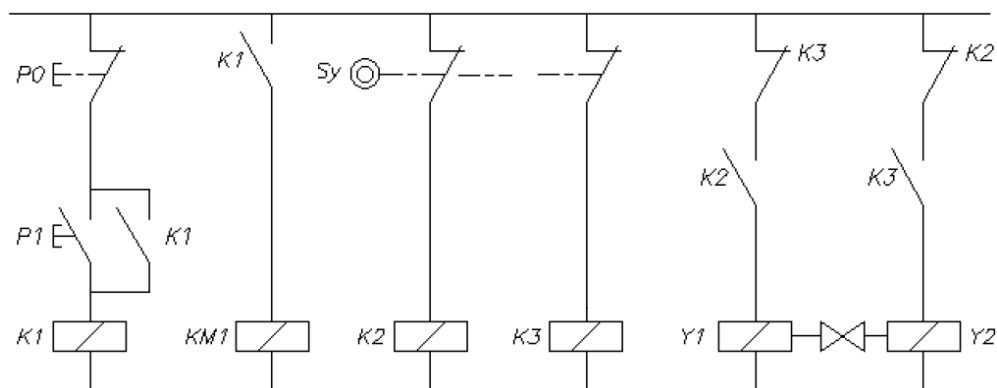


Figura 4.12. Diagrama eléctrico del sistema

#### 4.6 Circuito de potencia

El circuito de potencia (figura 4.13) consiste en un sistema de arranque directo mediante el contacto KM1. Este circuito contará con fusibles, relé térmico y llave térmica para garantizar la seguridad del sistema.

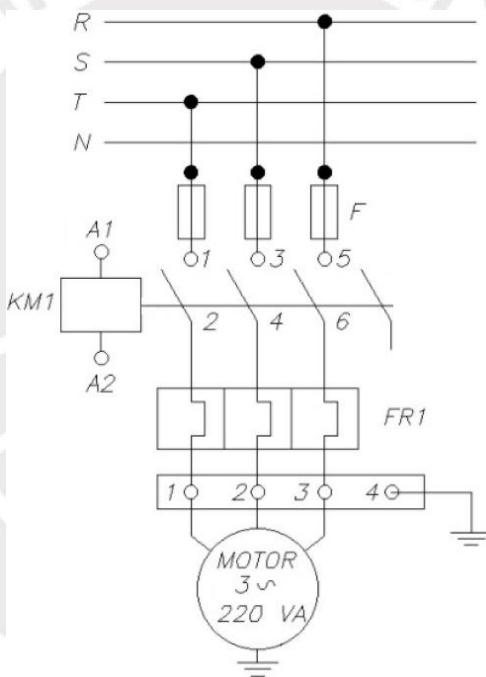


Figura 4.13. Circuito de potencia

## CAPÍTULO 5

### SIMULACIÓN Y RESULTADOS

La interface que se utilizará es Labview-Arduino, como se mencionó en el concepto solución. Los resultados se muestran en Labview.

El objetivo de las simulaciones realizadas es mostrar como las constantes PID podrían afectar a un sistema hidráulico al punto de inestabilizarlo.

La velocidad de salida del vástago toma menos tiempo para el mismo recorrido en retorno (figura 5.1). Esto se debe a que la cámara del lado del vástago es más pequeña, por lo tanto, para el retroceso se tiene que desplazar menos volumen, menos esfuerzo y más veloz. La línea blanca es curva que describe el sensor y por lo tanto el desplazamiento del vástago.

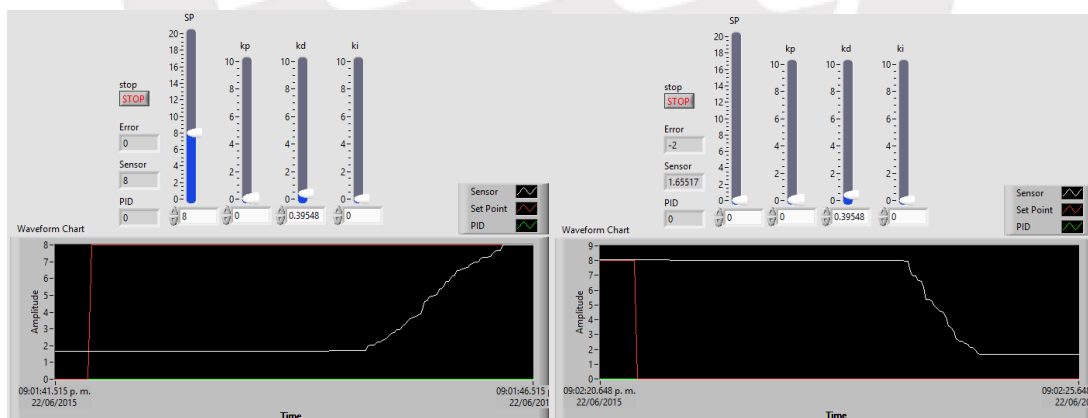


Figura 5.1. De izquierda a derecha, avance y retroceso del vástago del cilindro hidráulico.

A continuación, se realizaron pruebas para diferentes valores de constantes  $K_p$ ,  $K_d$  y  $K_i$ . Para las siguientes pruebas se utilizó una válvula ON/OFF, los resultados obtenidos en el Laboratorio de Oleohidráulica y Neumática en la PUCP se comentarán en cada punto. Para los 3 casos se asignó un recorrido de 5cm y se modificaron los valores de las constantes empezando con 3, luego con 6 y finalmente con 9 durante el control de las constantes  $K_p$  y  $K_d$ ; mientras que para el control de la constante integral, se varió el valor de forma creciente con los valores 0.2, 0.5 y 1.

Los valores asignados mencionados (3, 6 y 9) se escogieron de manera que se pueda obtener un buen resultado a la vista y no aleatoriamente. Estos fueron probados previamente por el desarrollador de esta tesis a fin de poder observar visualizar efectos de estabilidad o inestabilidad en cada uno.

En las siguientes imágenes se mostrarán tres líneas de colores. La de color blanco simboliza la de señal del sensor, la de color rojo hace referencia a la posición deseada y la de color verde a la señal PID.

Cabe mencionar que todas las simulaciones se hicieron en intervalos de cinco segundos. Ello se puede verificar en las figuras 5.2 hasta la 5.5 que se muestran a continuación.

### **Control Kp**

Se observa (figura 5.2) que conforme se va testeando un mayor valor en la constante Kp (empezando por 3, luego 6 y al final 9) el tiempo de estabilización es más largo.

De acuerdo a la teoría del control, al aumentar la variable proporcional Kp trae consigo disminución del error en régimen permanente, aumento de la velocidad de respuesta y aumento de inestabilidad del sistema.

En las pruebas se observó que el sistema, con forme va incrementándose el valor de la variable proporcional, responde con mayor rapidez; el error, que sería la diferencia entre lo que marca el sensor y la posición actual, es menor; así como también al sistema le toma más tiempo estabilizarse.

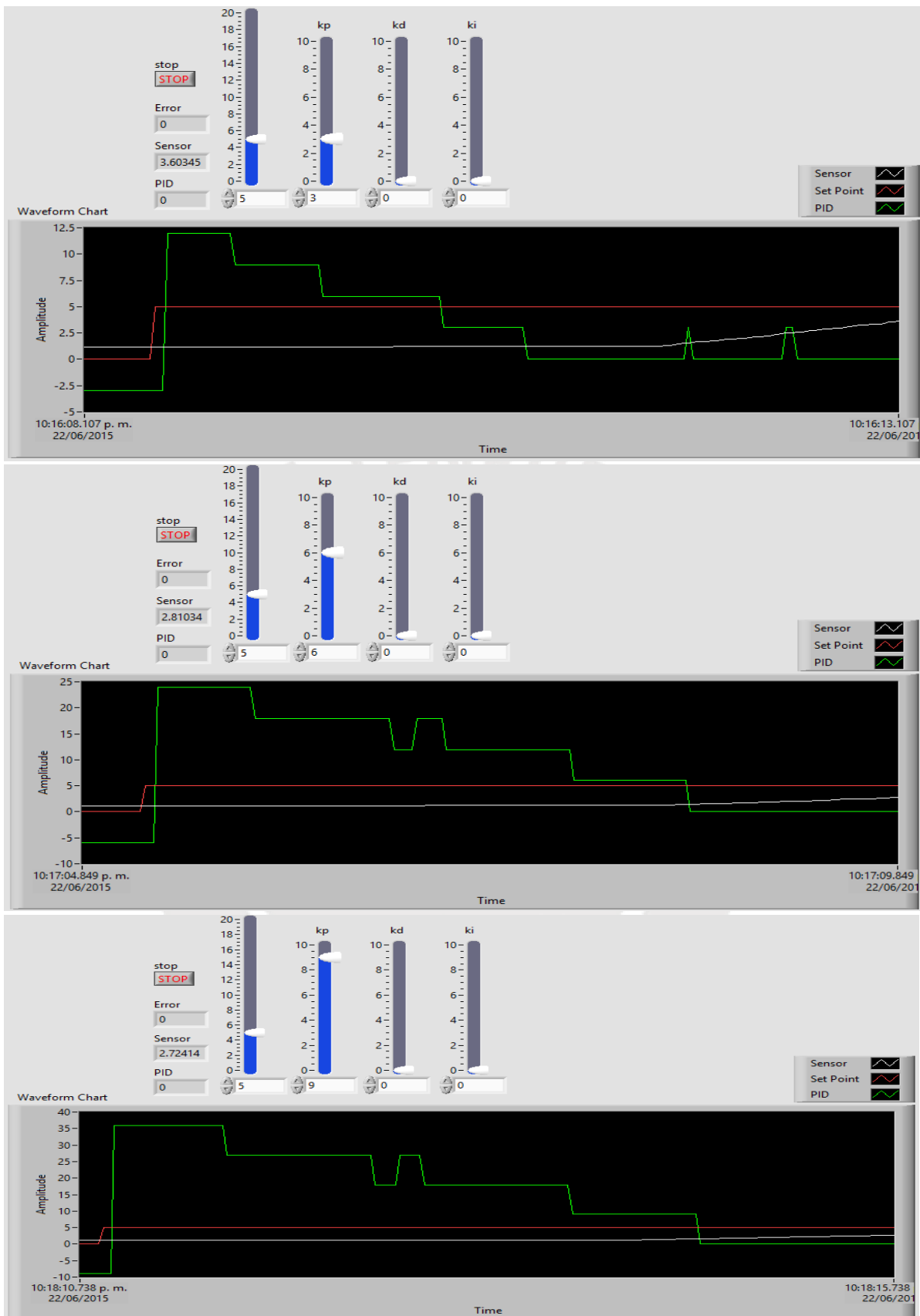


Figura 5.2. De arriba abajo, gráficas para valores de constante Kp de 3, 6 y 9.

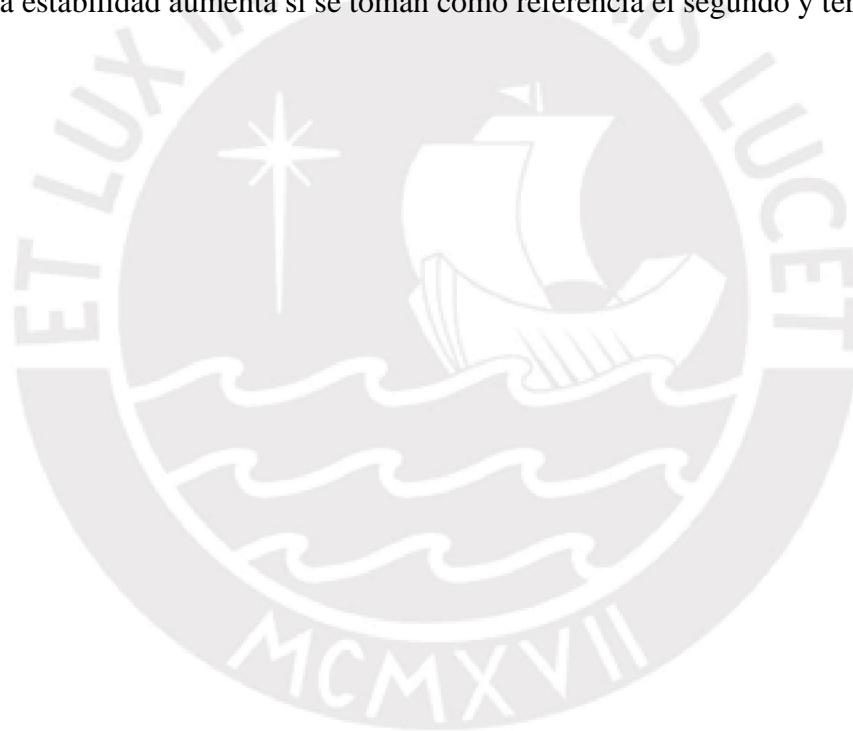
### **Control Kd**

En este caso se observa algo parecido al caso anterior; es decir, a medida que la constante derivativa crece, el tiempo de estabilización es más largo (figura 5.3).

Como se mencionó en el análisis de la variable proporcional  $K_p$ , los tramos de tiempos son de cinco segundos a fin de poder hacer un comparativo con las gráficas.

Haciendo referencia a la teoría del control, al aumentar la variable proporcional  $K_p$  conlleva a que el error sea el mismo, disminuya la velocidad de respuesta y aumento de estabilidad del sistema.

En las pruebas se observó que el sistema, con forme va incrementándose el valor de la variable derivativa, no se ve afectado con respecto a la velocidad de respuesta; el error, que sería la diferencia entre lo que marca el sensor y la posición actual, es finalmente el mismo; se ve que la estabilidad aumenta si se toman como referencia el segundo y tercer gráfico.





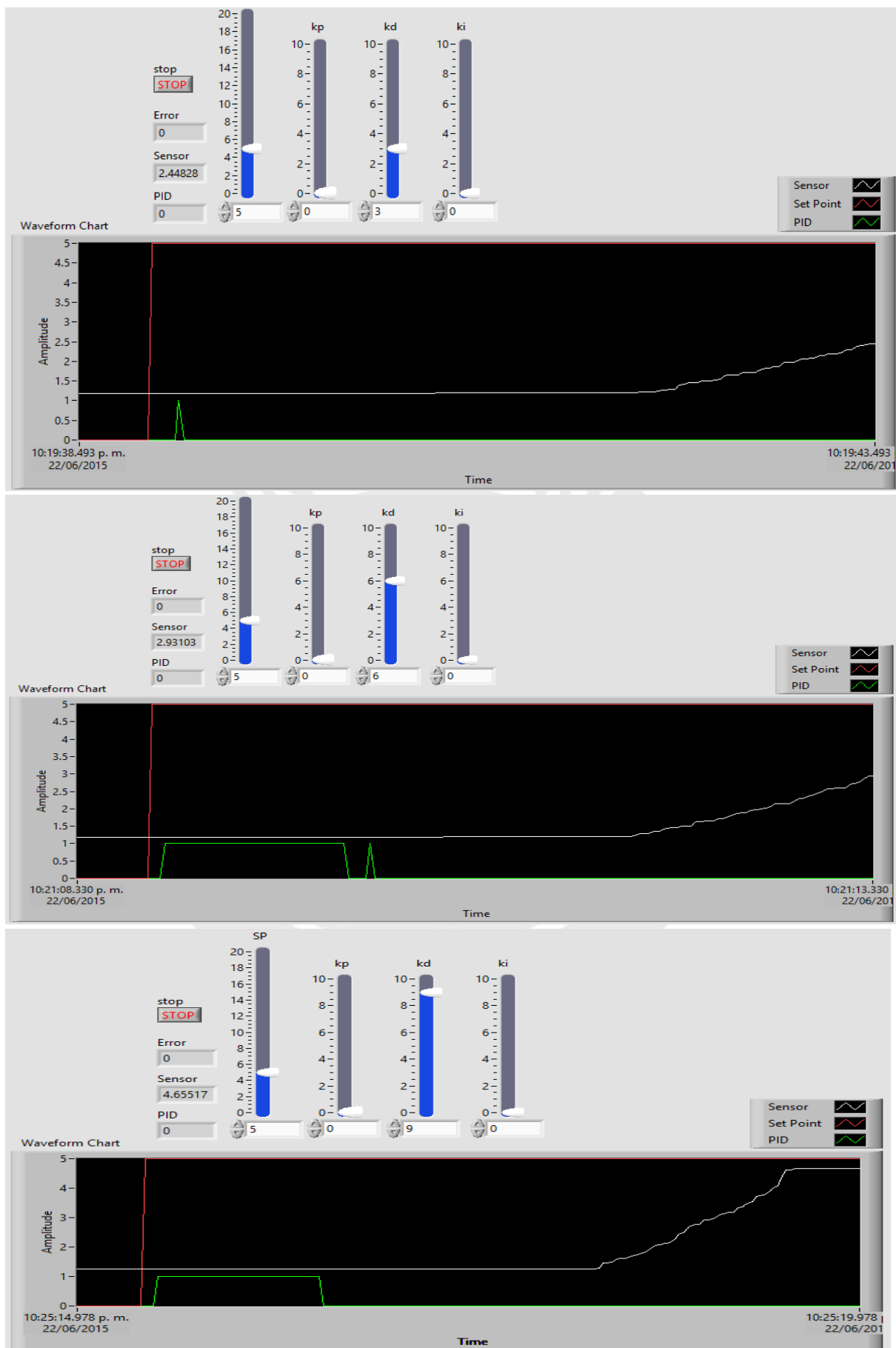


Figura 5.3. De arriba abajo, gráficas para valores de constante  $K_d$  de 3, 6 y 9.

### **Control Ki**

Teóricamente se sabe que al aumentar la constante de control integral  $K_i$  el error del sistema disminuye en régimen permanente, la velocidad del sistema aumenta y así como también lo hace la inestabilidad del sistema.

En las pruebas se observó que el sistema, con forme va incrementándose el valor de la variable integral, responde con mayor velocidad; el error disminuye y la inestabilidad no se altera comparando las tres gráficas.



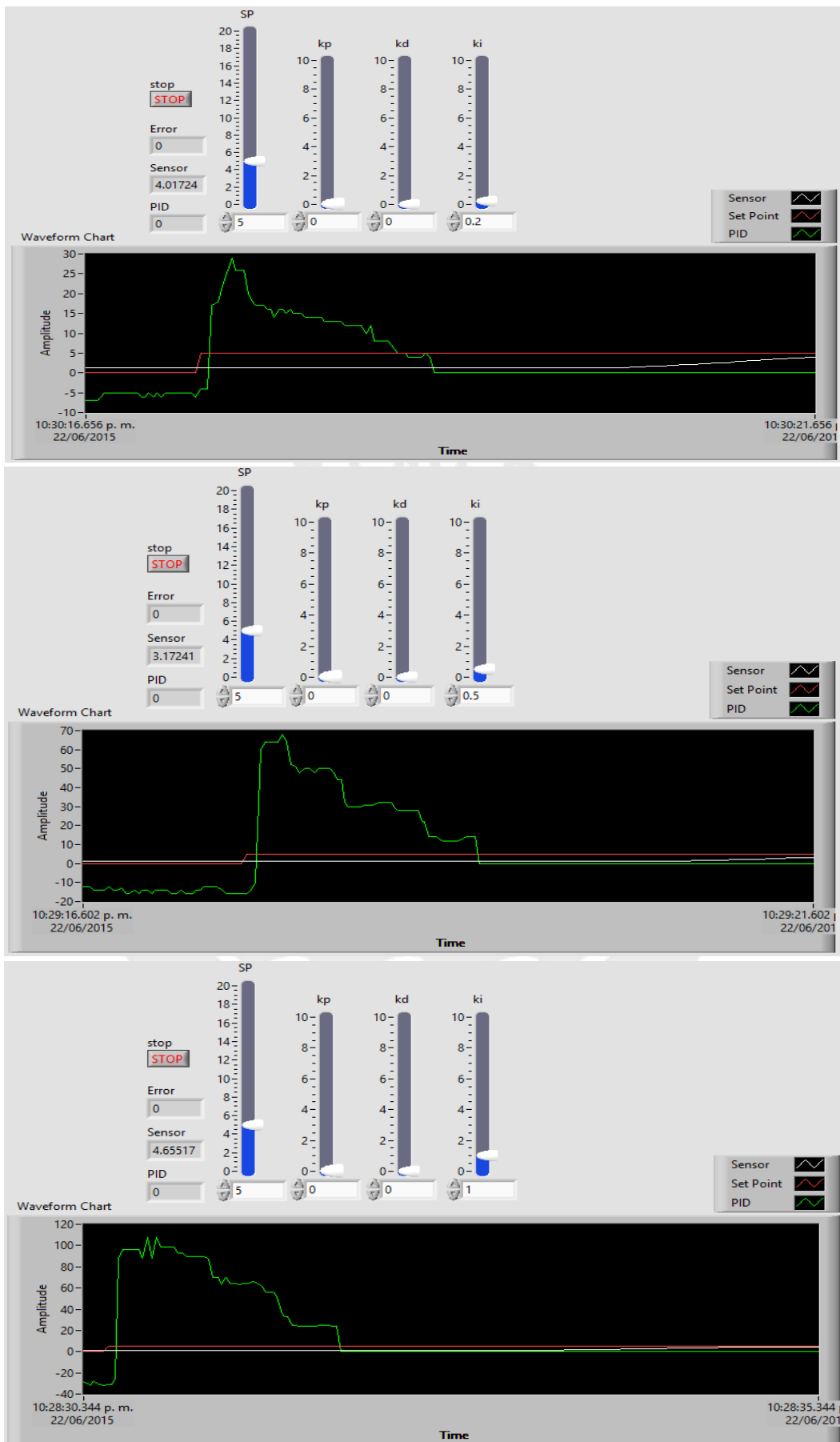


Figura 5.4. De arriba abajo, gráficas para valores de constante  $K_i$  de 0.2, 0.5 y 1.

