

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR
HIDRAULICO CON TARJETAS PID APLICADO AL LABORATORIO DE HIDRAULICA DE
LA EPIMMEM DE LA UCSM**

Tesis Presentada por los Bachilleres:

- MORALES VILA, Fredy Jhon
- VALDIVIA TORRES, Carlos Alonso

Para optar el Título Profesional de Ingeniero
Mecatrónico

Asesores:

- Quispe Ccachuco, Marcelo
- Mestas Ramos, Sergio

**AREQUIPA - PERÚ
2018**



Arequipa - Perú

Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado 135

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN
MOTOR HIDRAULICO CON TARJETAS PID APLICADO AL LABORATORIO DE
HIDRAULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM”**

Presentado por el Bachiller:

MORALES VILA Fredy Jhon


VALDIVIA TORRES, Carlos Alonso

Nuestro **DICTAMEN** es:

FAVORABLE

OBSERVACIONES: *NINGUNA*

Arequipa, *04 de enero* 201 *8*


ING. MARCELO QUISPE CCAHUCO


ING. SERGIO MESTAS RAMOS

“ Esta tesis está dedicada a Dios por guiar mis pasos, a mis padres por siempre apoyarme y guiarme en toda mi vida y en memoria de mi papá Gildo porque sé que desde el cielo me proteges”.

Jhon



“Esta tesis se la dedico y agradezco a DIOS por su constante guía, cuidado y providencia, a mi familia por su incondicional apoyo, agradecimiento a mis maestros y compañeros por su colaboración y especial dedicatoria a mi adorado y razón de ser mi hijo Thiago y a mi querida tía Yola”.

Alonso

INDICE GENERAL

RESUMEN	XIV
ABSTRAC	XIVV
INTRODUCCION	XV
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO TEORICO DE LA INVESTIGACION	1
1. PLANTEAMIENTO TEORICO	1
1.1. PROBLEMA	1
1.1.1. ENUNCIADO DE INVESTIGACION	1
1.2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	1
1.3. VARIABLES DE LA INVESTIGACION	3
1.3.1. ANALISIS DE VARIABLES	3
1.3.1.1. VARIABLE DEPENDIENTE	3
1.3.1.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	3
1.4. INTERROGANTES DE LA INVESTIGACION	3
1.4.1. INTERROGANTE BASICA	3
1.5. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	3
1.6. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION	6
1.6.1. JUSTIFICACION TECNICA	6
1.6.2. JUSTIFICACIÓN ACADEMICA	6
1.7. OBJETIVOS	7
1.7.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.7.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
1.8. ALCANCES DE LA INVESTIGACION	7
1.9. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION	8
1.9.1. LIMITACIONES TECNICAS	8
1.9.2. LIMITACIONES ACADEMICAS	8
1.9.3. LIMITACIONES MATERIALES	8
1.10. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	8
1.11. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	9
1.11.1. INVESTIGACION CUANTITATIVA	9
1.11.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION	9

1.11.3.	CAMPO, AREA, LINEA Y ASPECTO DE LA INVESTIGACION.....	10
1.11.4.	ESTRUCTURA DEL ARTE DE LA INVESTIGACION.....	10
1.11.4.1.	TEORIAS INVOLUCRADAS EN LA INVESTIGACION	10
1.11.5.	TECNICA.....	10
1.11.6.	INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.....	11
1.11.6.1.	UBICACION ESPACIAL.....	11
1.11.6.2.	UBICACION TEMPORAL	11
1.11.7.	ESTRATEGIA	11
1.11.7.1.	RECOLECCION DE INFORMACION.....	11
1.11.7.1.1.	DISEÑO DEL PROCESO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRAULICO MEDIANTE TARJETAS PID.....	12
1.12	CRONOGRAMA DE LA INVESTIGACION.....	12
1.13	PRESUPUESTO DE LA INVESTIGACION.....	13
CAPITULO II :MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACION.....		14
2.1.	BASES TEORICAS DE LA INVESTIGACION.....	14
2.1.1.	TEORIA DE LOS FLUIDOS.....	14
2.1.2.	TEORIA DE HIDROSTATICA	15
2.1.2.1.	DEFINICION DE HIDROSTATICA.....	15
2.1.2.2.	LEY DE PASCAL.....	15
2.1.3.	TEORIA DE LA HIDRAULICA.....	17
2.1.3.1.	DEFINICION DE LA HIDRAULICA	17
2.1.3.2.	CLASIFICACION DE LA HIDRAULICA.....	20
2.1.3.3.	DEFINICION DE CIRCUITO HIDRAULICO	22
2.1.3.4.	COMPONENTES DE UN SISTEMA HIDRAULICO	25
2.1.3.5.	VALVULAS HIDRAULICAS	25
2.1.3.5.1.	REPRESENTACION ESQUEMATICA DE VALVULAS HIDRAULICAS	27
2.1.3.5.2.	TIPOS DE ACCIONAMIENTOS.....	28
2.1.3.5.3.	VALVULAS DIRECCIONALES	31
2.1.3.5.4.	VALVULA DE ANTIRRETORNO	32
2.1.3.5.5.	VALVULA REGULADORA DE PRESION.....	33
2.1.3.5.6.	VALVULA REGULADORA DE CAUDAL.....	35
2.1.3.6.	ACTUADORES HIDRAULICOS.....	37