Por último, se realizan las siguientes pruebas combinando al azar los valores de las constantes y se obtuvo que para ciertas combinaciones el sistema se convertía en un sistema totalmente inestable como era de esperarse (figura 5.5).



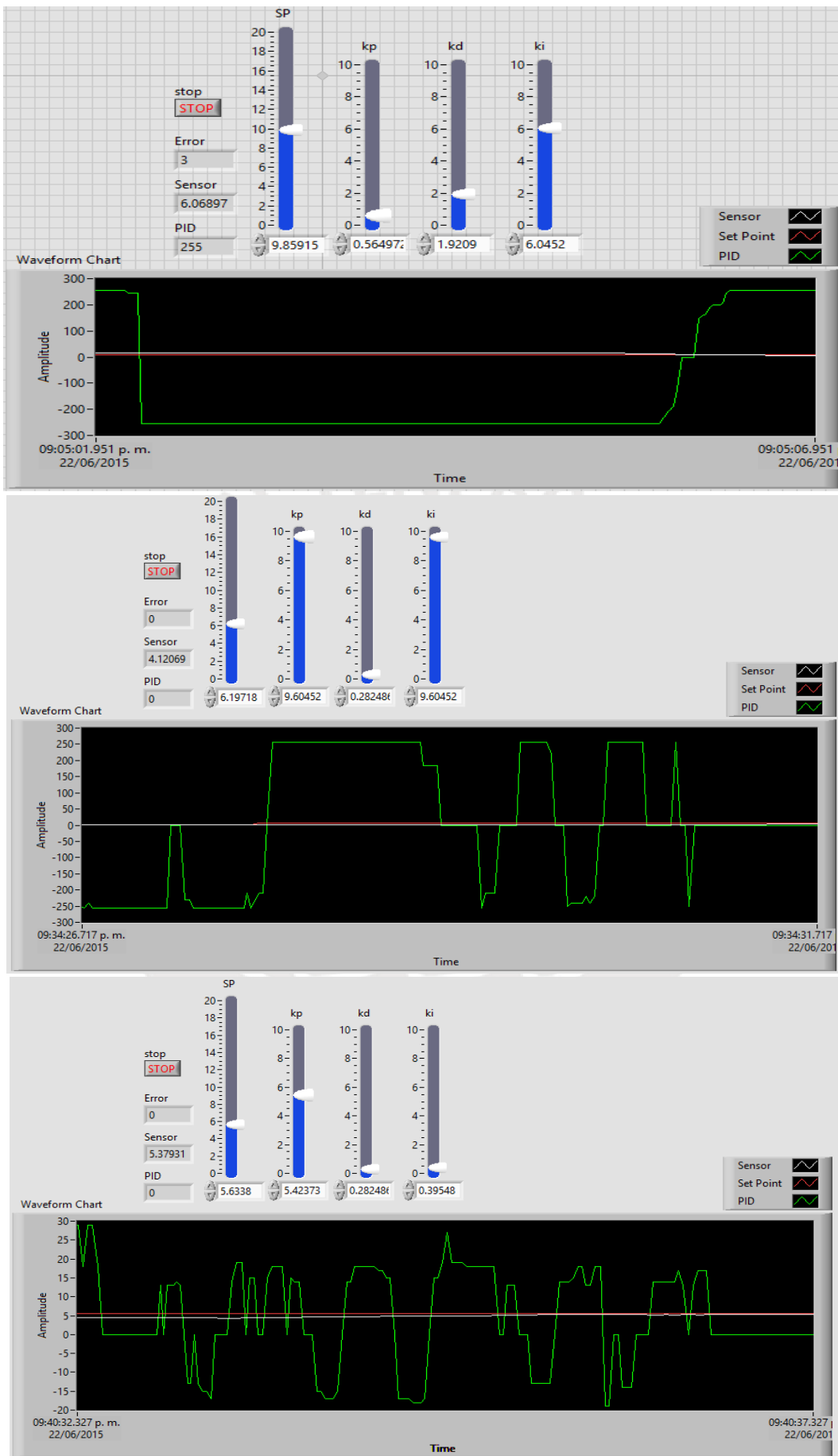


Figura 5.5. Resultados de las pruebas combinando las constantes de control .

## CAPITULO 6

### PLANOS, COSTOS DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

En este capítulo se mostrará una relación entre los planos de ensamblaje y despiece de la máquina. La tabla 6.1 muestra dicha estructura de planos y la tabla 6.7, el costo total del equipo. Los planos se encuentran anexados a este trabajo de tesis.

La identificación de los planos se hará por medio de una codificación la cual consiste en el tamaño de hoja a utilizar, el tipo de plano y el número de este.

Con respecto al tamaño de la hoja se cuenta desde A0 hasta A4. Así mismo, se definirá el tipo de plano como despiece o ensamble, D o E, respectivamente. Por último, el número será uno de tres dígitos.

Cabe mencionar que se hará la estimación de los costos del diseño y fabricación para conocer el monto a invertir si se requiere construir un proyecto como este. No obstante, los costos de los componentes seleccionados podrían variar dependiendo de su disponibilidad debido a la oferta e inestabilidad económica del país.

La estructura de planos se muestra en la tabla 6.1

Tabla 6.1. Estructura de planos

ítem	Plano	Codificación
1	ENSAMBLE GENERAL	A1.E001
2	ESTRUCTURA PRINCIPAL	A0.D001
3	MESA PARA LAPTOP	A4.D002
4	SOPORTE PARA MALLA	A4.D003
5	BASE PARA PESAS	A4.D004
6	PESA	A4.D005

Leyenda:

AX	Tamaño de la hoja
E	Ensamble
D	Despiece
NNN	Número de plano

En la figura 6.1 se muestra la estructura de costos que se seguirá.

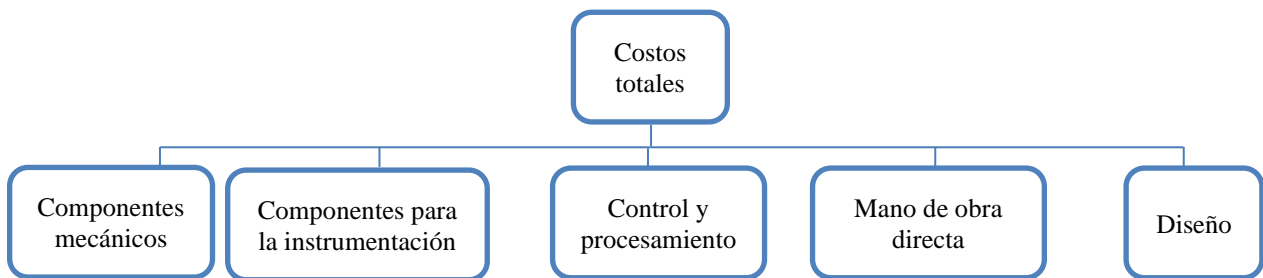


Figura 6.1. Estructura de costos.

Los costos de los productos que se muestran en las siguientes tablas se expresan en soles. Estos se encuentran disponibles en las compañías señaladas; todas ubicadas en la provincia de Lima, territorio peruano. En la tabla 6.2 se muestra a detalle el origen y costo de Costos de componentes mecánicos.



Tabla 6.2 Costos de componentes mecánicos.

Descripción	Razón Social	Precio unitario (S/.)	cantidad	Precio (S/.)
TUBO CUADRADO LAC 1 1/4 X 2.0 X 6.30 MT	FIERRO Y ACEROS CENTER	46.00	1	46.00
TUBO RECTANGULAR LAC 2 X 4 X 3.0 X 2.6 MTS	FIERRO Y ACEROS CENTER	65.00	1	65.00
PLANCHA LAC 1/8 (3.00) 600X1200	FIERRO Y ACEROS CENTER	97.20	1	97.20
SOLDADURA OVERCORD 6013 1/8 (3.25 M)	FIERRO Y ACEROS CENTER	13.70	1	13.70
ELECTROBOMBA 1.5 HP ASÍNCRONO	WEG	565.00	1	565.00
TANQUE DE 10L	FLUIDTEK S.R.L	126.00	1	126.00
FILTRO DE LLENADO Y RESPIRACIÓN	IKRON	150.00	1	150.00
FILTRO DE RETORNO	IKRON	170.00	1	170.00
VISOR DE NIVEL Y TERMÓMETRO	IKRON	60.00	1	60.00
RADIADOR	GRHPOWER	250.00	1	250.00
BLOQUES DE DISTRIBUCIÓN	FLUIDTEK S.R.L.	80.00	3	240.00
CARRIL 2M	FIERRO Y ACEROS CENTER	15.00	1	15.00
ACOPLES RÁPIDOS HIDRÁULICOS MASCULINOS	PARKER	37.00	9	333.00
TUBERÍAS PARKER 1M	PARKER	30.00	4	120.00
SOPORTE PARA TUBERÍA 10MM	FIERRO Y ACEROS CENTER	30.00	6	180.00
PLATINA 1/8 X 5/8 X 680MM	FIERRO Y ACEROS CENTER	0.80	2	1.60
MALLA	FIERRO Y ACEROS CENTER	65.00	1	65.00
TORNILLOS 10MM	FIERRO Y ACEROS CENTER	0.80	20	16.00
RUEDAS	FIERRO Y ACEROS CENTER	50.00	4	200.00
PESA PLANCHA LAC 50x150x150MM	FIERRO Y ACEROS CENTER	45.00	4	180.00
PLATO PARA PESAS	FIERRO Y ACEROS CENTER	30.00	1	30.00
				2923.50

Los dos últimos componentes de la tabla 6.2 fueron fabricados, mientras que el resto de componentes deberá ser adquirido en las compañías señaladas.

En la tabla 6.3 se muestra a detalle el origen y costo de sensores y del transmisor a ser adquirido.



Tabla 6.3. Componentes relacionados a la instrumentación

Descripción	Razón Social	Precio unitario (S/.)	cantidad	Precio (S/.)
SENSOR ULTRASONIDO	ELECTRONICA HI-FI S.A.C	15.00	1	15.00
PT100	ELECTRONICA HI-FI S.A.C	32.00	2	64.00
TRANSMISOR DE TEMPERATURA	ELECTRONICA HI-FI S.A.C	40.00	2	80.00
VÁLVULA LIMITADORA DE PRESIÓN	HERION	150.00	1	150.00
MANÓMETRO	UCC	30.00	1	30.00
CILINDRO 40MMX200MM DE RECORRIDO	FLUIDTEK S.R.L.	290.00	1	290.00
MANGUERAS DE ACOPLÉ RÁPIDO	PARKER	65.00	8	520.00
				1149.00

La tabla 6.4 muestra el origen y costo de los componentes relacionados al control y procesamiento de los datos que harán posible la automatización.

Tabla 6.4. Componentes relacionados al control y procesamiento

Descripción	Razón Social	Precio unitario (S/.)	cantidad	Precio (S/.)
ARDUINO	ELECTRONICA HI-FI S.A.C	90.00	1	90.00
TARJETA IMPRESA CON COMPONENTES	ELECTRONICA HI-FI S.A.C	30.00	1	30.00
CABLES PARA ARDUINO	ELECTRONICA HI-FI S.A.C	0.50	40	20.00
FUENTE DE 24V-3A	COMERCIAL "CHOQUE"	55.00	2	110.00
CAJA ELECTRICA	SCHNEIDER	150.00	1	150.00
CONTACTOR LC1D12M7	SCHNEIDER	93.40	1	93.40
LLAVE TERMOMAGNÉTICA C60H BIPOLAR	SCHNEIDER	84.30	1	84.30
RELÉ TÉRMICO LRD08	SCHNEIDER	127.00	1	127.00
				704.70

En la tabla 6.5 se muestra a detalle el costo que corresponde a la mano de obra directa para el montaje del sistema.

Los costos de mano de obra y fabricación fueron estimados en el taller de manufactura de la PUCP.

Tabla 6.5. Costos de mano de obra directa (MOD) para la fabricación de la máquina.

Descripción	Costo por hora (S/.)	Horas por día	Días de trabajo	Precio (S/.)
TÉCNICO-SUPERVISOR	18.00	8	5	720.00
AYUDANTE MECÁNICO	10.00	8	5	400.00
AYUDANTE ELÉCTRICO	10.00	8	5	400.00
				1520.00

En la tabla 6.6 se tiene el costo del diseño del módulo oleohidráulico.

Tabla 6.6. Costos del diseño mecánico, eléctrico y electrónico del sistema oleohidráulico

Descripción	Costo por hora (S/.)	Horas por día	Días de trabajo	Precio (S/.)
DESARROLLO DE PLANOS MECÁNICOS	30.00	6	10	1800.00
CÁLCULOS DE DISEÑO	25.00	6	5	750.00
DESARROLLO DE PLANOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	30.00	6	5	900.00
				3450.00

Finalmente, se obtienen las tablas 6.7 y 6.8 en las cual se presentan los costos totales de fabricación y de diseño, respectivamente.

Tabla 6.7. Costo total de fabricación

Descripción	Costo total (S/.)
COMPONENTES MECÁNICOS	2923.50
COMPONENTES RELACIONADOS A LA INSTRUMENTACIÓN	1149.00
COMPONENTES RELACIONADOS AL CONTROL Y PROCESAMIENTO	704.70
FABRICACIÓN DE LA MÁQUINA	1520.00
SEGURIDAD POR IMPREVISTOS	1200.00
	7497.20

Tabla 6.8. Costo total del diseño

Descripción	Costo total (S/.)
DISEÑO DEL SISTEMA OLEOHIDRÁULICO	3450.00
	3450.00

Como se puede apreciar en la tabla 6.7, el costo de fabricación es alrededor de S/.8,000.00; mientras que en la tabla 6.8 se obtiene un costo de diseño alrededor de S/.4,000.00.

Los montos mencionados suman un total de S/.12,000.00 incluido el impuesto general a las ventas (IGV).

Además, como se puede apreciar en la tabla 6.7 se está provisionando un monto de S/. 1200. Estos podrán ser utilizados como transporte de equipos, personal, entre otros.

## OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Se hicieron simulaciones acondicionando un módulo de pruebas con el control del desplazamiento de un cilindro hidráulico en el Laboratorio de Oleohidráulica y Neumática en la PUCP. En dichas pruebas se observaron cambios en el comportamiento del sistema oleohidráulico al manipular los valores numéricos de las constantes  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  como se mostró en el capítulo 5.

La dinámica que se realizó en la manipulación de cada uno de estos valores de control fue la misma.

Para los tres casos se asignó un recorrido de 5cm. Se modificaron los valores de las constantes empezando con el número 3, luego con el número 6 y por último con el número 9 para el control de las variables proporcional y derivativa; mientras que para la variable integral se asignaron los valores numéricos 0.2, 0.5 y 1.

En el control de la variable proporcional se encontró que con forme se aumentaba el valor numérico el sistema respondía con mayor rapidez; mientras que el error se hacía menor

En el caso de la variable derivativa, si se incrementaba su valor la velocidad de respuesta no se ve afectada. Sin embargo, se vuelve más estable.

Con respecto a la variable integral, la velocidad de respuesta se incrementa al tiempo que esta aumenta. El error disminuye y la estabilidad no se ve alterada para los valores seleccionados.

- La velocidad del actuador depende directamente del caudal del fluido hidráulico, lo cual se pudo observar en las pruebas que se realizaron en el laboratorio de la PUCP. Este fue indicador para hacer los debidos ajustes en la programación del sistema para hacerlo más robusto.
- A pesar de que en la elaboración de la documentación de este proyecto solo se menciona que se utilizó una válvula de control ON/OFF, se formuló el utilizar una válvula proporcional. Esta generaría cambios de dirección del fluido más suaves, caso contrario a lo que sucede con la válvula ON/OFF que genera cambios bruscos. Ello podría contribuir a reducir las pérdidas; pero para cuestiones académicas, se podría considerar a la válvula ON/OFF como suficiente debido a que es más accesible en cuanto a disponibilidad en el mercado.

- El comportamiento del sistema no muestra variación significativa en periodos cortos o largos de tiempo, por lo que se considera estable en cuanto se seleccionen las constantes de control adecuadas; ya que, para valores elevados de la constante proporcional e integral el sistema entra en un lazo de inestabilidad del cual solo sale si se reduce dichas constantes a valores próximos a cero.
- Por otro lado, se sugiere modelar y simular el comportamiento del actuador hidráulico de doble efecto con el fin de poder obtener el modelo matemático del sistema. Luego se analizarían las respuestas en base a las pruebas. Una vez que se cuente con el modelo matemático, se podría predecir el comportamiento del sistema para cualquier escenario.



## CONCLUSIONES

Siguiendo la metodología de diseño VDI 2221 se obtuvo el diseño de un equipo de laboratorio con el cual los docentes pueda impartir conocimientos básicos de control y oleohidráulica. Este cuenta con las siguientes características:

- Ensayos semi automatizados de posición y temperatura cuyos parámetros pueden ser modificados.
- Estudiar el comportamiento de estabilidad del sistema en diferentes condiciones
- Ahorro de material en cuanto a estructura, piezas y peso del equipo en comparación a sus predecesores.

Usando el software LabView y el hardware ARDUINO como herramientas, se determinaron los siguientes aspectos:

- La variación temperatura es lenta. En jornadas de ensayo de hasta tres horas, no se superaron los 50°C
- Proceso de control de posición rápido y seguro.
- Menor desgaste de piezas en el equipo, así se utilizarán menos repuestos
- Ahorro de energía.

Las ventajas de realizar los ensayos, utilizando el equipo de laboratorio diseñado, se obtienen a continuación:

- Ensayos de manera segura y ergonómica tanto para el docente como para el alumnado.
- Sesiones más dinámicas, despertando el interés por la automatización y el control. Así como también velando por la eficiencia, rendimiento y precisión en los resultados.

Comparando los valores teóricos con los obtenidos con el equipo de laboratorio diseñado se demostraron los siguientes aspectos:

- La respuesta del sistema, ante la modificación de las constantes PID, obedece al comportamiento esperado de acuerdo a la teoría del control.
- Los valores de temperatura fueron ligeramente más altos de lo esperado, esto se debe a las pérdidas que no se tomaron en cuenta en el desarrollo del diseño del equipo.

Como se pudo ver en los ensayos, es de suma importancia el estudio de la teoría de control y el saber cómo podría reaccionar un sistema manipulando las constantes de control. Gracias a estas se podría estabilizar o inestabilidad un sistema. En los diferentes tipos de industria

como minera, petrolera, entre otras se podrían percibir ahorros económicos evitando paradas de planta o inclusive desgaste de equipos o piezas.

La valorización de los componentes y servicios del diseño propuesto permitió obtener una estimación de costos, que en este caso resultó de S/.4,000.00 para el diseño y de S/.8,000.00 para la fabricación de un equipo oleohidráulico con todas las características de un sistema de control de posición y temperatura señaladas en el documento anterior.

El proyecto que se desarrolló cumple con obtener los resultados esperados de acuerdo a las simulaciones realizados con lo cual se encuentra apto para su construcción y uso para los docentes a fin de que estos pueden impartir sesiones prácticas. Así mismo, el sistema cumple con las expectativas de seguridad y ergonomía como se señalan en los capítulos correspondientes.



**BIBLIOGRAFÍA**

[Dorr, 2010]

DORR, H.

2010 Técnicas de válvulas proporcionales y servoválvulas, in IEEE Transactions on Education, Vol. No. 1 and 2.

[Groover, 2010]

GROOVER, Mikell

2010 Fundamentals of modern manufacturing: material, processes and systems.

[Pontificia Universidad Católica del Perú, 2011]

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

2011 Dibujo Mecánico 1, Material para la docencia.

Área de Diseño de Ingeniería Mecánica de PUCP.

Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial.

[Cisneros, 2009]

CISNEROS, Luis

2009 Manual de Oleohidráulica, España, Vol 1

[Ganesh, 2010]

GANESH, Hegde

2010 Mechatronics. United States, Vol 1 and 2.

[Blume, 1979]

EDITORIAL BLUME SA

1979 Manual de Oleohidráulica industrial, Vol 1 and 2.

[Claggett & Worrall, 2011]

CLAGGETT T.J & WORRALL R.W

2011 Temperature measurement and sensor selection, volumen 20, núm. 4, Instrumentation Magazine Honeywell.

[Roeser & Dahl & Gowens, 1935]

WM. F. ROESER, A. I. DAHL AND G. J. GOWENS

1935 Standard tables for chromel-alumel. Pág. 6. Washington. Consulta: 2 de Junio del 2015  
<[http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/14/jresv14n3p239\\_A1b.pdf](http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/14/jresv14n3p239_A1b.pdf)> .

[Ministerio del trabajo y promoción del empleo, 2002]

MINISTERIO DEL TRABAJO Y PROMOCIÓN DEL EMPLEO

2002 Ley 27711 ergonomía mintra.

[Hibbeler, 2011]

HIBBELER, Russel

2011 Mecánica de Materiales. Octava edición. México: Pearson Educación.

[Barriga, 2010]

BARRIGA, Benjamín

2010 Oleohidráulica y Neumática. Octava edición.

[Frank, 2005]

FRANK J, Bartos

2005 Hydraulic cylinder anatomy. Control Engineering,

[Universidad de Costa Rica, 2002]

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

2002 Sistema de control aplicado a la robótica. Consulta: el 29 Mayo del 2015  
<<http://www.profesaulosuna.com/data/files/ROBOTICA/APUNTE%20DE%20ROBOT%201/ucr.ie431.trabajo.2002.01.grupo06.pdf>>.

[Casey, 2015]

CASEY, Brendan

2013 How to Solve and Prevent Hydraulic Problems. Consulta: 19 de Julio del 2017  
<[http://www.iranfluidpower.com/pdf/BTP%20Fluid%20power/hyd\\_problem\\_solving.pdf](http://www.iranfluidpower.com/pdf/BTP%20Fluid%20power/hyd_problem_solving.pdf)>

[Escuela Universitaria Politécnica San Sebastián-Donostia, 2007]

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA SAN SEBASTIAN-DONOSTIA,  
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL EN ELECTRÓNICA Y MECÁNICA

2007 Sistemas neumáticos y oleohidráulicos.

[Loli,2012]

LOLI, José Luis

2012 Modelación y simulación de un actuador hidráulico para un simulador de marcha normal. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

[Escribano, 1995]

ESCRIBANO, Raquel

1995 Automatismos eléctricos, neumáticos e hidráulicos “Instalación y mantenimiento electromecánico de maquinaria y conducción de líneas”. Segunda edición

[Vaca, 2014]

VACA, Angel

2014 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSFERENCIA ELECTRONEUMÁTICO PARA EL ACOPLAMIENTO A LA LINEA DE ENSAMBLAJE DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA EIE-CRI. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero en Electrónica, control y redes industriales. Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



[Creus, 2010]

CREUS, Antonio

2010 Instrumentación Industrial. Octava edición.

[Ministerio de agricultura y riego, 2014]

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO

2014 Presente y futuro del sector forestal peruano: el caso de las concesiones y las plantaciones forestales

[Perú Petro, 2016]

PERUPETRO S.A.

2016 Actividades de exploración de hidrocarburos en el Perú. Consulta: 27 de Marzo de 2017.

< <https://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/corporativo/3f0ce56e-5bb9-4a12-b1ae-b64602e6bbdd/ActividadesdeExploracionyExploraciondeHidrocarburosnelPeru09.07.10.pdf?MOD=AJPERES> >

[Osinergmin, 2016]

ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSION EN ENERGIA Y MINERIA

2016 Reporte de Análisis Económico Sectorial Minería. Consulta: 3 de Marzo de 2017.

<[http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/acerca\\_osinergmin/estudios\\_economicos/oficina-estudios-economicos](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/acerca_osinergmin/estudios_economicos/oficina-estudios-economicos)>

[Sohipren, 2005]

SOHIPREN S.A.

2005 Manual básico de oleohidráulico. Segunda edición.

[Meléndez, 2015]

MELLENDEZ, Cristian

2015 Sensores Ópticos y de Proximidad. Consulta 10 de Noviembre 2016.

< <https://www.scribd.com/presentation/52452577/Sensores-Opticos-y-de-Proximidad> >

[Osinergmin, 2016]

ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSION EN ENERGIA Y MINERIA

2016 Reporte de Análisis Económico Sectorial Minería. Consulta: 9 de Febrero de 2017.

<[http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/acerca\\_osinergmin/estudios\\_economicos/oficina-estudios-economicos](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/acerca_osinergmin/estudios_economicos/oficina-estudios-economicos)>

[Perú21, noviembre 2016]

PERÚ21

2016 Inversión inmobiliaria em 2016 ascendió a US\$2,975'000, informó Capeco.  
Consulta: 7 de Julio de 2017.  
<<https://peru21.pe/economia/inversion-inmobiliaria-2016-ascendio-us-2-975-022-000-informo-capeco-234630>>

[Mayné, 2003]

SILICA AND AVNET DIVISION

2003 Sensores Acondicionadores y Procesadores de señal. Consulta: 21 de Junio de 2018.  
<<http://www.tecnologiaycultura.net/docs/Sensores.pdf>>

[Medrano, 2002]

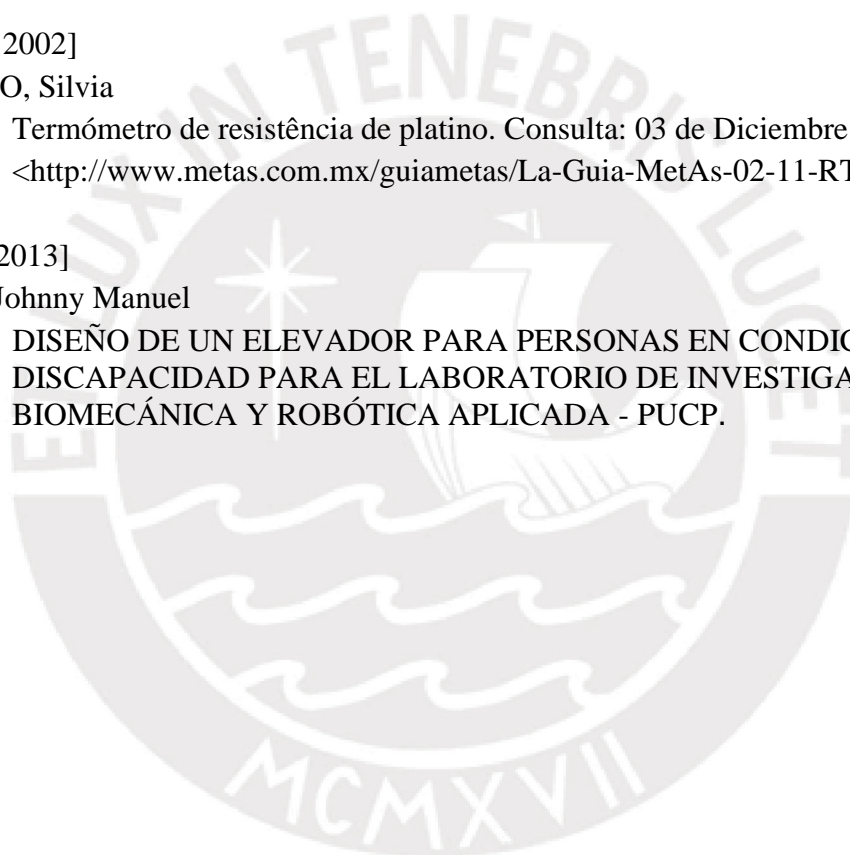
MEDRANO, Silvia

2002 Termómetro de resistência de platino. Consulta: 03 de Diciembre de 2018.  
<<http://www.metas.com.mx/guiamet/La-Guia-MetAs-02-11-RTD.pdf>>

[Guerrero,2013]

Guerrero, Johnny Manuel

2013 DISEÑO DE UN ELEVADOR PARA PERSONAS EN CONDICIÓN DE DISCAPACIDAD PARA EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN BIOMECÁNICA Y ROBÓTICA APLICADA - PUCP.



## ANEXOS

## A: MATRIZ MORFOLÓGICA

En el presente Anexo se desarrolla la matriz morfológica, la cual permite resolver cada una de las funciones que se han definido mediante alternativas de solución, combinándolas para obtener un concepto único de solución. Para ello se optó por dividir las funciones en cuatro grupos: funciones de control y procesamiento, funciones mecánicas, funciones relacionadas a actuadores y funciones relacionadas a sensores.

A continuación, se muestra la matriz morfológica en las tablas A1, A2, A3 y A4.

Tabla A.1. Matriz morfológica correspondiente a los equipos para el Control y Procesamiento.

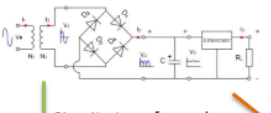







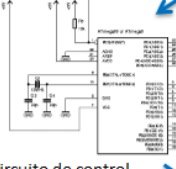



Función	Alternativa		
	A	B	C
Control y procesamiento			
Transformar y rectificar Energía eléctrica 220VAC a 24VAC	 Circuito transformador		
Ingresar recorrido del vástago			
Ingresar temperatura deseada			
Ingresar constantes de control Kp, Ki y Kd			
Controlar actuadores			
Acondicionar señales de sensores			
Almacenar datos de posición			
Almacenar datos de temperatura			
	Cable RS-232	Cable USB tipo B	Memoria

Tabla A.2. Matriz morfológica correspondiente a los equipos para las Funciones relacionadas a los sensores.








Función	Alternativa		
	A	B	C
Funciones relacionadas a los sensores			
Sensar posición del vástago	 Sensor infrarrojo	 Sensor ultrasónico	
Registrar recorrido del cilindro	 Pulsador	 Sensor ultrasónico	
Sensar temperatura del aceite hidráulico	 Termocupla	 PT100	
Registrar temperatura del aceite hidráulico	 Transmisor de temperatura	 Transmisor de temperatura	

Tabla A.3. Matriz morfológica correspondiente a los equipos para Funciones mecánicas.





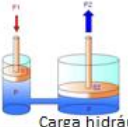

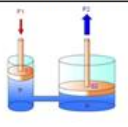



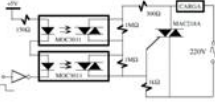





Función	Alternativa		
	A	B	C
Funciones mecánicas:			
Sujetar piezas y restringir movimiento	 Restricción geométrica horizontal	 Restricción geométrica vertical	 Restricción geométrica con resortes
Transformar energía eléctrica en mecánica	 Bomba hidráulica		
Aumentar o disminuir la presión	 Carga hidráulica		
Generar fuerza de contacto entre la cabeza del vástago y el cuerpo a empujar	 Cilindro hidráulico		
Reposicionar la cabeza del actuador	 Carga hidráulica	 Resortes	

Tabla A.4. Matriz morfológica correspondiente a los equipos para Funciones relacionadas a los actuadores.

Función	Alternativa		
	A	B	C
Funciones relacionadas a los actuadores			
Regular recorrido del vástago	 Electrovalvula hidráulica	 Electrovalvula hidráulica	 Circuito de potencia / mando
Regular la temperatura del aceite hidráulico	 Válvula solenoide	 Motor eléctrico	 Motor a pasos

Leyenda	
Solución 1	
Solución 2	
Solución 3	

Por último, en la tabla A.5, se muestra un resumen de la matriz morfológica a manera de facilitar la identificación de las funciones de cada uno de los tres conceptos de solución planteados.

Tabla A.5. Reorganización de tablas de la matriz morfológica

Función	Concepto de Solución1 (CS1)	Concepto de Solución2 (CS2)	Concepto de Solución3 (CS3)
Transformar y rectificar Energía eléctrica 220VAC a 24VAC	Circuito transformador	Circuito transformador	Circuito transformador
Ingresar el recorrido del vástago	HMI	Laptop	Celular
Ingresar temperatura deseada	HMI	Laptop	Celular
Ingresar constantes de control Kp, Ki y Kd	HMI	Laptop	Celular
Controlar actuadores	PLC	Arduino	Laptop
Acondicionar señales de sensores	DAQ	Circuito de control	Circuito de control
Almacenar datos de posición	Cable RS-232	Cable USB Tipo B	Memoria SD
Almacenar datos de temperatura	Cable RS-232	Cable USB Tipo B	Memoria SD
Obtener posición del vástago	Sensor infrarrojo	Sensor ultrasónico	Sensor Ultrasónico
Registrar recorrido del cilindro	Pulsador	Sensor ultrasónico	Encoder
Obtener temperatura del aceite hidráulico	Termocupla	PT100	PT100
Registrar temperatura del aceite hidráulico	Transmisor de temperatura	Transmisor de temperatura	Transmisor de temperatura
Sujetar piezas y restringir movimiento	Restricción geométrica horizontal	Restricción geométrica vertical	Restricción geométrica con resortes
Transformar energía eléctrica en mecánica	Bomba hidráulica	Bomba hidráulica	Bomba hidráulica
Aumentar o disminuir la presión	Carga hidráulica	Carga hidráulica	Carga hidráulica
Generar fuerza de contacto entre la cabeza del vástago y el cuerpo a empujar	Cilindro hidráulico	Cilindro hidráulico	Cilindro hidráulico
Reposicionar la cabeza del actuador	Fuerza hidráulica	Fuerza hidráulica	Fuerza hidráulica
Regular recorrido del vástago	Electrovalvula hidráulica	Electrovalvula hidráulica	Circuito de potencia/mando
Regular la temperatura del aceite hidráulico	Válvula solenoide	Motor eléctrico	Motor a pasos

## B: CONCEPTO SOLUCIÓN Y EVALUACIÓN

Se han propuesto tres conceptos de solución, los cuales se muestran a continuación con sus respectivas figuras A1, A2 y A3.

### Concepto de Solución 1 (CS1):

Este sugiere que el cilindro hidráulico esté en un plano paralelo a la mesa de trabajo y empuje la pesa haciendo que esta parezca una bisagra, como se muestra en la figura B.1.

Este diseño concentra la fuerza en un área muy pequeña, además del gran torque generado por la reducida distancia entre el punto de contacto y la bisagra de la pesa la cual puede flexionar al vástago del cilindro.

Otra desventaja es el límite de pesas que se puede colocar, así como también definir la ubicación del sensor de infrarrojo es complicado ya que no trabajaría con un área perpendicular sino con un ángulo inclinación variable. Como se observa, la geometría complica la flexibilidad del trabajo.

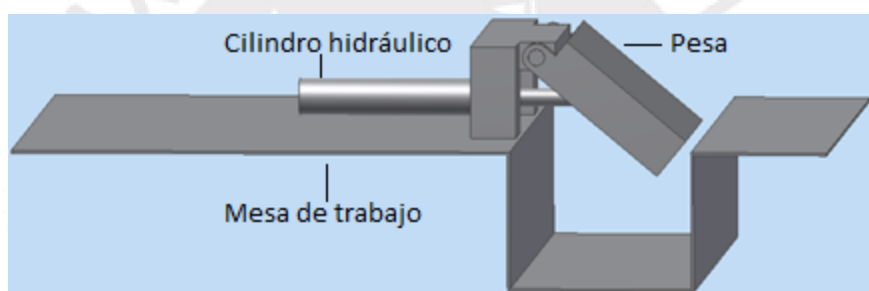


Figura B.1. Mesa de trabajo con cilindro en dirección horizontal.

### Concepto de Solución 2 (CS2):

A diferencia del primer concepto de solución, este sugiere desplazar las pesas hacia arriba por medio del cilindro hidráulico, usa como guía a cuatro varillas paralelas a la dirección del vástago (figura B.2).

Además, cuenta con un sensor ultrasónico adosado en la pared metálica paralela al cilindro que apunta hacia arriba con el fin de recibir la información de la distancia recorrida para así ser enviada al procesador.

Este soporte brinda un mayor espacio en la mesa y una fácil verificación de que el recorrido realizado por el vástago del cilindro es correcto.

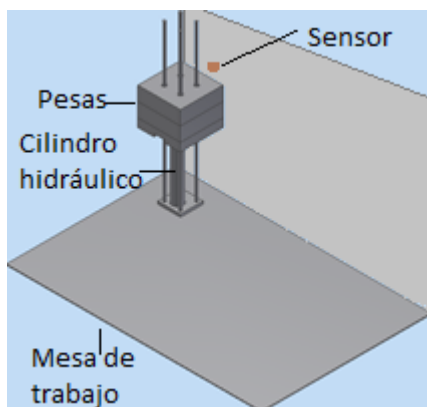


Figura B.2. Mesa de trabajo con el cilindro y las pesas que este moverá.

### Concepto de Solución 3 (CS3):

El cilindro hidráulico empuja la carga en dirección horizontal. La carga está conformada por resortes (figura B.3) que al ser comprimidos generan una fuerza en sentido contrario y la expresan sobre a plancha móvil conforme se van contrayendo van generando más fuerza.

El acceso al sensor ultrasónico es simple, aunque el armado del sistema es complejo; además de hacer la correcta selección de los resortes que serán usados teniendo en cuenta, mediante cálculos, la fuerza máxima que el cilindro debe aplicar para no dañar a los sensores.

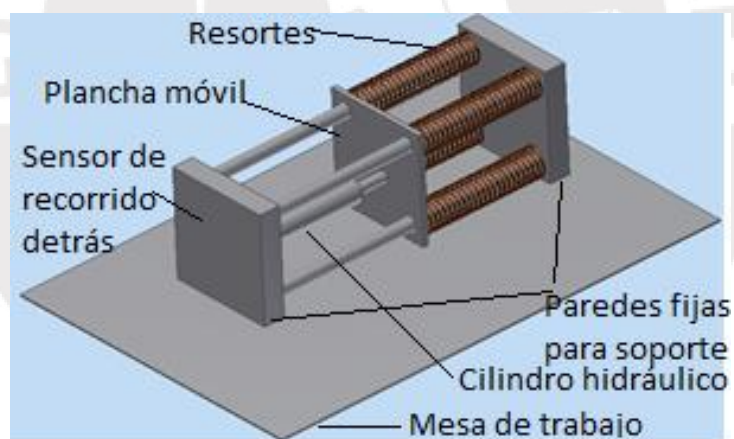


Figura B.3. Mesa de trabajo con sistema de resortes y cilindro.

## 2.5 Evaluación de soluciones:

Se realizará el análisis en función a criterios tanto técnicos como económicos con el fin de optar por una solución óptima. La tabla B.3 y la tabla B.4 muestran la evaluación técnica y económica realizada, respectivamente.

Previamente, se procederá a asignar un peso relativo según la importancia con respecto a algunos criterios (tabla B.1). Además, se cuantificará el grado de cumplimiento por medio de la escala de Likert (tabla B.2).

Tabla B.1. Nivel de importancia

Nivel de importancia	
Valor	Significado
1	Poco Importante
2	Importante
3	Muy Importante

Tabla B.2. Valorización según escala de Likert.

Grado de cumplimiento	
Valor	Significado
1	Totalmente en desacuerdo
2	En desacuerdo
3	Indeciso
4	De acuerdo
5	Totalmente de acuerdo

Tabla B.3. Evaluación técnica de los conceptos de solución

Evaluación Técnica								
Ítem	Criterio	Nivel de Importancia (Vi)	Concepto de solución (Ci)			Resultados		
			CS1	CS2	CS3	CS1	CS2	CS3
1	Estabilidad	3	2	4	4	6	12	12
2	Diseño	2	3	5	5	9	15	15
3	Seguridad para el usuario	3	3	4	4	9	12	12
4	Fabricación y montaje	2	4	4	4	12	12	12
5	Ahorro de espacio	1	3	5	3	9	15	9
6	Funcionalidad	3	4	5	4	12	15	12
7	Mantenimiento	3	3	5	2	9	15	6
8	Ergonomía	2	4	4	4	12	12	12
9	Riesgo ambiental	2	5	5	5	15	15	15
PT=Puntaje total = $\Sigma (Vi*Ci)$						93	123	105

Tabla B.4. Evaluación económica de los conceptos de solución

Evaluación Económica								
Ítem	Criterio	Nivel de Importancia (Vi)	Concepto de solución (Ci)			Resultados		
			CS1	CS2	CS3	CS1	CS2	CS3
1	Mantenimiento	3	3	4	4	9	12	12
2	Fabricación	1	3	4	4	9	12	12
3	Repuestos	2	4	4	4	12	12	12
4	Capacitación	3	2	4	4	6	12	12
5	Uso	2	3	5	4	9	15	12
PT=Puntaje total = $\Sigma (Vi*Ci)$						45	63	60



Tabla B.5. Resumen de resultados

Conceptos de solución	Evaluación Técnica	Evaluación Económica
CS1	93	45
CS2	123	63
CS3	105	60

La tabla B.5 muestra los puntajes obtenidos de los conceptos de solución tanto para una evaluación técnica como económica. A partir de este resultado se llega a la conclusión que el CS2 es el óptimo.

La disposición final, ya habiendo definido la ubicación del cilindro hidráulico, pesas, sensores y demás componentes en el sistema mecatrónico el alumno, con ayuda del docente encargado, podrá realizar sus prácticas en un módulo seguro, estable y de fácil armado.