2.1.3.7.	BOMBAS.....	41
2.1.3.8.	PRINCIPALES VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS OLEOHIDRAULICOS.....	44
2.1.3.9.	DEFINICION DE HIDRAULICA PROPORCIONAL	45
2.1.3.9.1.	COMPONENTES DE UN SISTEMA HIDRAULICO PROPORCIONAL.....	49
2.1.3.9.2.	VALVULA PROPORCIONAL	50
2.1.3.9.3.	SOLENOIDE PROPORCIONAL	52
2.1.3.9.4.	VALVULA PROPORCIONAL LIMITADORA DE PRESION	53
2.1.3.9.5.	VALVULA PROPORCIONAL LIMITADORA DE PRESION	54
2.1.3.9.6.	VALVULA REGULADORA DE CAUDAL.....	54
2.1.3.9.7.	CONTROL DE VALVULAS PROPORCIONALES.....	55
2.1.3.9.8.	PRINCIPALES VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS VALVULAS PROPORCIONALES.....	57
2.1.3.9.9.	PRINCIPALES DIFERENCIAS DE LOS SISTEMAS PROPORCIONALES COMPARADOS CON SISTEMAS HIDRAULICOS CONVENCIONALES.....	58
2.1.4.	TEORIA DE CONTROL EN INGENIERIA.....	59
2.1.4.1.	DEFINICION DE CONTROL EN INGENIERIA.....	59
2.1.4.2.	ESTRATEGIAS CLASICAS DE CONTROL.....	61
2.1.4.3.	ACCION DE CONTROL PROPORCIONAL – INTEGRAL Y DERIVATIVO (PID)	62
2.2.	BASE NORMATIVA DE LA INVESTIGACION	66
 CAPITULO III: IMPLEMENTACION DEL SISTEMA.....		67
3.	CIRCUITOS DEL SISTEMA.....	67
3.1.	CIRCUITO HIDRAULICO	67
3.2	CIRCUITO ELECTRONICO	67
3.3.	DESCRIPCION DE COMPONENTES.....	67
3.3.1	COMPONENTES HIDRAULICOS.....	67
3.3.1.1.	UNIDAD HIDRAULICA.....	67
3.3.1.2.	VALVULA REGULADORA DE PRESION	68

3.3.1.3.	MOTOR HIDRAULICO CON CAUDALIMETRO	69
3.3.1.4.	MANOMETRO	71
3.3.1.5.	VALVULA PROPORCIONAL DE 4 VIAS, 3 POSICIONES, CENTRO CERRADO	72
3.3.1.6.	MANGUERA HIDRAULICA DE ALTA PRESION Y ACOPLES RAPIDOS.....	73
3.3.2.	COMPONENTES ELECTRONICOS	74
3.3.2.1.	FUENTE DE ALIMENTACION 24 V	74
3.3.2.2.	TARJETA REGULADORA PID	74
3.3.2.3.	TARJETA AMPLIFICADORA PROPORCIONAL DE 1 CANAL	75
3.3.2.4.	TARJETA DE VALOR DE PUNTO CONSIGNA.....	76
3.3.2.5.	TARJETA DE RELES – PULSADORES.....	77
CAPITULO IV. PRUEBAS DE LABORATORIO.....		79
4.1	PRUEBA DE LABORATORIO EN MODULO HIDRAULICO FESTO.....	80
4.2	SINTONIZACION.....	101
4.2.1	ESTIMACION EN LAZO CERRADO.....	102
4.2.2	METODO DE LA OSCILACION MANTENIDA (ZIEGLER Y NICHOLS)...	102
4.2.3	CRITERIOS DE SINTONIA.....	102
4.3	RESULTADOS DE VELOCIDAD DEL MOTOR.....	103
4.4	CONCLUSIONES.....	104
4.5	RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		106