## C: FICHA TÉCNICA DEL CILINDRO HIDRÁULICO

# CILINDROS HIDRÁULICOS

CHA / CHB / CHC / CHD

Somos una empresa con más de 26 años de experiencia en la fabricación de cilindros hidráulicos en una gran variedad de medidas, para ello importamos tubos de acero St 52 bruñido con una rugosidad Ra menor 0,25µm con tolerancia H8; vástagos de acero Ck45 normal y endurecido, cromados rectificados con tolerancia f7.

Leyenda	
D	Diámetro del émbolo
d	Diámetro del vástago
A1	Área del embolo
A0	Área anular

D (mm)	d (mm)	A1 (cm <sup>2</sup> )	A0 (cm <sup>2</sup> )
40	16	12,57	10,56
	20		9,42
	25		7,66
50	20	19,64	16,49
	25		14,73
	32		11,59
63	25	31,17	29,26
	32		23,13
	40		18,61
80	32	50,27	42,22
	40		37,7
	50		30,63
100	40	78,54	65,97
	50		58,91
	63		47,37
125	50	122,72	103,08
	63		91,55
	80		72,45
160	63	201,06	169,89
	80		150,8
	100		122,52
200	80	314,16	263,89
	100		235,62
	125		191,44
250	100	490,88	412,34
	125		368,16
	160		289,81

Los sellos moldeados, importados y seleccionados según la presión, temperatura y velocidad de trabajo.



Diseñamos cilindros hidráulicos según las características particulares de cada cliente, teniendo en cuenta las aplicaciones, las condiciones de montaje e instalación así como también el medio ambiente. Asimismo suministramos vástagos de acero inoxidable, con recubrimiento cerámico, vástagos huecos y otros materiales de mayor resistencia.

Diámetros del tubo en otras medidas hasta 600mm y longitudes hasta 10m.

### Características

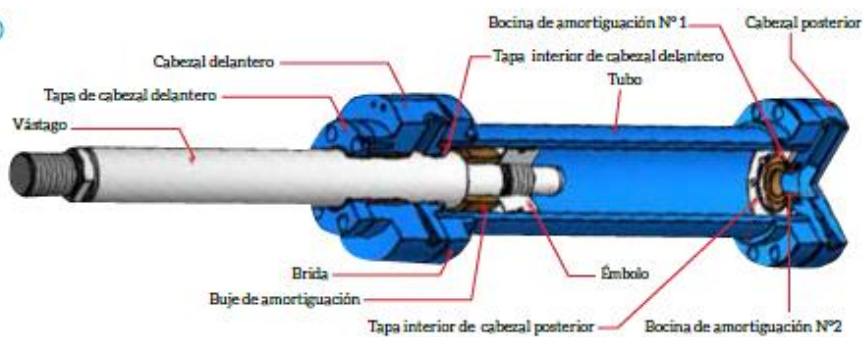
Modelos	CHA	CHB	CHC	CHD
Presión máxima de trabajo	100	160	250	350
Presión de prueba	150	240	375	525
Tipo de construcción	Cabezales redondos y bridad			
Rango de diámetros de tubos	Desde 40mm hasta 250mm			
Rango de diámetro de vástagos	Desde 16mm hasta 160mm			
Formas de montaje	06 opciones			
Amortiguación	En uno o en ambos extremos con o sin amortiguación			
Fluido	Aceite mineral según DIN 51524			
Temperatura de trabajo	Desde -20°C hasta +80°C			
Viscosidad	Desde 2,8 hasta 400 cSt (mm <sup>2</sup> /s)			
Velocidad máxima al pistón	0,5 m/s			
Filtración	Mínimo. Clase 19/15 ISO 4406(β≥75)			
Conexiones	Roscas G según ISO 228/1 o bridas.			

A pedido del cliente se indica otras características importantes como: Temperatura, velocidad de trabajo, conexiones especiales en roscas o bridas, sensores incorporados, otros fluidos, etc.

**Tipos de Montaje:**



**Lista de Partes:**



**Formulas Importantes:**

$F = p \times A$	
F:	Fuerza
p:	Presión
A:	Área

$Q = v \times A$	
v:	Velocidad
Q:	Caudal requerido
A:	Área

Fuerza Máxima al pandeo $F_p = (\pi^2 EI) / (Lp^2 S)$ para esbeltez $\lambda \geq 60$		
E:	Módulo de elasticidad de acero	$21 \times 10^5$ N/mm <sup>2</sup>
I:	Momento de inercia	$\pi d^4 / 64$ mm <sup>4</sup>
S:	Mínimo factor de seguridad	35
LP:	Longitud de pandeo según tabla	Ver fig. mm
d:	Diámetro del vástago	mm

Solicitaciones según euler				
Situación montaje del cilindro	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Ejemplo	Un extremo libre, un extremo fijo.	Dos extremos articulados	Un extremo articulado un extremo fijo.	Dos extremos fijos.
Montaje	BD, BP, PP	PI, PB, PR	BD, BP, PP	BD, BP, PP

Figura C.1. Ficha técnica de los cilindros hidráulicos de la marca FLUIDTEK.

## D: FICHA TÉCNICA DEL TANQUE

# JIC TYPE RESERVOIRS

## STYLE B

The Style B Series JIC type reservoirs are constructed with a welded top and clean-out access on each end. The reservoir design incorporates a lengthwise baffle positioned between opposing clean-out openings. Each reservoir is supplied with a sight gage, filler breather and access covers. Style B reservoirs are similar to the Style A Series, but incorporate design features common to the Jumbo Series reservoirs.

### Standard Features:

1. (1) 5 inch GT623 Series sight gage
2. (1) Riser with filler breather
  - Bayonet style - 40 micron
3. (2) Steel access covers with gaskets
4. Baffle with cutouts for circulation
5. 3/4 inch NPT drain with plug on (1) access cover
6. Exterior of reservoir prime painted
7. Interior of reservoir coated with rust preventative oil

### 8. Materials:

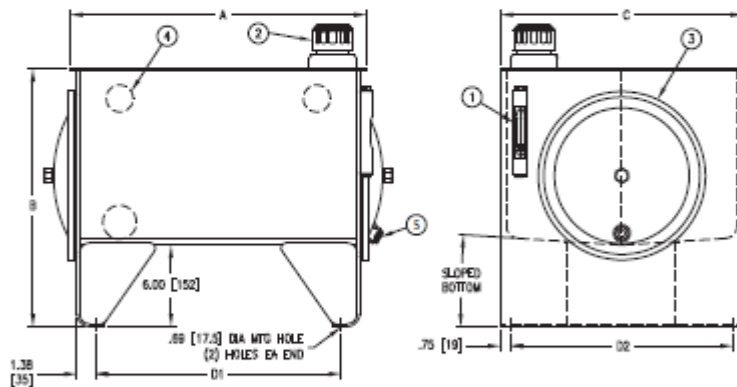
- Carbon steel reservoir
- Buna N seals
- Transparent molded nylon sight gage with black powder coated steel guard
- Zinc plated fill cap with nylon strainer basket

**NOTE**

- Drain plugs need to be sealed and tightened before use
- Sight gage and filler breather shipped loose inside reservoir
- Industry accepted design practice for hydraulic systems limits maximum operating temperature to 180° F (82° C), but materials used for fabrication of the reservoirs are capable of operating between -40° and 212° F (-40° and 100° C)

### CAUTION:

• Reservoirs are not designed for internal positive or negative pressure applications. For these applications, consult the factory.



**NOTE:** All dimensions are inches [mm]

Tank Dimensions (inches)										
Capacity (gal)	Part No.	A Length	B Height	C Width	Mounting Centers		Access Cover	Material Thickness		Piece Weight (lb)
					D1 ± .12	D2 ± .12		End	Top	
10	V37510	24.00	18.00	16.00	20.25	14.50	12.00	11 Ga	7 Ga	80
20	V37520	32.00	18.00	21.00	28.25	19.50	12.00	11 Ga	7 Ga	130
60	V37560	38.00	25.00	25.00	34.25	23.50	14.00	7 Ga	.25	236
80	V37580	47.00	26.88	30.00	43.25	28.50	14.00	7 Ga	.25	337
100	V375100	47.00	29.00	30.00	43.25	28.50	14.00	7 Ga	.25	355
120	V375120	60.00	27.00	30.00	56.25	28.50	14.00	7 Ga	.38	450
150	V375150	59.62	31.19	30.00	55.88	28.50	14.00	7 Ga	.38	496
200	V375200	72.00	29.00	36.00	68.00	34.50	18.00	.25	.38	769
250	V375250	72.00	35.00	36.00	68.00	34.50	18.00	.25	.38	900
300	V375300	82.00	29.00	48.00	77.00	45.00	18.00	.25	.50	1306
400*	V375400	96.00	23.75	72.00	92.25	70.50	18.00	.38	.50	2066

\* **NOTE:** 400 gallon reservoir includes (2) access covers per end and (2) baffles

Figura D.1. Ficha técnica de tanques serie JIC.

## E: FICHA TÉCNICA DE LA VÁLVULA LIMITADORA DE PRESIÓN

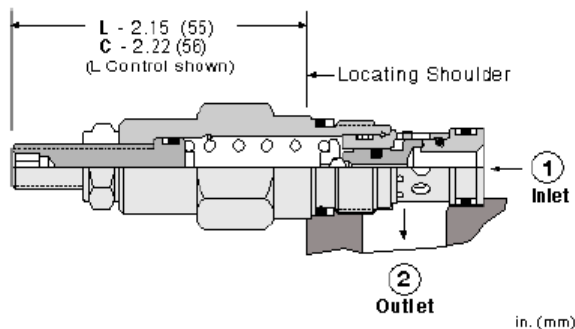
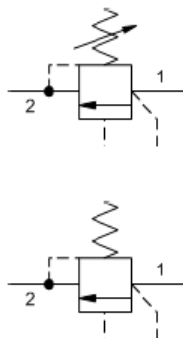


MODEL  
RDBA

Direct-acting relief valve  
CAPACITY: 45 L/min. / CAVITY: T-162A



snhy.com/RDBA



Direct-acting relief cartridges are normally closed, pressure-limiting valves used to protect hydraulic components from pressure transients. When the pressure at the inlet (port 1) reaches the valve setting, the valve starts to open to tank (port 2), throttling flow to limit the pressure rise. These valves are smooth and quiet, essentially zero leak, dirt tolerant, immune to silting and are very fast.

### TECHNICAL DATA

NOTE: DATA MAY VARY BY CONFIGURATION. SEE CONFIGURATION SECTION.

Cavity	T-162A
Series	0
Capacity	45 L/min.
Factory Pressure Settings Established at	15 L/min.
Maximum Operating Pressure	350 bar
Maximum Valve Leakage at Reseat	0,7 cc/min.
Response Time - Typical	2 ms
Reseat	>85% of setting
Adjustment - No. of CW Turns from Min. to Max. setting	6
Valve Hex Size	19,1 mm
Valve Installation Torque	27 - 33 Nm
Adjustment Screw Internal Hex Size	4 mm
Locknut Hex Size	12,7 mm
Locknut Torque	9 - 10 Nm
Seal kit - Cartridge	Buna: 990162007
Seal kit - Cartridge	EPDM: 990162014
Seal kit - Cartridge	Polyurethane: 990162002
Seal kit - Cartridge	Viton: 990162006
Model Weight	0.10 kg.

Figura E.1. Ficha técnica de la válvula limitadora de presión.

# F: FICHA TÉCNICA DE LA VÁLVULA 4/3

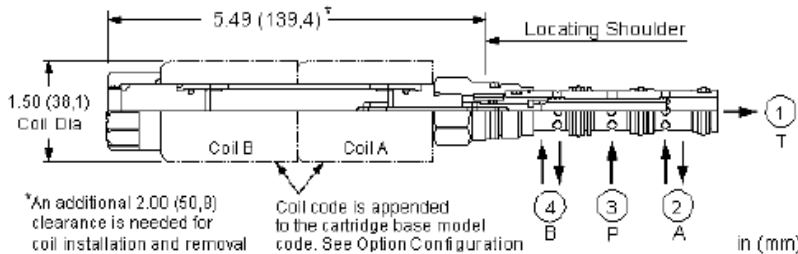
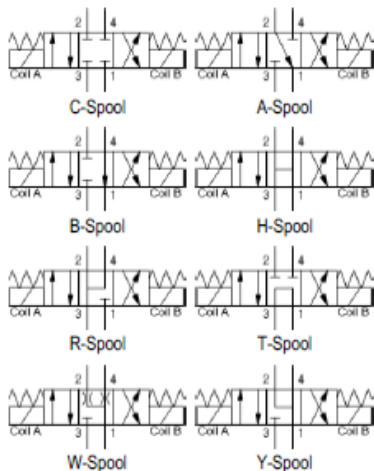


MODEL  
**DNDC**

4-way, 3-position, solenoid-operated directional spool valve  
**SERIES 1 / CAPACITY: 20 L/min. / CAVITY: T-31A**



sunhydraulics.com/model/DNDC



This direct acting, solenoid-operated, 4-way, 3-position spool valve is spring centered to the neutral position. When coil A is energized, the flow is from port 3 (P) to port 2 (A) and from port 4 (B) to port 1 (T). When coil B is energized, the flow is from port 3 to port 4 and from port 2 to port 1.

### TECHNICAL DATA

NOTE: DATA MAY VARY BY CONFIGURATION. SEE CONFIGURATION SECTION.

Cavity	T-31A
Series	1
Capacity	20 L/min.
Maximum Operating Pressure	350 bar
Maximum Valve Leakage at 110 SUS (24 cSt)	160 cc/min.@210 bar
Response Time - Typical	50 ms
Switching Frequency	15,000 max. cycles/hr
Solenoid Tube Diameter	19 mm
Valve Hex Size	22.2 mm
Valve Installation Torque	41 - 47 Nm
Seal kit - Cartridge	Buna: 990431007
Seal kit - Cartridge	EPDM: 990431014
Seal kit - Cartridge	Viton: 990431006
Seal and nut kit - Coil	Viton: 990770006
Model Weight	0.44 kg.

**NOTES** The two coils used in this assembly are interchangeable with one another, but once installed and wired, the coil closest to the hex body is considered Coil A, and the coil closest to the coil nut is Coil B.

### CONFIGURATION OPTIONS

Model Code Example: **DNDCXCN**

CONTROL	(X) SPOOL CONFIGURATION	(C) SEAL MATERIAL	(N) COIL *
<b>X</b> No Manual Override	<b>C</b> Blocked Center A A to T Center B B to T Center H Open Center R Regen Center T Tandem Center W A and B Bleed to T Center Y A and B to T Center	<b>N</b> Buna-N E EPDM V Viton	<b>No coil</b> 212 DIN 43650-Form A, 12 VDC 224 DIN 43650-Form A, 24 VDC 912 Deutsch DT04-2P, 12 VDC 924 Deutsch DT04-2P, 24 VDC * Additional coil options are available

## TECHNICAL FEATURES

- The solenoid tube assembly is fatigue rated for 5000 psi (350 bar) service.
- This valve is direct actuated and requires no minimum hydraulic pressure for operation.
- In differential flow circuits, the higher return flow should be directed through port 2 (A) to port 1 (T).
- Cartridges configured with EPDM seals are for use in systems with phosphate ester fluids. Exposure to petroleum based fluids, greases and lubricants will damage the seals.
- This valve utilizes a wet armature design. This means that the working fluid surrounds the armature and is exposed to the heat generated by the coil. This can be a factor if the coil is energized for long periods of time. Some fluids, notably water/glycol mixtures, break down at these temperatures over time and form varnishes that will affect the function of the cartridge.
- A wide variety of coil termination and voltage options are available, with and without surge protection. See the CONFIGURATION section.
- The solenoid's unique magnetic design results in a high efficiency solenoid, yielding high spool actuating force per Watt expended, leading to reliable valve shifting.
- Coils are interchangeable with other Sun Series 1 solenoid products and can be mounted on the tube in either direction.
- Coil connector options offer ratings up to IP69K. See individual coil product pages for details. Additional weatherized coils and kits are available for more complete environmental protection.
- Incorporates the Sun floating style construction to minimize the possibility of internal parts binding due to excessive installation torque and/or cavity/cartridge machining variations.

## PERFORMANCE CURVES

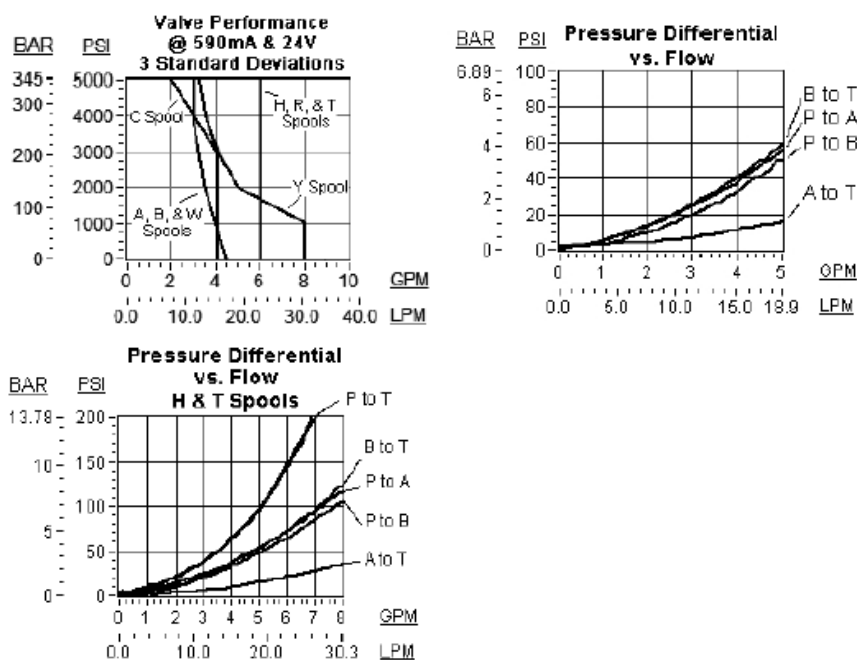


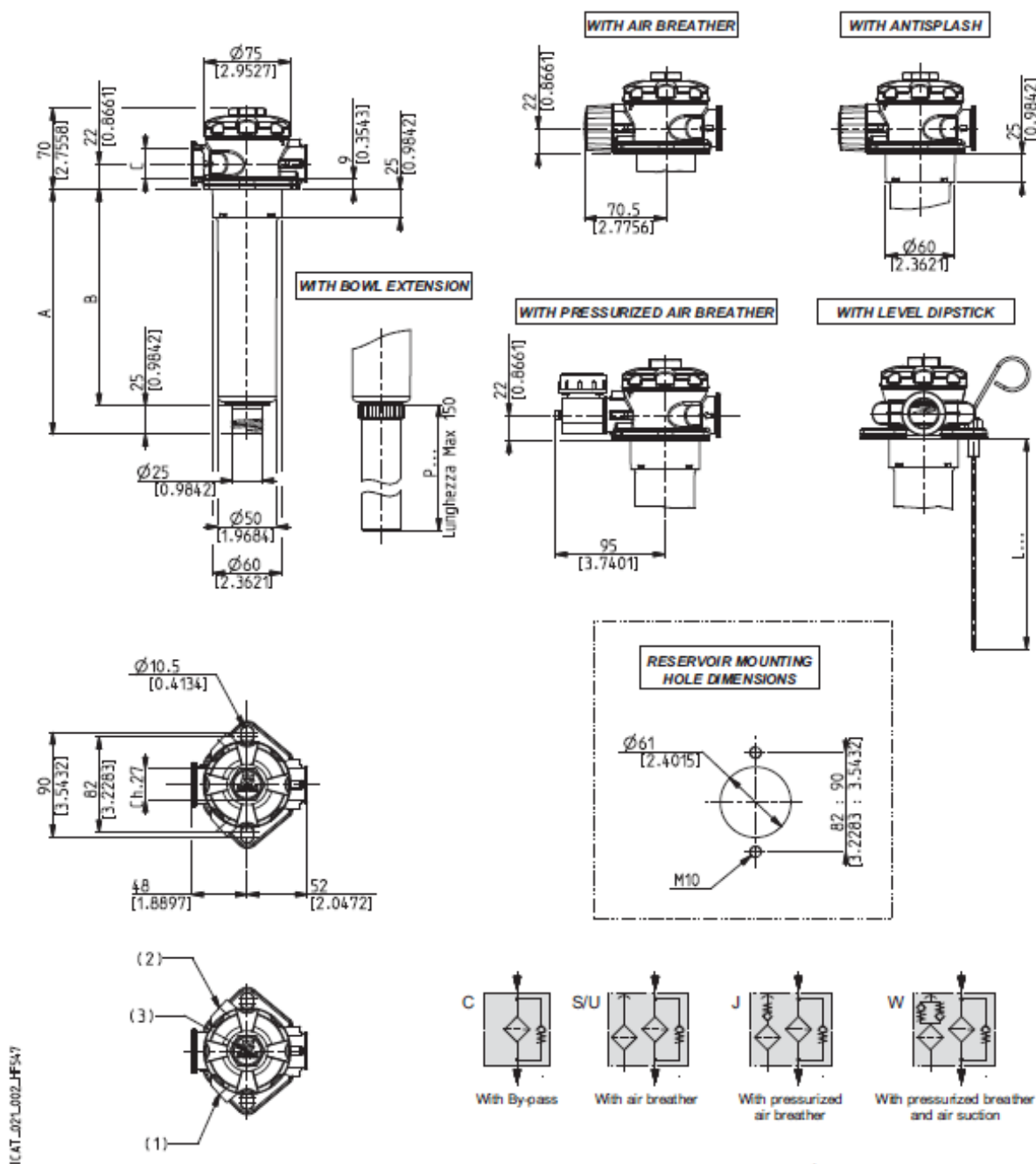
Figura F.1. Ficha técnica de la válvula 4/3.

### G.1: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FILTRO DE RETORNO



HF 547

#### HF 547-10 DIMENSIONS



ICAT\_001\_002\_HF547

\* Antifoam diffusers are available.

Filter type	Weight kg (lbs)	A mm(in)	B mm(in)	C (GAS - BSPP)		(1)(2)(3) (GAS-BSPP)	(1)(2)(3) (GAS - BSPP)
				Standard	On request	Secondary inlet	Indicators
<b>HF 547-10.095</b>	0,50 (1.10)	112 (4.4094)	87 (3.4251)	G 1/2	G 3/8 - G 3/4		
<b>HF 547-10.145</b>	0,55 (1.21)	162 (6.3779)	137 (5.3938)	G 3/4	G 3/8 - G 1/2	G 1/4 (1)-(2) G 1/2 (3)	G 1/8
<b>HF 547-10.195</b>	0,60 (1.32)	212 (8.3464)	187 (7.3621)				

Figura G.1.1. Ficha técnica del filtro de retorno.

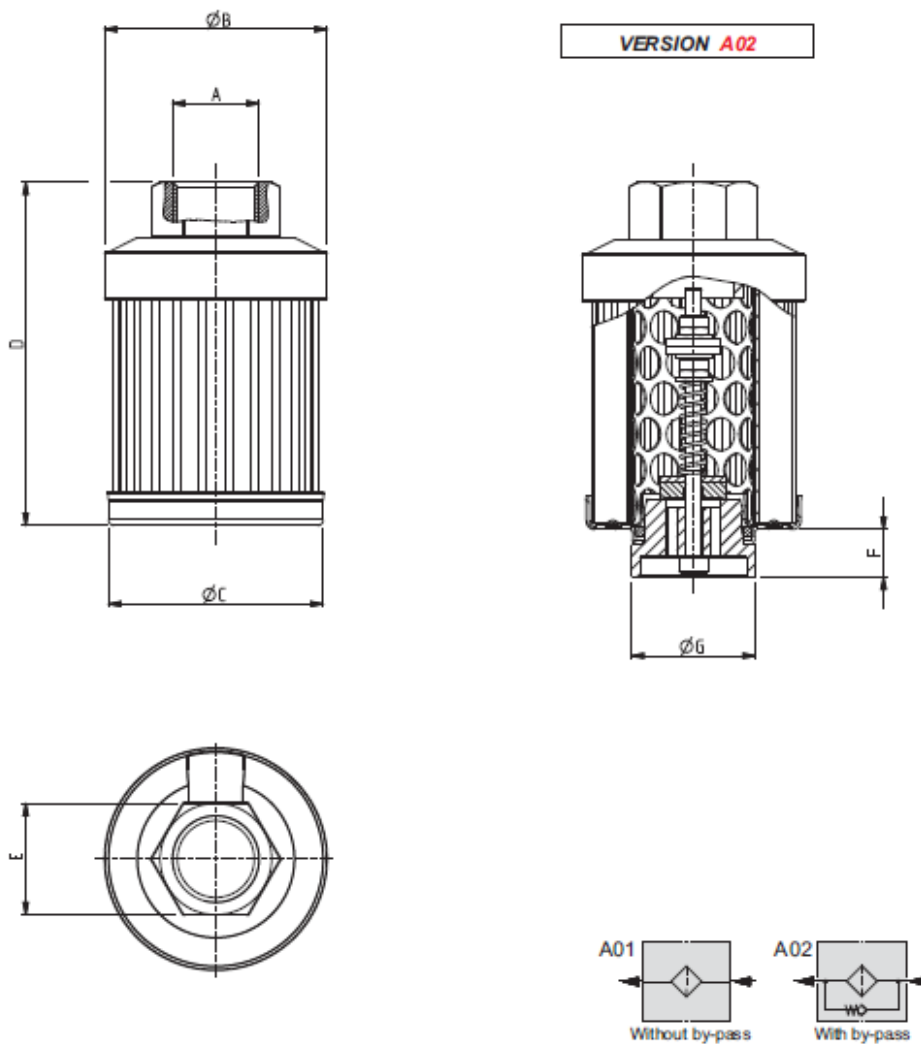


## G.2: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FILTRO DE SUCCIÓN



HF 410 / HF 412

### HF410-10 DIMENSION



ICAT\_004\_001HF10

01/05.2011

Filter type	Weight	A (Thread GAS-BSPP)		ØB	ØC	D	E	F	G
	kg (lbs)	Standard	On request	mm (in)	mm (in)	mm (in)	mm (in)	mm (in)	mm (in)
<b>HF 410-10.060</b>	0,10 (0.22)	G 3/8	G 1/2	54 (2.1259)	52 (2.0472)	84 (3.3070)	27 (1.0629)	12 (0.4724)	30 (1.1810)

Figura G.2.1. Ficha técnica del filtro de succión.

### G.3: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FILTRO DE LLENADO



HB 50

## HB 50 FILLER CAP WITH AIR BREATHER

### TECHNICAL DATA

HB50 filler caps are used for air filtration and filling the reservoir.

The cap's cover is made of chromium plated steel while all the other components are zinc-plated steel.

For the air filtration 10 and 40  $\mu\text{m}$  built-in-media are available.

They can also feature a basket to pre-filter the incoming oil avoiding macroparticle contamination and a level dipstick available in three different heights.

The tank connection can be made through flanges with screws, welding flanges or directly with a 1/4" GAS male thread. Another option is the chainlet that keeps the cap connected with the flange beneath.

- Chromium-plated steel cover
- Level dipstick on board

MATERIALS	
Cap	Chromium-plated steel
Basket	Zinc-plated steel
Level dipstick	Zinc-plated steel
Fixing flange with screws	Zinc-plated steel
Welding flange	Steel
Chainlet	Zinc-plated steel
Seals	Buna
Filtering media	Polyurethane

FLOW	
10 $\mu\text{m}$ air filter	66.0 US gpm (250 l/min)
40 $\mu\text{m}$ air filter	75.3 US gpm (285 l/min)

WEIGHT	
0.15 + 0.20 lbs (0,07 + 0,09 Kg)	

WORKING TEMPERATURE	
-22 + 195 °F (-30 + 90 °C)	

FLUID COMPATIBILITY	
Conforming to ISO 2943 (Norm ISO 6743/4)	
Mineral Oils	HH - HL - HM - HR - HV - HG
Water emulsions	HFAE - HFAS
Glycol water	HFC
Synthetic fluids	HS - HFDR - HFDU - HFDS
Special versions compatible with the use of different fluids are available.	

01/09.2011

Figura G.3.1. Ficha técnica del filtro de llenado.

## H: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SENSOR DE PROXIMIDAD



Tech Support: [services@elecfreaks.com](mailto:services@elecfreaks.com)

### Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

#### Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The module includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

#### Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

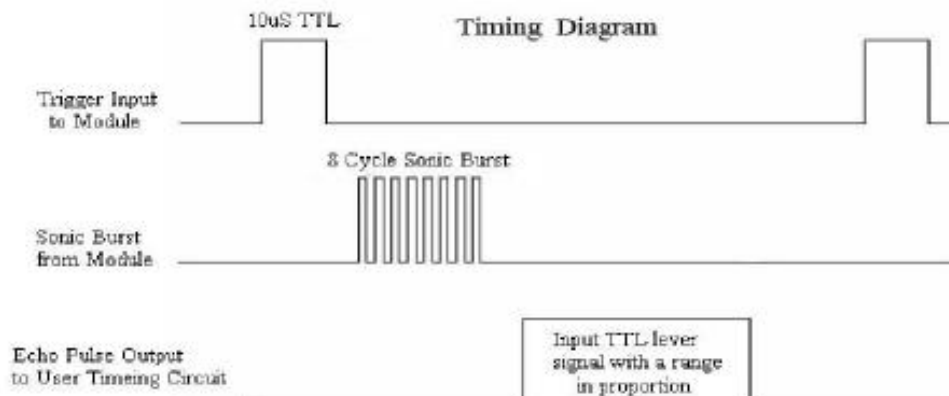
#### Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm



### Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10 $\mu$ S pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion. You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula:  $\mu\text{S} / 58 = \text{centimeters}$  or  $\mu\text{S} / 148 = \text{inch}$ ; or: the range = high level time \* velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



## Características

- **Microcontrolador:** *ATmega328*
- **Voltaje Operativo:** *5v*
- **Voltaje de Entrada (Recomendado):** *7 – 12 v*
- **Pines de Entradas/Salidas Digital:** *14 (De las cuales 6 son salidas PWM)*
- **Pines de Entradas Análogas:** *6*
- **Memoria Flash:** *32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader.*
- **SRAM:** *2 KB (ATmega328)*
- **EEPROM:** *1 KB (ATmega328)*
- **Velocidad del Reloj:** *16 MHZ.*

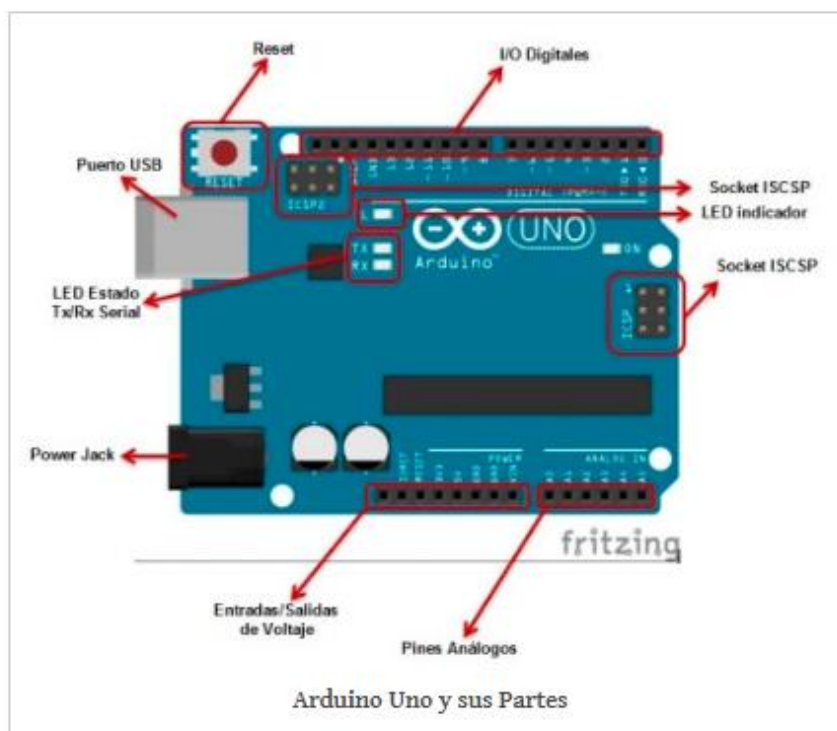


Figura H.1. Datos técnicos del sensor de proximidad HC-SR04.

<https://pluselectric.wordpress.com/2014/09/21/arduino-uno-especificaciones-y-caracteristicas/>

## V: DISEÑO ERGONÓMICO PARA EL USUARIO

Para el diseño se ha de tener en cuenta la interacción tanto del usuario como del operario. Según estudios acerca de ergonomía en Asia se ha usado el 5 percentil de la mujer, lo cual determina que la altura máxima de la mesa será de 130cm lo que facilita la manipulación de las piezas con el fin de armar el módulo y no exigirá ningún movimiento brusco que ponga en peligro la salud. Y una altura promedio de 115 cm de altura al panel de botones que se usarán para controlar el sistema mecatrónico.

Se considera movimientos peligrosos a doblar la espalda o estirar los brazos completamente hacia arriba.

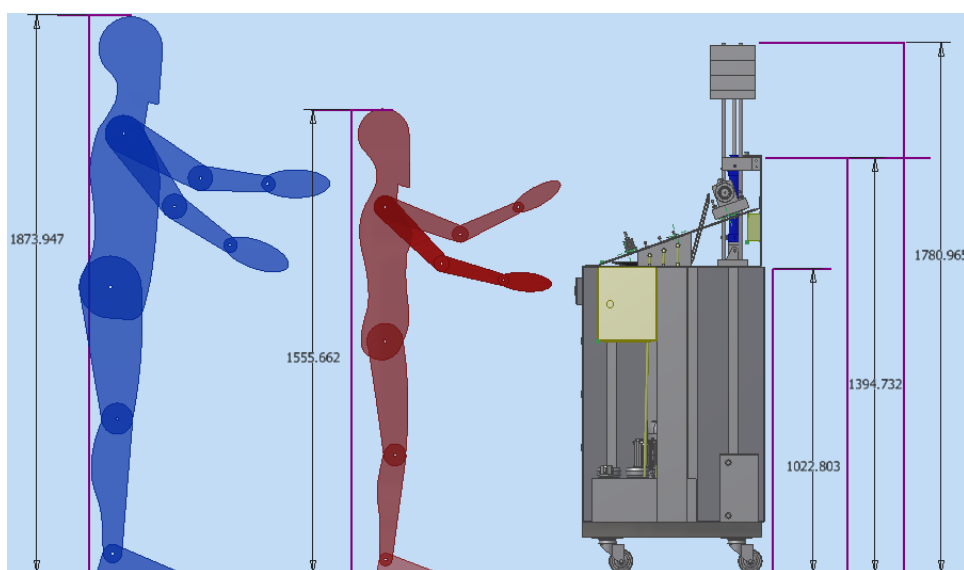


Figura V.1. Percentil hombre y 5 percentil mujer frente al módulo Oleohidráulico.

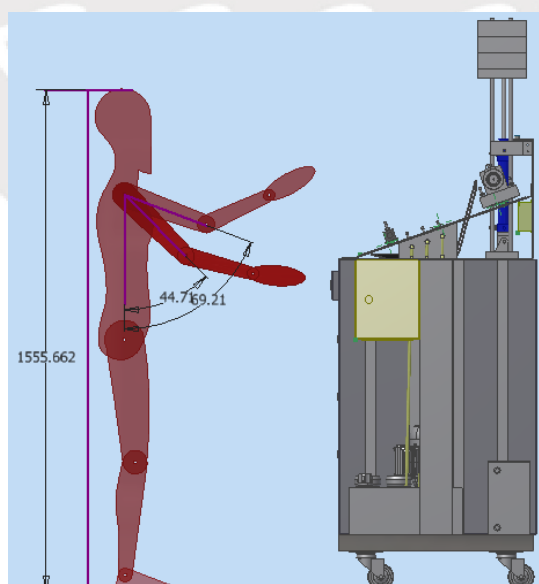


Figura V.2. Dimensiones y ángulos que forman el hombro y la espalda (mujer, 5 percentil).

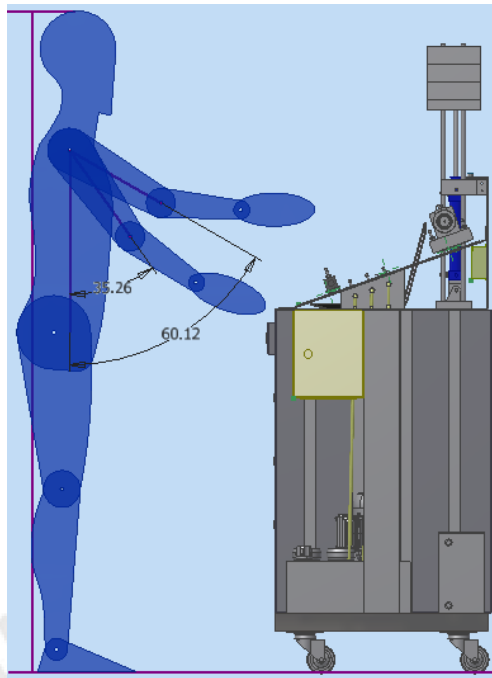
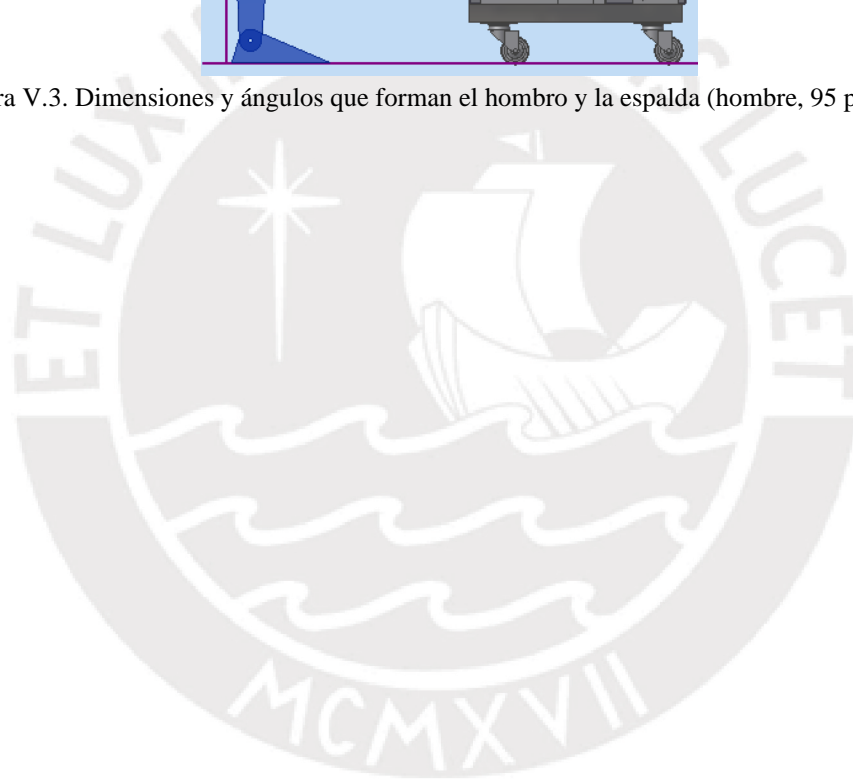


Figura V.3. Dimensiones y ángulos que forman el hombro y la espalda (hombre, 95 percentil).



## W: DISEÑO ERGONÓMICO PARA EL PERSONAL TÉCNICO

Cuenta con suficiente espacio para que el personal técnico de mantenimiento al módulo.

En la parte derecha cuenta con gran espacio para la instalación del motor, bomba y demás componentes. Por otro lado, al momento de usar la máquina las puertas se deben cerrar para así disminuir el ruido provocado por dichos componentes.

De acuerdo al artículo 5° de la Ley N° 27711 del Ministerio del Trabajo y Promoción del Empleo, para el diseño del módulo se debe tener en cuenta lo siguiente (Sólo se tomarán en cuenta los puntos considerados más críticos para el operario al momento de manipular el módulo).

### 1. Límites permisibles según la carga:

#### 1.1 Carga manual

La ley peruana que busca salvaguardar en lo posible la salud y seguridad del operario.

Es de importante consideración el peso del grupo hidráulico que puede sobrepasar fácilmente los 40 Kg, cerca al peso admisible. Este solo se moverá para darle mantenimiento, pero como se sabe, los grupos hidráulicos no necesitan casi de mantenimiento. Tomando en cuenta la carga manual que puede manejar un operario, se presenta la recomendación NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) en la tabla B.1:

Tabla B.1 Valores permisible de carga para una persona. Fuente: Ley 27711 del Ministerio del Trabajo.

Situación	Peso máximo	% de población protegida
En general	25 Kg.	85 %
Mayor protección	15 Kg.	95 %
Trabajadores entrenados y/o situaciones aisladas	40 kg.	No disponible

Para el que se quiera desplazar el grupo hidráulico se recomienda usar una paleta o un carrito para evitar problemas en la columna del operario. En el caso del módulo entero, es imposible que sea cargado por una sola persona ya que sobrepasará por mucho el límite admisible. Por lo que se deberá transportar con ayuda de maquinaria de transporte.

En el momento en que los trabajadores adolescentes y las mujeres sean designados para la manipulación manual de carga, el peso máximo de carga debe ser inferior a la permitida para los hombres, de acuerdo a la tabla B.2.

Tabla B.2. Valores permisibles de carga para mujeres y adolescentes. Fuente: Ley 27711 del Ministerio del Trabajo.