INDICE DE FIGURAS

Figura Nro. 1.	Diagrama de Bloques PID del Control de Un Motor Hidráulico.....	1
Figura Nro. 2.	Secuencia del Método Científico Propuesto en la Investigación....	9
Figura Nro. 3.	Cuadro de Campo Area y Línea de la Investigación.....	10
Figura Nro. 4.	Cuadro de Instrumentos y Equipos requeridos en la Investigación.	11
Figura Nro. 5.	Cuadro de Bases Teóricas de la Investigación.....	14
Figura Nro. 6.	Clasificación de los Fluidos.....	15
Figura Nro. 7.	Representación del Principio de Pascal.	16
Figura Nro. 8.	Ecuación de Pascal	17
Figura Nro. 9.	Campos Aplicativos de La Hidráulica.	18
Figura Nro. 10.	Gráfica de los Costes Comparativos de Diversas Energías.	19
Figura Nro. 11.	Diagrama de clasificación de la hidráulica.....	20
Figura Nro. 12.	Diagrama de clasificación de la hidráulica. (Continuación).....	21
Figura Nro. 13.	Circuito Oleohidráulico Básico.	22
Figura Nro. 14.	Descripción de los Componentes de un Circuito Oleohidráulico Básico.....	24
Figura Nro. 15.	Descripción de los Componentes de un Circuito Oleohidráulico Básico (Continuación).	25
Figura Nro. 16.	Diagrama de clasificación de las válvulas hidráulicas.....	26
Figura Nro. 17.	Diagrama de la 2da clasificación de las válvulas hidráulicas.....	26
Figura Nro. 18.	Representación esquemática de las posiciones de una válvula..... hidráulica	27
Figura Nro. 19.	Representación de las conexiones y vías de transición	28
Figura Nro. 20.	Representación de los accionamientos manuales de las válvulas hidráulicas.....	29
Figura Nro. 21.	Representación de los accionamientos mecánicos de las válvulas hidráulicas.....	30
Figura Nro. 22.	Representación de los accionamientos fluídico y electromagnetico	31
Figura Nro. 23.	Tipología de las válvulas hidráulicas direccionales	32
Figura Nro. 24.	Tipología de las válvulas hidráulicas antiretorno	32
Figura Nro. 25.	Válvula antiretorno con desbloqueo hidráulico.....	33
Figura Nro. 26.	Tipología de las válvulas reguladoras de caudal	34
Figura Nro. 27.	Estructura de una válvula limitadora de presión simple	34

Figura Nro. 28.	Estructura de una válvula de descarga en vacío.....	34
Figura Nro. 29.	Estructura de una válvula reductora de presión de mando..... directo.....	35
Figura Nro. 30.	Estructura de una válvula de secuencia	35
Figura Nro. 31.	Tipología de las válvulas reguladoras de caudal.....	36
Figura Nro. 32.	Válvula reguladora de flujo bidireccional.....	36
Figura Nro. 33.	Válvula reguladora de flujo unidireccional con válvula antiretorno	37
Figura Nro. 34.	Clasificación de actuadores hidráulicos	37
Figura Nro. 35.	Clasificación de cilindros hidráulicos.....	37
Figura Nro. 36.	Cilindro hidráulico de doble efecto	38
Figura Nro. 37.	Clasificación de los motores hidráulicos	38
Figura Nro. 38.	Motor de engranajes reversible	39
Figura Nro. 39.	Motor de paletas.....	40
Figura Nro. 40.	Motor de pistones axiales	40
Figura Nro. 41.	Motor de pistones radiales excéntrico.....	40
Figura Nro. 42.	Clasificación de bombas.....	41
Figura Nro. 43.	Bomba de accionamiento manual.....	41
Figura Nro. 44.	Bomba de engranajes	42
Figura Nro. 45.	Bomba de paletas.....	42
Figura Nro. 46.	Bomba de tornillo doble	43
Figura Nro. 47.	Bomba de pistones radiales	43
Figura Nro. 48.	Bomba de pistones axiales.....	43
Figura Nro. 49.	Cuadro de las Principales Ventajas de los Sistemas Oleohidráulicos.	44
Figura Nro. 50.	Cuadro de los principales Inconvenientes de los Sistemas Oleohidráulicos.	45
Figura Nro. 51.	Circuito Hidráulico de Avance Controlado Manualmente.....	46
Figura Nro. 52.	Circuito Electrohidráulico de Avance Controlado Manualmente. .	47
Figura Nro. 53.	Circuito Hidráulico Proporcional de Avance.	48
Figura Nro. 54.	Componentes Principales de un Sistema Hidráulico Proporcional.	49
Figura Nro. 55.	Tipología de Válvulas Proporcionales	50

Figura Nro. 56.	Esquema de la Válvula Proporcional	51
Figura Nro. 57.	Estructura Interna de una Muesca Circular de una Válvula Proporcional.....	51
Figura Nro. 58.	Esquema de diseño de un solenoide proporcional.	52
Figura Nro. 59.	Válvula proporcional limitadora de presión.....	53
Figura Nro. 60.	Válvula proporcional limitadora de presión.....	54
Figura Nro. 61.	Válvula Proporcional Reguladora de Caudal de 3 Vias.	55
Figura Nro. 62.	Esquema de Mando de una Válvula Proporcional en Lazo Abierto. Mongelos y Idoia Pellejero	55
Figura Nro. 63.	Lazo de Control de Presión de un Sistema Hidráulico con uso de una Válvula Proporcional. Fuente Sistemas Neumáticos y Oleohidráulicos. Autores: Javier Almandoz; Belén Mongelos y Idoia Pellejero	56
Figura Nro. 64.	Lazo de control de velocidad de un motor Hidráulico.	57
Figura Nro. 65.	Cuadro de Ventajas e Inconvenientes de las Válvulas Proporcionales.....	57
Figura Nro. 66.	Cuadro Comparativo de los diferentes Tipos de Sistemas Oleohidráulicos.	58
Figura Nro. 67.	Componentes Básicos de un Sistema de Control.	60
Figura Nro. 68.	Tipología de los Sistemas de Control.....	60
Figura Nro. 69.	Diagrama de bloques de un Sistema de Control en Lazo Abierto.	61
Figura Nro. 70.	Diagrama de bloques de un Sistema de Control en Lazo Cerrado.	61
Figura Nro. 71.	Estrategias Clásicas de Control.	62
Figura Nro. 72.	Diagrama de Bloques de un Sistema de Control PID.	63
Figura Nro. 73.	Diagrama de Bloques de un Sistema de Control PID en Paralelo	64
Figura Nro. 74.	Componentes PID-hidráulicos utilizados en la investigación	65
Figura Nro. 75.	Normativa utilizada en la Investigación.	66
Figura Nro. 76.	Unidad Hidráulica Festo	68
Figura Nro. 77.	Simbología de Unidad Hidráulica Festo.....	68
Figura Nro. 78.	Válvula reguladora de Presión.....	69
Figura Nro. 79.	Simbología de válvula reguladora de Presión.....	69
Figura Nro. 80.	Motor hidráulico o hidromotor	70
Figura Nro. 81.	Simbología de motor hidráulico o hidromotor.....	70

Figura Nro. 82	Sensor analógico de caudal o caudalímetro.....	70
Figura Nro. 83	Simbología de sensor analógico de caudal o caudalímetro.....	71
Figura Nro. 84	Manómetro.....	71
Figura Nro. 85	Simbología de manómetro.....	71
Figura Nro. 86	Válvula Proporcional de 4 vías, 3 posiciones, centro cerrado.....	72
Figura Nro. 87	Simbología de Válvula Proporcional de 4 vías, 3 posiciones, centro cerrado.....	73
Figura Nro. 88	Manguera hidráulica de alta presión con acoples rápidos.....	73
Figura Nro. 89	Fuente de alimentación de 24 V.....	74
Figura Nro. 90	Simbología de fuente de alimentación de 24 V.....	74
Figura Nro. 91	Tarjeta reguladora PID.....	75
Figura Nro. 92	Simbología de Tarjeta reguladora PID.....	75
Figura Nro. 93	Tarjeta amplificadora de 1 canal.....	76
Figura Nro. 94	Simbología de tarjeta amplificadora de 1 canal.....	76
Figura Nro. 95	Tarjeta de valor de punto consigna.....	77
Figura Nro. 96	Tarjeta de Relés - Pulsadores.....	78
Figura Nro. 97	Simbología de Tarjetas de Relés - Pulsadores.....	78
Figura Nro. 98	Circuito para el control de velocidad del motor hidráulico.....	79
Figura Nro. 99	Conexión de manómetros al motor hidráulico.....	82
Figura Nro. 100	Sensor de Caudal.....	82
Figura Nro. 101	Válvula reguladora de presión.....	83
Figura Nro. 102	Modo 1 de operación de la tarjeta amplificadora.....	84
Figura Nro. 103.	Modo 2 de operación de la tarjeta amplificadora.....	85
Figura Nro. 104.	Conexión de señales de salida de corriente IA e IB.....	86
Figura Nro. 105.	Conexión del Set Point y Sensor al PID.....	87
Figura Nro. 106.	Conexión de resta de las señales Set Point y Sensor.....	88
Figura Nro. 107.	Salida de PID.....	89
Figura Nro. 108.	Perillas multiplicadoras y de ajuste del PID.....	89
Figura Nro. 109.	Switch de rangos de valores de voltaje.....	90
Figura Nro. 110.	Perilla de Offset.....	90
Figura Nro. 111.	Niveles Set Point.....	91
Figura Nro. 112.	Ingreso de valores de set point.....	91