Situación	Peso máximo	% de población protegida
En general	15 Kg.	85 %
Mayor protección	9 Kg.	95 %
Trabajadores entrenados y/o situaciones aisladas	24 kg.	No disponible



Cuando las **cargas sean mayores a 25 kg para los varones y 15 kg para las mujeres**, el empleador deberá favorecer la manipulación de las cargas con **ayuda mecánica apropiada**.

Se debe tener en cuenta que el peso máximo (carga máxima recomendada) no está dada por el peso del objeto en sí, sino por la ecuación de NIOSH (1994):

$$LPR = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

Donde:

LC: Constante de carga

HM: Factor de distancia horizontal

VM: Factor de altura

DM: Factor de desplazamiento vertical

AM: Factor de asimetría

FM: Factor de frecuencia

CM: Factor de agarre

### 1.1 Transporte y manipulación de la carga

Debido a que el esfuerzo hecho por el operario no es el mismo al transportar a una carga del reposo, detenerla o moverla, es por eso que también se han definido valores para cargas en reposo y en movimiento. Los valores exactos se muestran en la tabla B.3.

Tabla B.3. Carga permisible FUENTE: TÍTULO III MANIPULACIÓN MANUAL DE CARGA LEY 27711 del Ministerio del Trabajo

Condición	Hombres	Mujeres
Fuerza necesaria para sacar del reposo o detener una carga	25kg	15kg
Fuerza necesaria para mantener la carga en movimiento	10kg	7kg

Así mismo, de debe tratar de reducir cargas de dimensiones mayores a 60cm x 60cm; en este caso no hay problema con el grupo hidráulico ya que sus medidas serán menores a esta; pero en el caso del módulo entero está claro que, como se mencionó líneas más arriba, se deberá contar con ayuda de maquinaria de transporte.

En cuanto a la ruta final que se va a seguir al momento de trasladar el equipo, también se debe reducir al máximo a fin de que se haga el menor esfuerzo posible.

## 2. Análisis de riesgo:

Para asegurar la mayor seguridad posible para el operario es necesario tener algunas consideraciones, tales como: posición de trabajo, esfuerzo realizado por las diferentes partes del cuerpo (no se limita al esfuerzo muscular), factores de riesgo disergonómico, entre otros.

### 2.1 Posición de trabajo:

Para determinar la posición de trabajo óptima se debe tener en cuenta que las cajas contenedoras y los elementos que conforman el módulo estén a la mano y que deben evitarse posiciones que generen flexión y torsión en el cuerpo, además la espalda no debe estar inclinada hacia adelante más de  $30^\circ$  (de acuerdo a la Ley 27711 del Ministerio del Trabajo), por lo tanto, la posición seleccionada para dar mantenimiento al módulo es de cuclillas. Posteriormente, para retirar el grupo hidráulico se deberá optar por maquinaria de transporte o un carrito, teniendo en cuenta que debe flexionar las rodillas para no dañar su espalda.

### 2.2 Factores de riesgo para el operario:

En la Ley 27711 también se mencionan factores que pueden ser de riesgo para el operario, estos son: exposición al ruido, aceleraciones excesivas de miembros del cuerpo, exceso de la vista, iluminación, condiciones ambientales, etc.; debido a que nuestro contexto son laboratorios en la Pontificia Universidad Católica del Perú (no existen condiciones extremas) pero sí para tener cuidado.

### 2.3 Factores de riesgo disergonómico:

Los puntos más críticos en cuanto a la manipulación del módulo son la inclinación de la espalda y la posición de cuclillas, posturas incómodas o forzadas (figura B.1), ya que en un día normal de trabajo no hay acciones que impliquen levantamientos frecuentes, movimientos repetitivos (ya que casi no necesitará de mantenimiento), esfuerzos, vibraciones o impactos.

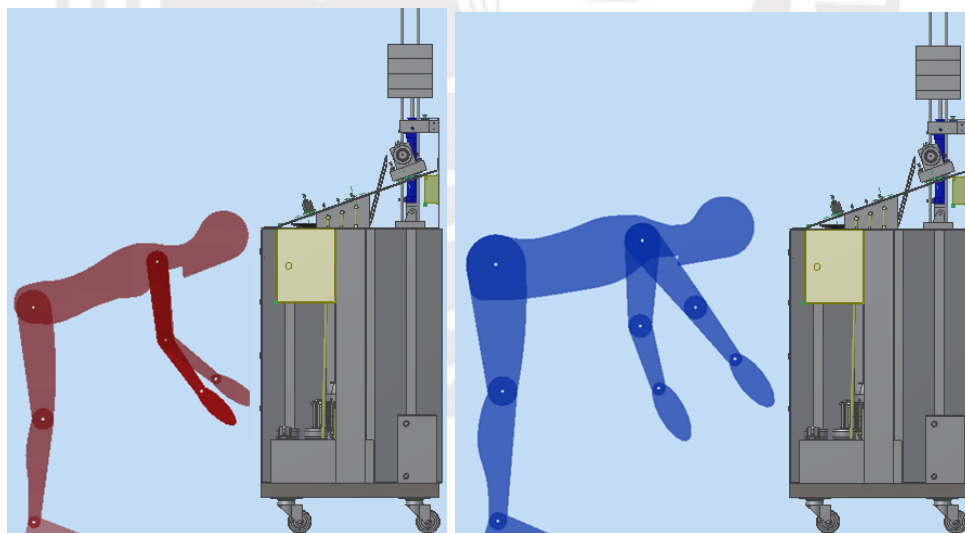


Figura W.1. Mala postura del operario (5 percentil mujer y 95 percentil hombre respectivamente) al retirar el grupo hidráulico para darle mantenimiento.

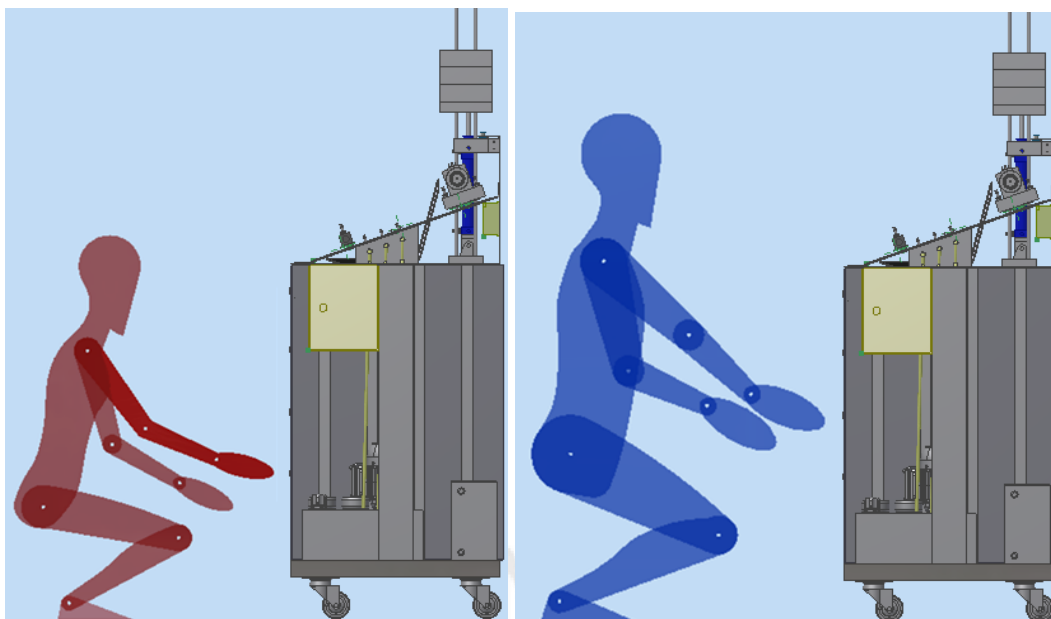


Figura W.2. Correcta postura del operario (5 percentil mujer y 95 percentil hombre respectivamente) al retirar el grupo hidráulico para darle mantenimiento.



## X: CIRCUITO DE CONTROL DE TEMPERATURA

En este Anexo, se mostrarán solo los planos eléctricos y los electrónicos:

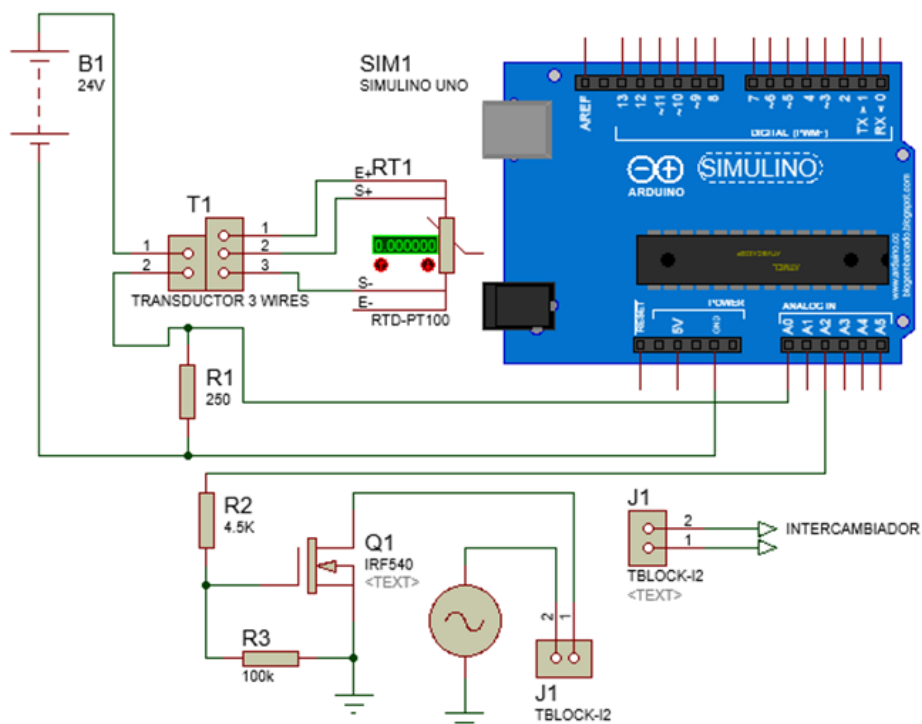


Figura X.1. Circuito controlador de temperatura

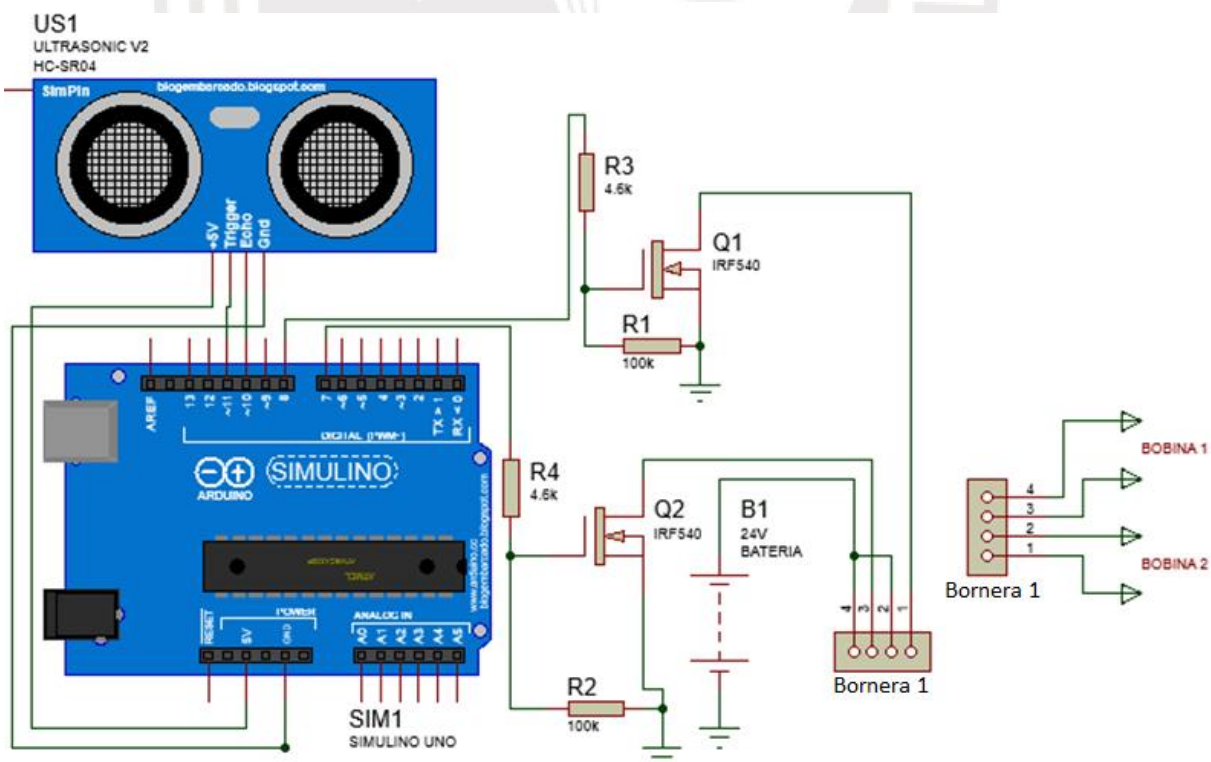


Figura X.2. Diseño del circuito regulador de voltaje necesario para el control de la válvula de flujo.

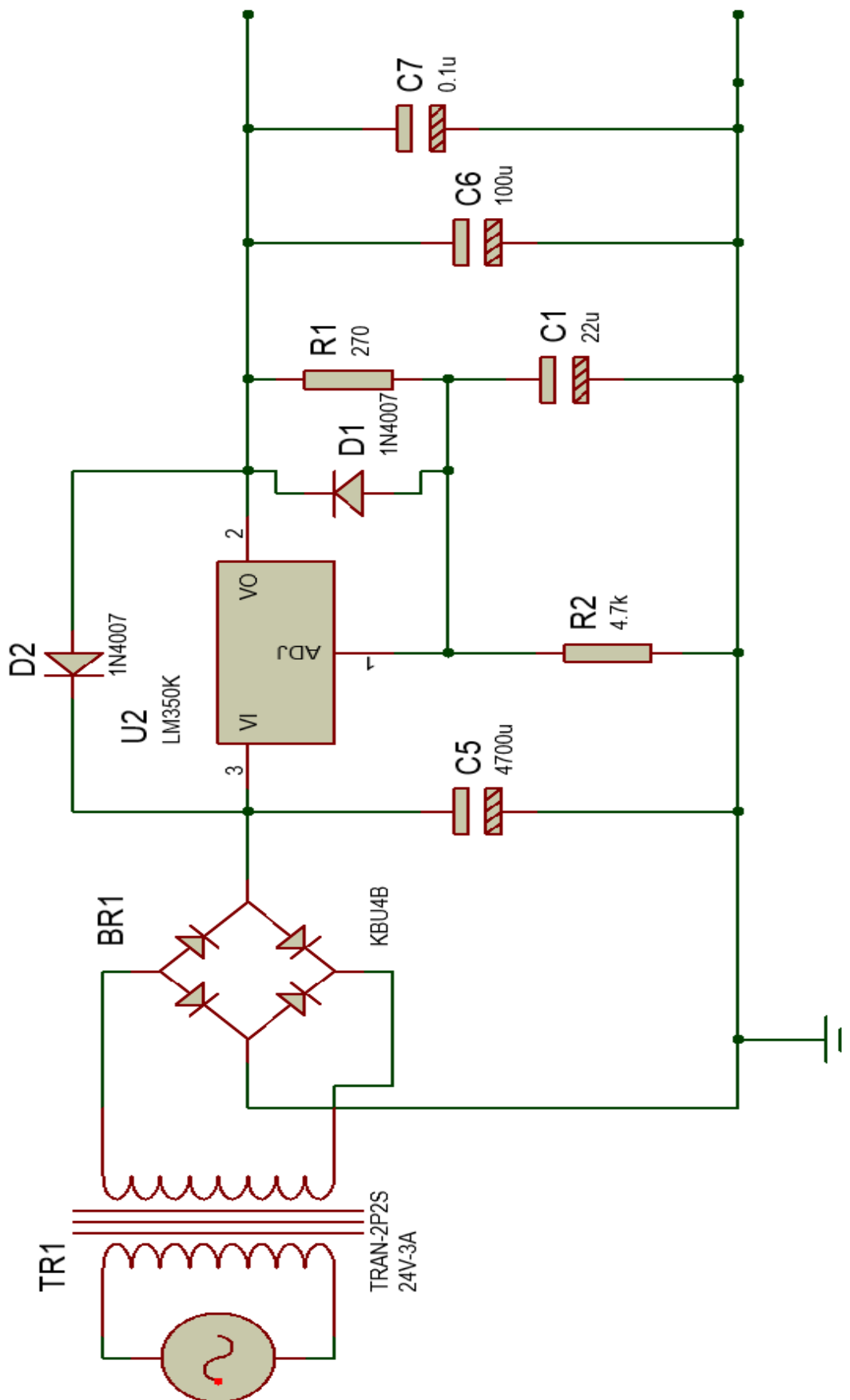


Figura X.3. Circuito regulador de voltaje 24VDC 3A. Fuente: [www.Eletronics.com](http://www.Eletronics.com)

## Y: ESQUEMA HIDRÁULICO DEL SISTEMA MECATRÓNICO

En este Anexo se muestra el plano hidráulico del proyecto.

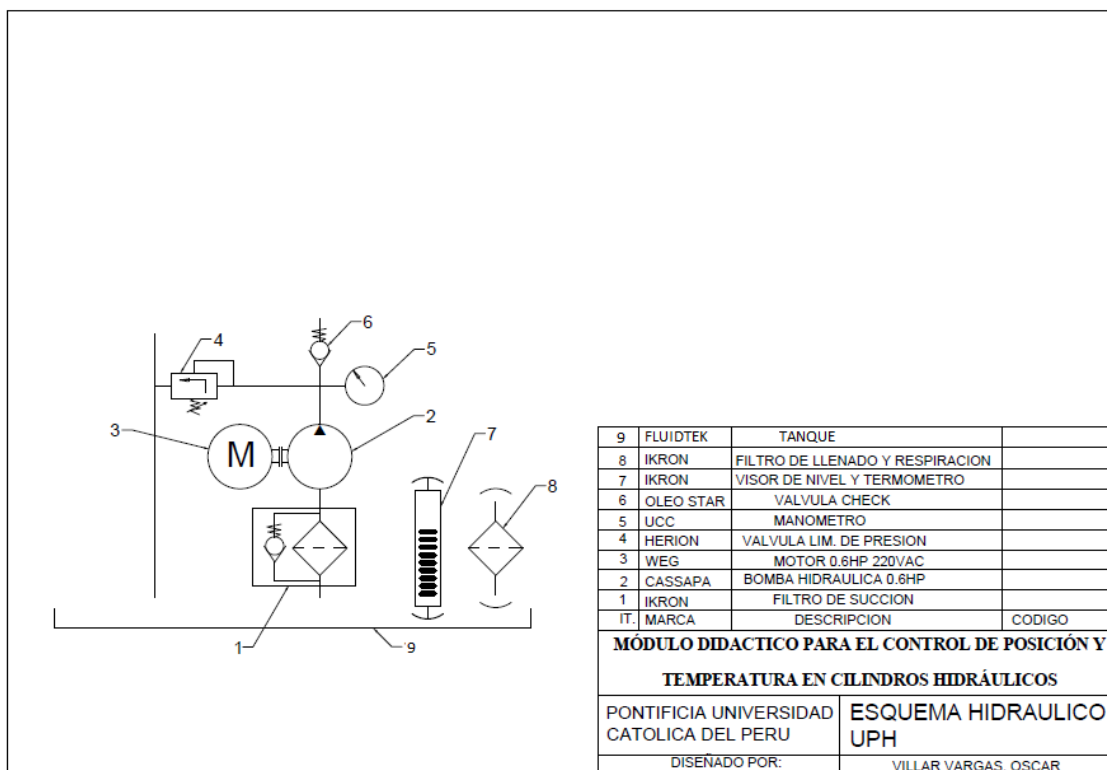


Figura Y.1. Esquema hidráulico del sistema mecatrónico

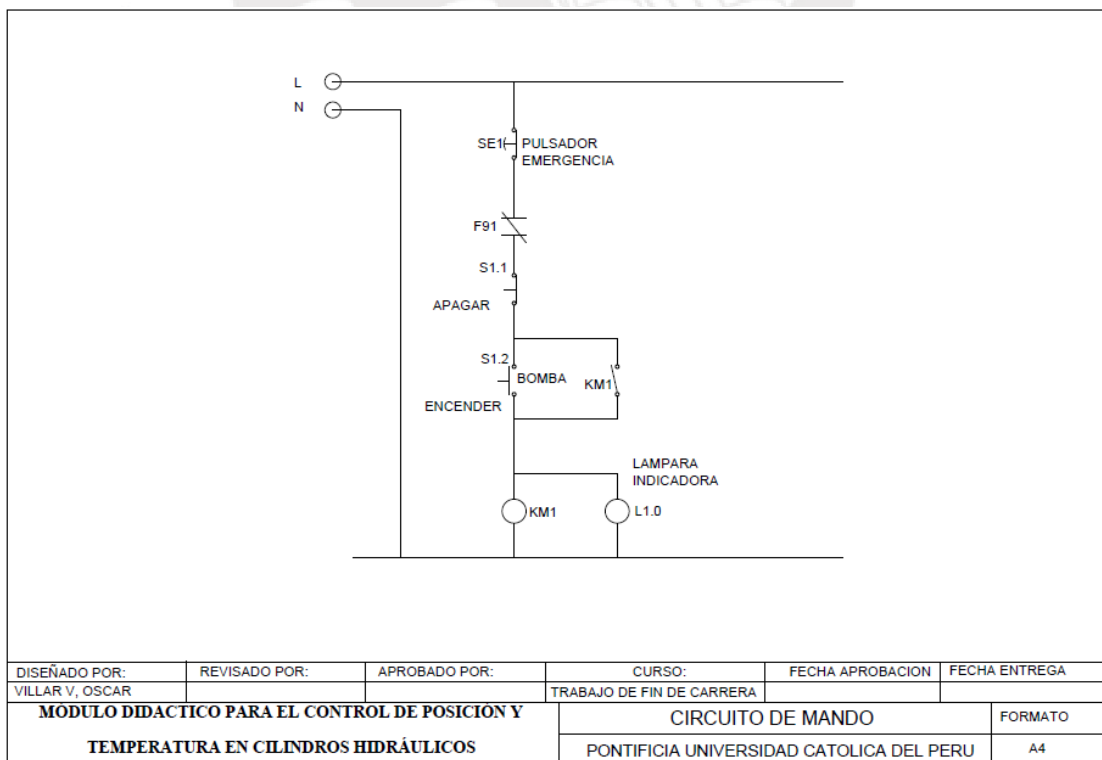


Figura Y.2. Esquema del Circuito de mando de la bomba hidráulica

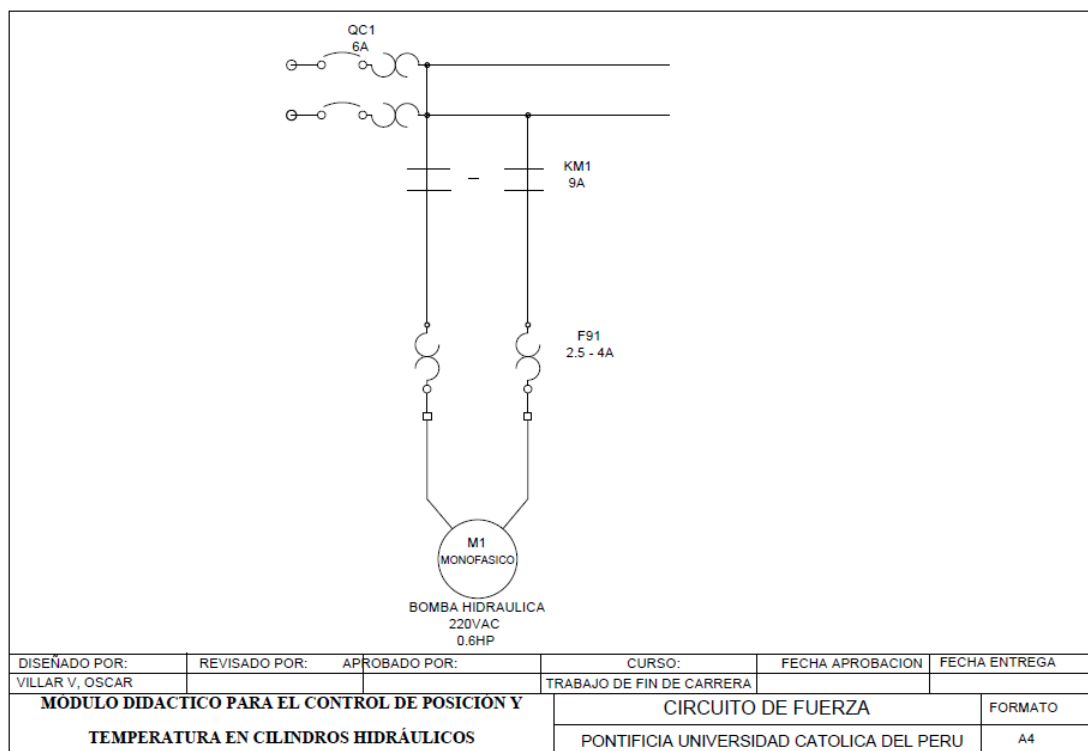


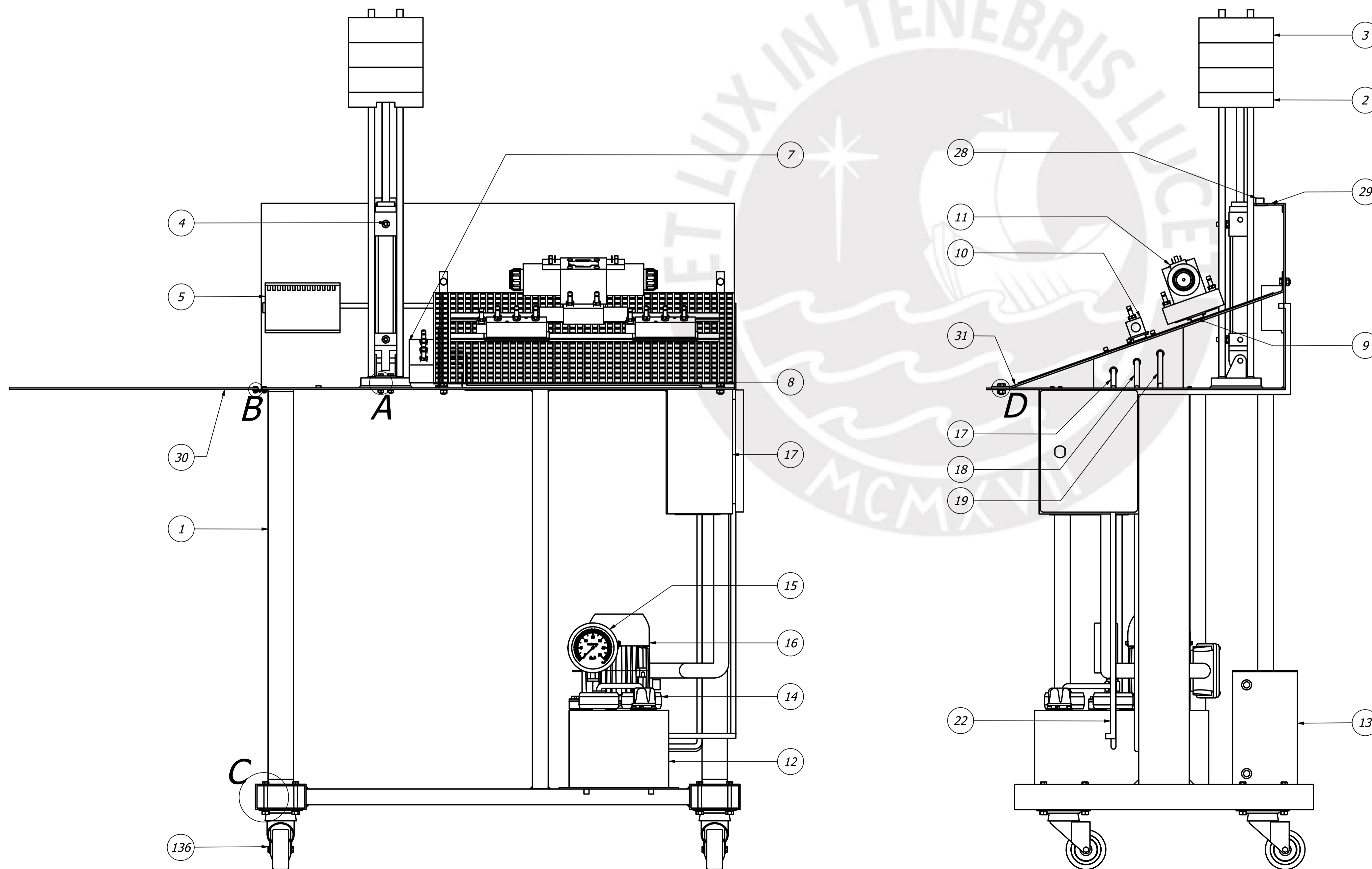
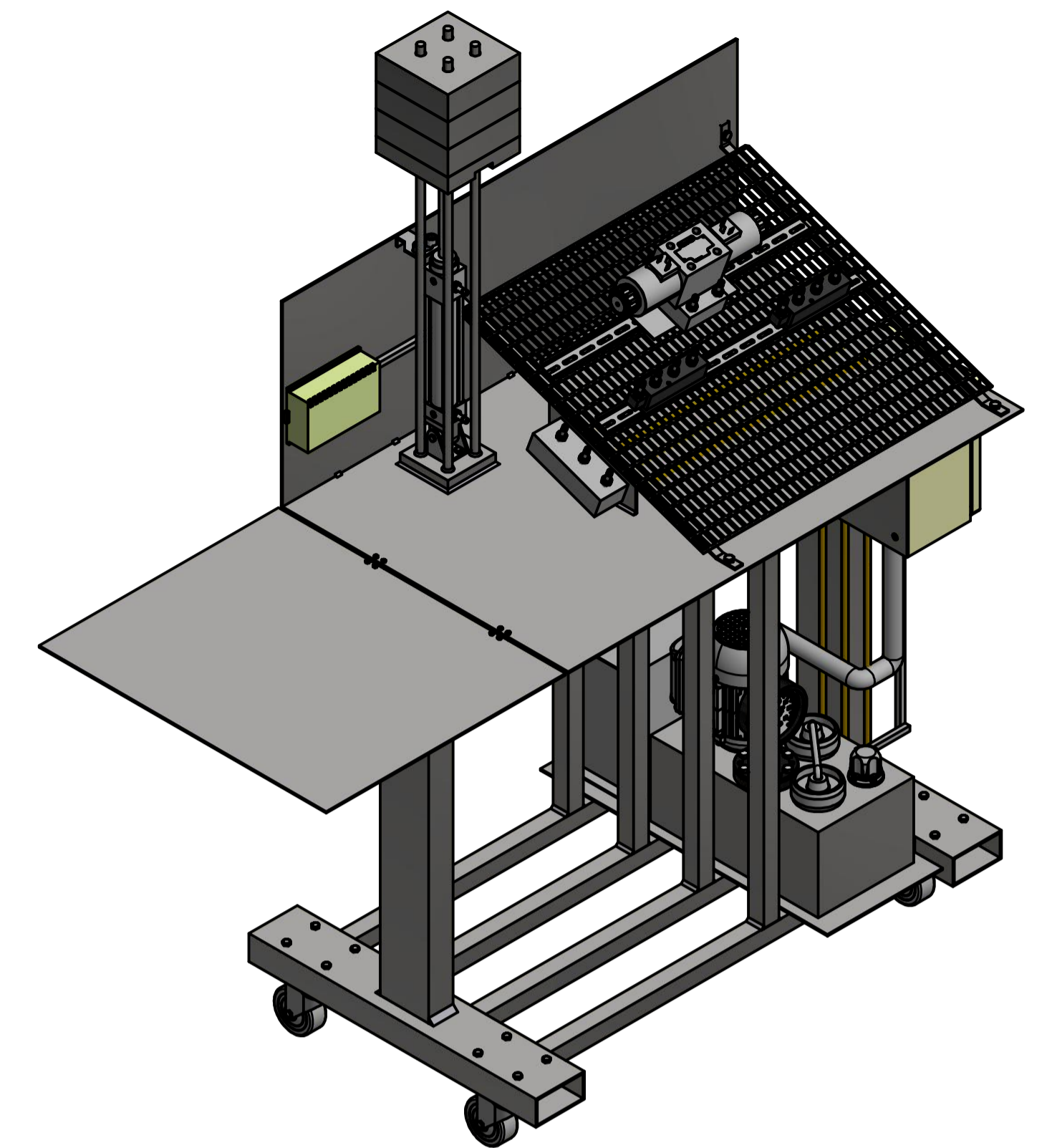
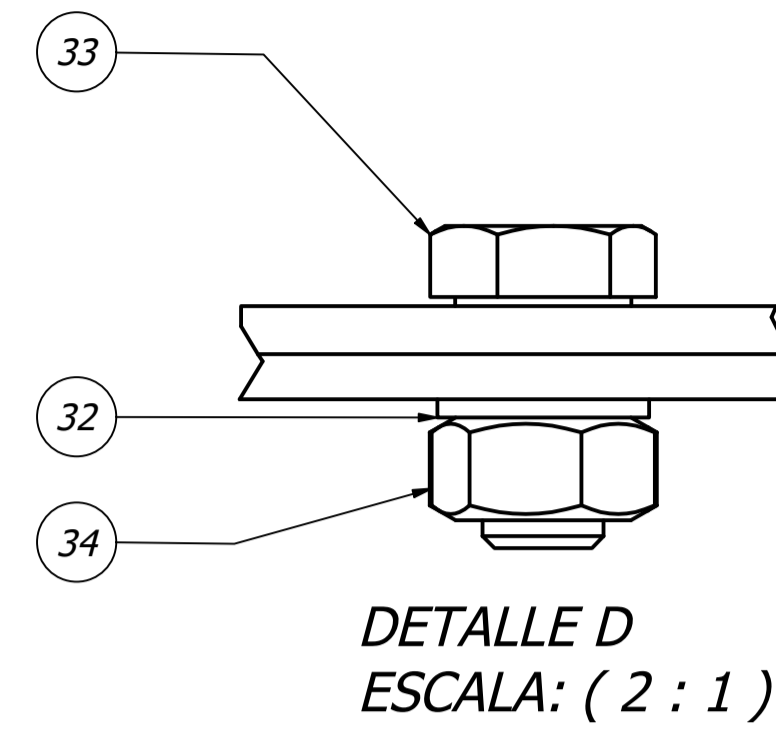
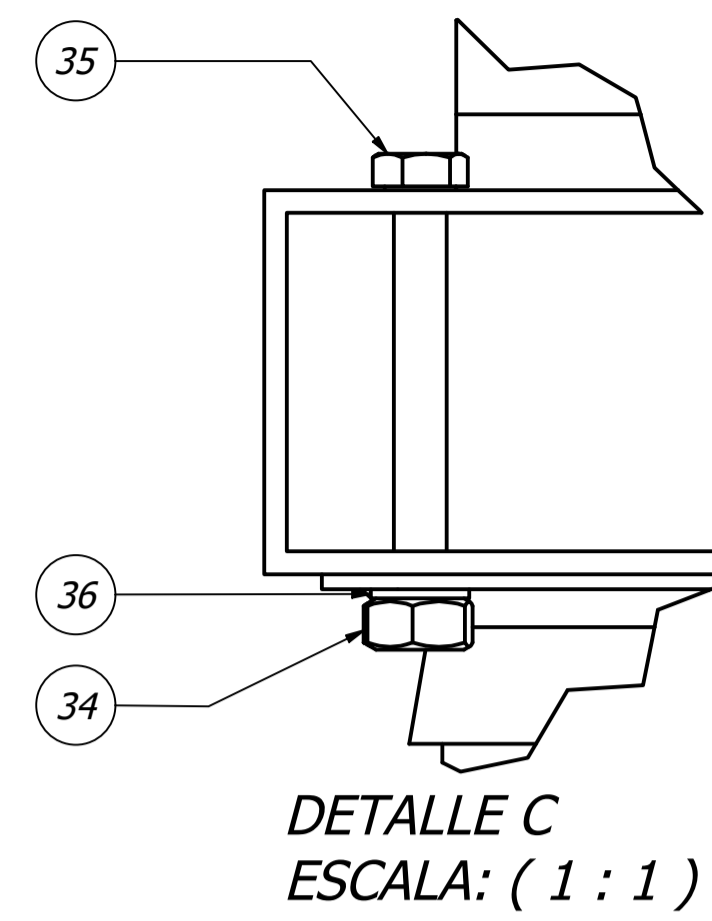
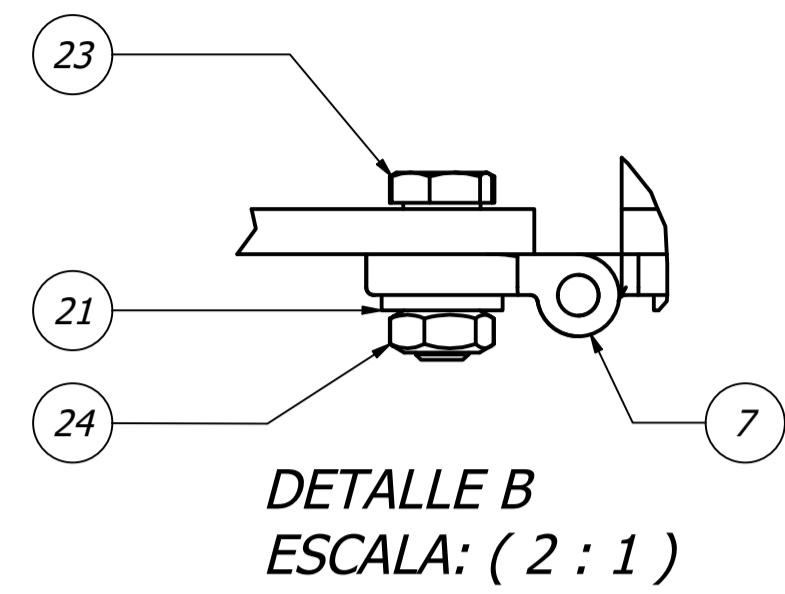
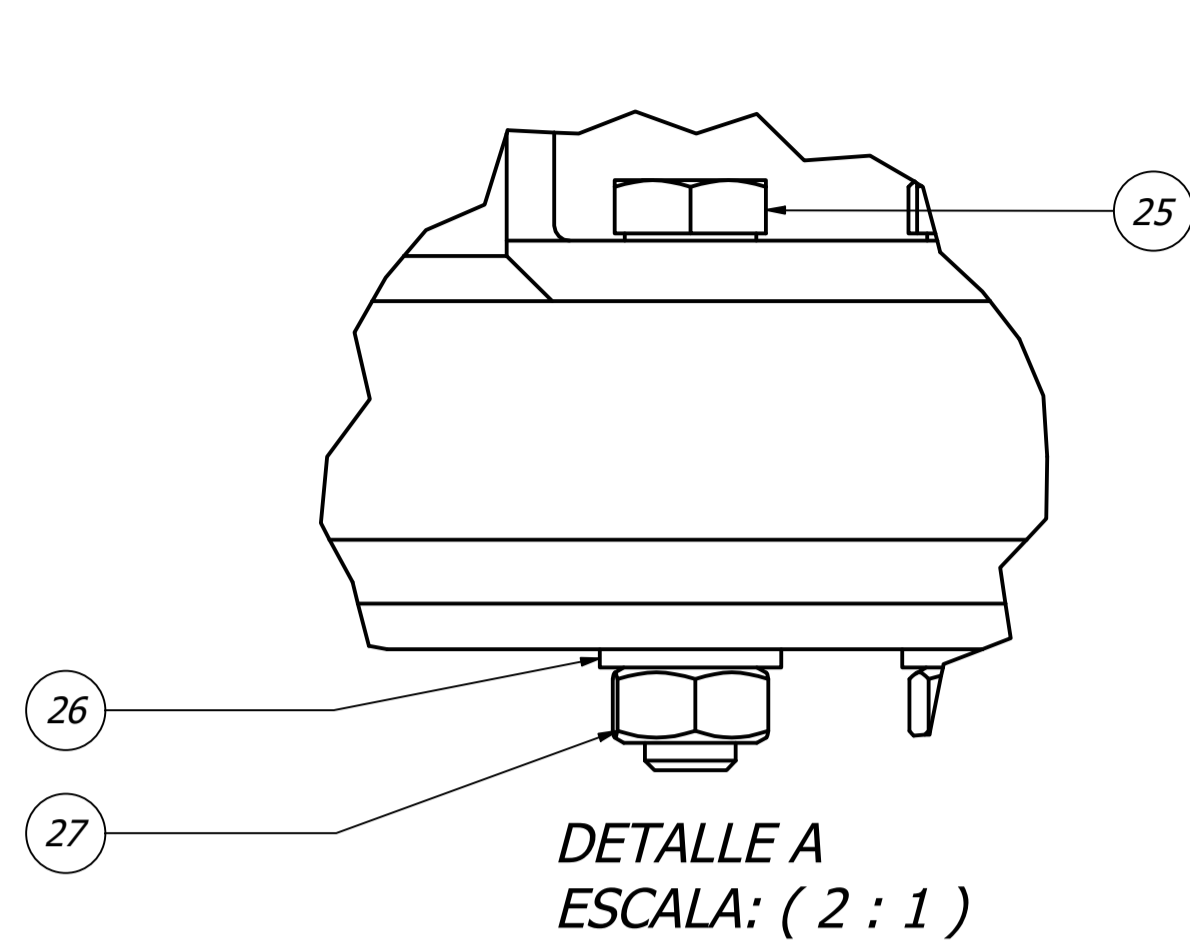
Figura Y.3. Esquema del Circuito de fuerza de la bomba hidráulica