Figura Nro. 113.	Acondicionamiento eléctrico con pulsadores para sentidos de giro.. del motor	93
Figura Nro. 114.	Circuito Fluid Sim PID completo	94
Figura Nro. 115.	Valores tarjeta punto consigna	95
Figura Nro. 116.	Accionamiento pulsador 1 tarjeta punto consigna	95
Figura Nro. 117.	Tensión de sistema con 1 pulsador	96
Figura Nro. 118.	Accionamiento pulsador 2 tarjeta punto consigna	96
Figura Nro. 119.	Tensión de sistema con 2 pulsadores.....	97
Figura Nro. 120.	Accionamiento de 2 pulsadores tarjeta punto consigna	97
Figura Nro. 121.	Tensión de sistema con 2 pulsadores activados	98
Figura Nro. 122.	Accionamiento de 3 pulsadores tarjeta punto consigna	98
Figura Nro. 123.	Tensión de sistema con 3 pulsadores activados.....	99
Figura Nro. 124.	Valores de tarjeta PID	99
Figura Nro. 125.	Modificación de valores de tarjeta PID.....	100
Figura Nro. 126.	Comportamiento de curvas Set Point versus Caudal.....	100
Figura Nro. 127.	Sintonización de un Sistema PID.....	101
Figura Nro. 128.	Curva del Sistema P - I.....	103
Figura Nro. 129.	Curva del Sistema P - Q.....	104

INDICE DE TABLAS

Tabla Nro. 1	Cronograma de Trabajo del Proceso de Investigación.....	12
Tabla Nro. 2	Presupuesto de la Investigación.....	13
Tabla Nro. 3	Valores de Entrada para sentido de giro horario.....	77
Tabla Nro. 4	Valores de Set Point.....	92
Tabla Nro. 5	Valores de Corriente versus Caudal.....	103



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad proporcionar una ampliación de conocimiento mediante la Implementación de un Sistema de Control de Velocidad para un Motor Hidráulico con tarjetas PID para el laboratorio de hidráulica del EPPIMEM de la UCSM, de tal manera que pueda ser utilizado por los alumnos de Ingeniería Mecatrónica para lo cual se utilizará las tarjetas PID, las tarjetas punto consigna y la tarjeta amplificadora.

Gracias al uso de las tarjetas PID se pudo ver el comportamiento de un sistema Proporcional Integral y Derivativo y cómo cada uno de ellos se comporta para el modelamiento de un sistema.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente la investigación se dividirá de la siguiente manera:

CAPITULO I “PLANTEAMIENTO TEORICO DE LA INVESTIGACION”: El capítulo tiene como finalidad identificar el problema, identificación de los problemas y las variables, así como las limitaciones que se encontrarán en la investigación y el campo de verificación, espacio temporal de donde se realiza la investigación.

CAPITULO II “MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACION”: Donde se ve la información de las teorías que se utilizarán para la investigación.

CAPITULO III “IMPLEMENTACION DEL SISTEMA”: En este capítulo se verificará los componentes con los que se trabajará dentro de los que se encuentra las tarjetas PID.

CAPITULO IV “PRUEBAS DE LABORATORIO”: Es el compendio de pruebas y resultados obtenidos durante la implementación del circuito.