**Z: PLANOS MECÁNICOS**

A continuación se muestran los planos mecánicos de todo el sistema:



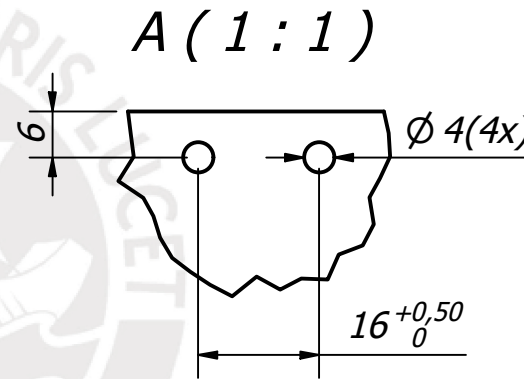
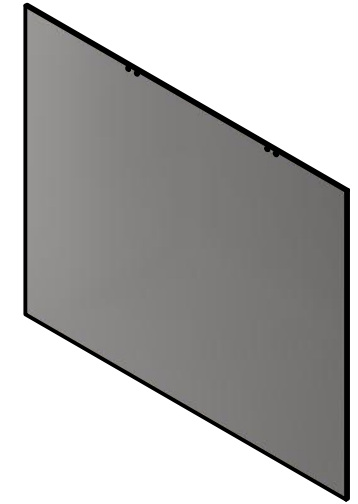
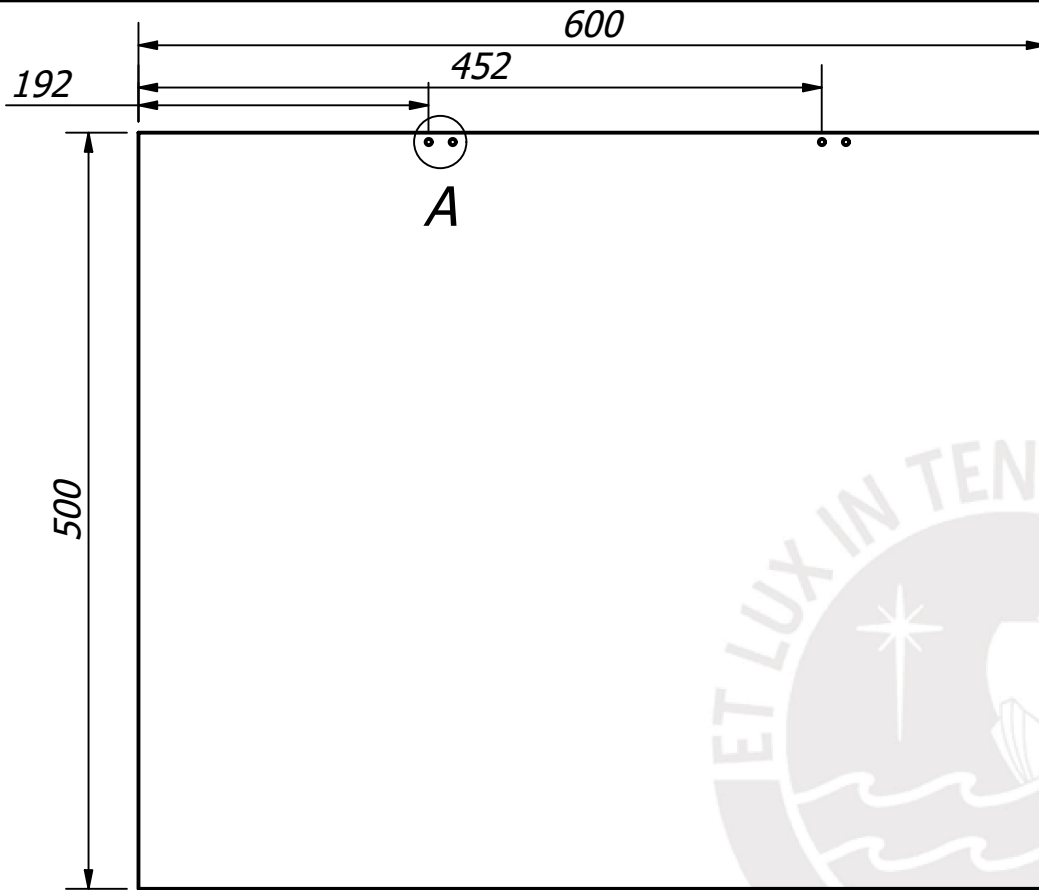




36	16	Arandela para tornillo S7 x 13	DIN 988	SAE 1045	
35	16	Tornillo hexagonal M7 x 60	DIN 933	SAE 1045	
34	20	Tuerca hexagonal M8	ISO 4032	SAE 1045	
33	4	Tornillo hexagonal M8 x 16	DIN EN 24 017	SAE 1045	
32	4	Arandela para tornillo S8 x 14	DIN 988	SAE 1045	
31	2	Soporte para malla		ASTM A36	
30	1	Mesa para laptop		ASTM A36	
29	1	Soporte para sensor ultrasónico		PVC	
28	1	Sensor ultrasónico HC-SR04		Genérico	
27	4	Tornillo hexagonal M6	DIN 934	SAE 1045	
26	4	Arandela para tornillo S6 x 12	DIN 988	SAE 1045	
25	4	Tornillo hexagonal M6 x 35	DIN 933	SAE 1045	
24	8	Tuerca hexagonal M3.5	DIN 934	SAE 1045	
23	8	Tornillo hexagonal M3.5 x 10	DIN 933	SAE 1045	
22	4	Tornillo hexagonal M4 x 10	DIN 934	SAE 1045	
21	12	Arandela para tornillo S4 x 8	DIN 988	SAE 1045	
20	4	Tornillo hexagonal M4 x 10	DIN 933	SAE 1045	
19	1	Manguera 1/2" 1.286mm		Genérico	1750 PSI
18	1	Manguera 1/2" 1.279mm		Genérico	1750 PSI
17	1	Manguera 1/2" 1.262mm		Genérico	1750 PSI
16	1	Motor Asincrono 1.5HP 220VAC		Genérico	Jaula de Arrollo- WEG
15	1	Manómetro 1/2" NPT - WINTERS		Genérico	SS304 Glicerina 600 PSI
14	2	Sensor de temperatura PT100		Genérico	
13	1	Radiador 220VAC 24VDC		Genérico	1050 m3/h -WHE
12	1	Tanque 32x18x21mm		ASTM A36	JIC
11	1	Válvula 3/4 ON/OFF		Genérico	Sunhydraulics, DNDC
10	2	Bloque de distribución		Genérico	FLUIDTEK
9	2	Carril DIN		Genérico	NS 35/7.5 perforado 540mm
8	1	Malla para fijación de piezas		ASTM A36	
7	1	Bloque T, P, Y		Genérico	FLUIDTEK
6	1	Cilindro hidráulico doble efecto - FLUIDTEK, CHA		Genérico	Émbolo 40mm. Vástago 16mm
5	1	Arduino UNO		Genérico	
4	1	Base soporte de Cilindro		ASTM A36	
3	3	Pesa		ASTM A36	SUB DESPIECE
2	1	Base para pesas		ASTM A36	SUB DESPIECE
1	1	Estructura principal		Genérico	SUB ENSAMBLE

POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN Y TEMPERATURA EN CILINDROS HIDRÁULICOS		ESCALA	
		<b>ENSAMBLE GENERAL</b>		<b>1:5</b>	
20074112		VILLAR VARGAS, OSCAR JAVIER		FECHA: 2020.09.14	
				PLANO: A1.E001	





Espesor de la plancha 3mm

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168	MATERIAL ASTM A36
----------------------------	--------------------------------	----------------------

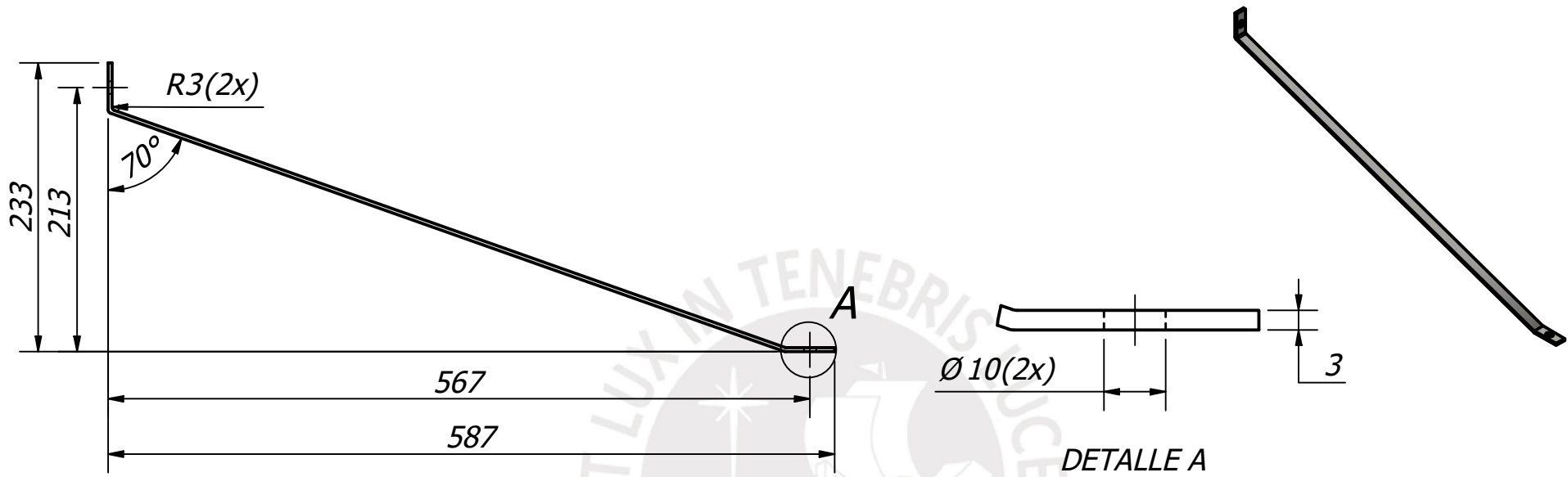
**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
FACULTADA DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN Y TEMPERATURA EN CILINDROS HIDRÁULICOS <b>MESA PARA LAPTOP</b>	ESCALA <b>1:5</b>
--------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

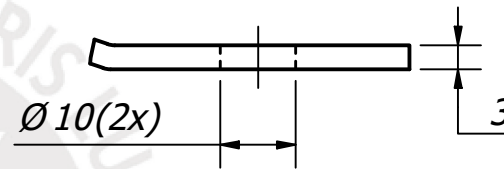
20074112	VILLAR VARGAS, OSCAR JAVIER	FECHA: 2020.09.14
----------	-----------------------------	----------------------

		PLANO: A4.D002
--	--	-------------------

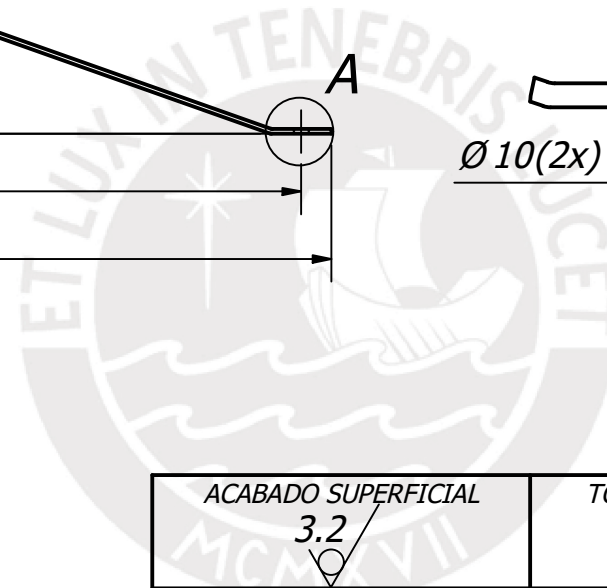
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5



Platina de sección 1/8"x5/8"

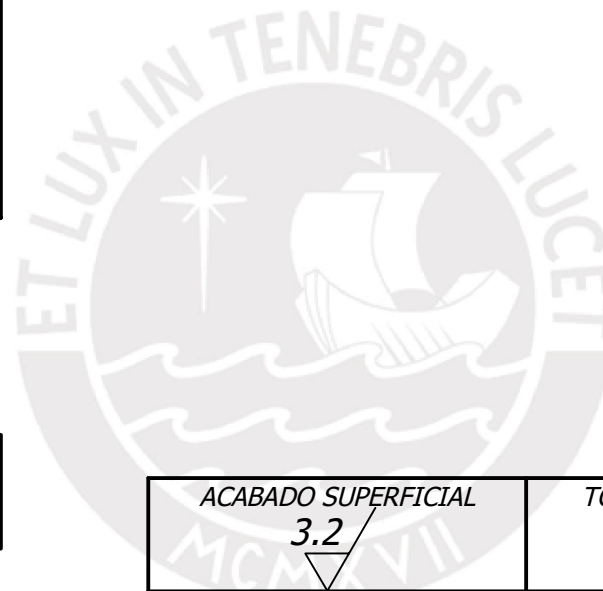
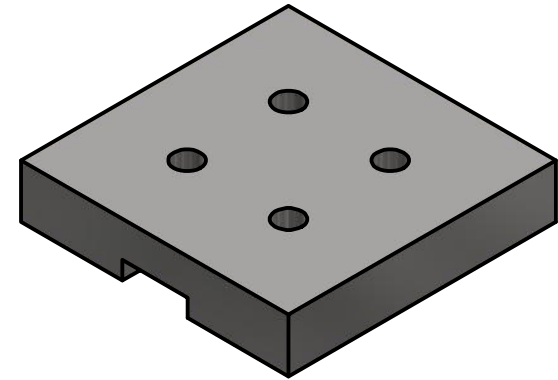
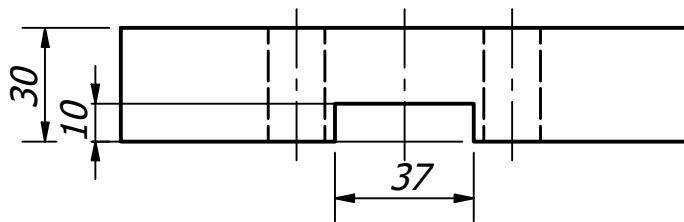
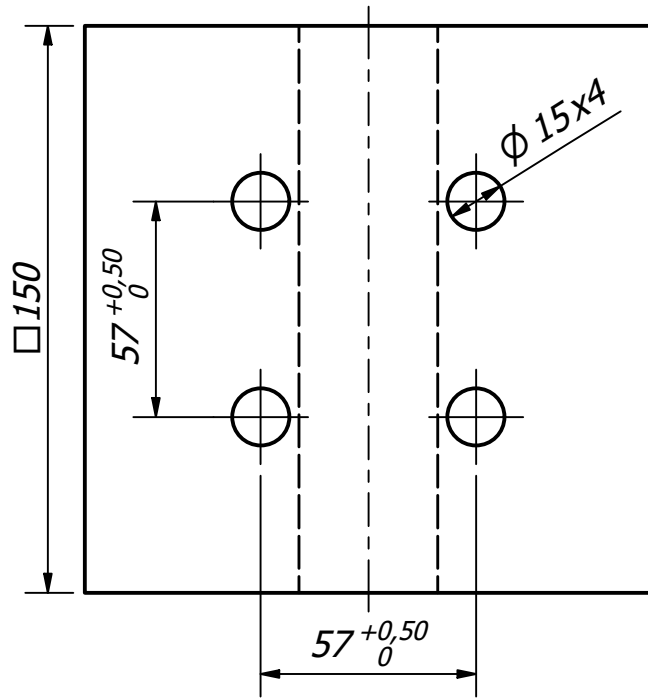


DETALLE A  
ESCALA: ( 1 : 1 )



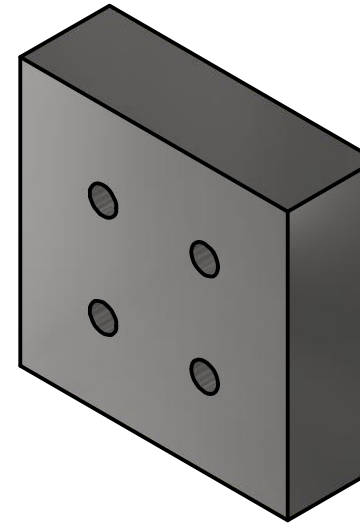
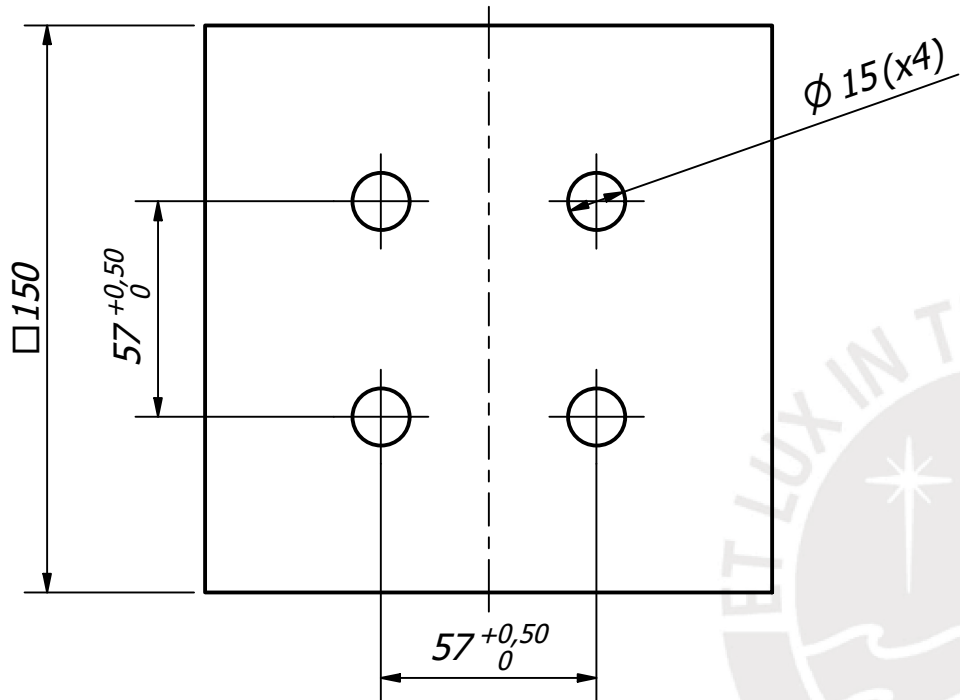
ACABADO SUPERFICIAL 3.2		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168	MATERIAL ASTM A36
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA			
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN Y TEMPERATURA EN CILINDROS HIDRÁULICOS <b>SOPORTE PARA MALLA</b>		ESCALA <b>1:5</b>
20074112	VILLAR VARGAS, OSCAR JAVIER		FECHA: 2020.09.14
			PLANO: A4.D003

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

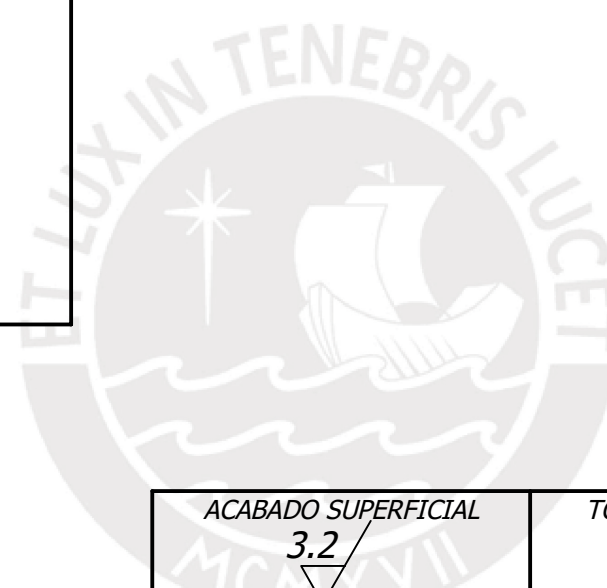


TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168	MATERIAL ASTM A36
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN Y TEMPERATURA EN CILINDROS HIDRÁULICOS  <b>BASE PARA PESAS</b>	ESCALA  <b>1:2</b>
20074112	VILLAR VARGAS, OSCAR JAVIER	FECHA: 2020.09.14
		PLANO: A4.D004



Espesor de la plancha 50mm



ACABADO SUPERFICIAL 3.2	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168	MATERIAL ASTM A36
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN Y TEMPERATURA EN CILINDROS HIDRÁULICOS  <b>PESA</b>	ESCALA  <b>1:2</b>
20074112	VILLAR VARGAS, OSCAR JAVIER	FECHA: 2020.09.14
		PLANO: A4.D005

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5