“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”: Son las conclusiones después de las pruebas realizadas.

Palabras Clave: Implementación, pruebas.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to provide an extension of knowledge through the implementation of a speed system control for a hydraulic motor with PID cards for the hydraulic laboratory of the EPPIMEM of the UCSM, so that it can be used by students of Mechatronic Engineering for which the PID cards, the set point cards and the amplifier card will be used.

Thanks to the use of PID cards, the behavior of an Integral and Derivative Proportional system could be seen, and how each of them behaves for the modeling of a system.

Taking into account the above, the investigation will be divided as follows:

CHAPTER I "THEORETICAL PLANNING OF THE INVESTIGATION": The chapter has as purpose to identify the problem, identification of the problems and the variables as well as the limitations that will be found in the investigation and the field of temporary verification of where the research is carried out.

CHAPTER II "THEORETICAL FRAMEWORK OF THE INVESTIGATION": Where the information of the theories that will be used for the investigation is seen.

CHAPTER III "SYSTEM IMPLEMENTATION": In this chapter we will verify the components that will work within which the PID cards are located.

CHAPTER IV "LABORATORY TESTS": It is the compendium of tests and results obtained during the implementation of the circuit.

"CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS": These are the conclusions after the tests carried out.

Key words: Implementation, test

INTRODUCCIÓN

En la actualidad debido al avance y crecimiento exponencial de la Ciencia y Tecnología tanto a nivel Industrial e Investigativo, ha llevado al uso de sistemas capaces de ser controlados de forma automática mediante dispositivos adecuados para este fin.

Dentro del campo de la Ingeniería Mecánica se encuentra la Hidráulica, por medio de la cual se estudian los sistemas y procesos que conllevan a la aplicación de actuadores y dispositivos capaces de generar funciones y ciclos por medio del uso de los fluidos hidráulicos. De manera conjunta se encuentra la automatización de procesos industriales la cual busca la simplificación en el manejo y supervisión de los procesos mediante la programación y uso de controladores. Dentro de ellos es considerado el PID por sus siglas (Proporcional, Integral y Derivativo), los cuales realizan un adecuado control de numerosos procesos y productos industriales en esencia cuando la dinámica del proceso lo permite, además es capaz de realizar procedimientos de prueba - error para la selección de la proporción en las que se combinan las tres acciones P+D+I.

La implementación del PID se da por medio del uso de Autómatas Programables (PLC), el cual puede desarrollar dicha función mediante dos estrategias diferentes: Ejecución de un programa de Control PID mediante un Módulo o unidad de regulación acoplado al Autómata Programable (Tarjeta PID).

Por lo tanto, lo que se viene haciendo hoy en día es generar el enlace entre los procesos Hidráulicos y el Proceso de Automatización, para tal fin la Ingeniería proporciona formas de control y dispositivos que permiten llevar a cabo esta importante aplicación.

De acuerdo a esta realidad, la Universidad Peruana se ve en la necesidad de asimilar tecnología actual, ello en conjunto con las nuevas exigencias curriculares, en las cuales esta problemática se ve solucionada por medio de los mismos docentes por medio del desarrollo de proyectos donde intervenga la automatización de procesos Hidráulicos y el Control en Ingeniería.

La Universidad Católica de Santa María por medio de su Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales, específicamente la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica imparte enseñanzas teóricas las que a su vez se ven reforzadas mediante las Prácticas y Ensayos en la especialidad de Hidráulica.

Por lo tanto, la presente investigación busca mediante La Implementación de un sistema de control de velocidad de un motor hidráulico con tarjetas PID y de esta manera demostrar la aplicación directa de la Hidráulica proporcional en conjunto con la automatización y el control de procesos, ello con fines académicos, aplicativos y de investigación.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO TEORICO DE LA INVESTIGACION

1. PLANTEAMIENTO TEORICO

1.1. PROBLEMA

1.1.1. ENUNCIADO DE INVESTIGACION

“Implementación de un Sistema de Control de velocidad para un motor hidráulico con tarjetas PID aplicado al Laboratorio de Hidráulica de la EPIMMEM de la UCSM”.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad los procesos Industriales y en esencial los procesos hidráulicos requieren ser automatizados, ello con la finalidad lograr el control y monitoreo de los mismos en tiempo real y con datos verídicos. Por este motivo se requiere el manejo de controladores que permitan alcanzar este fin, tal es el caso del controlador PID, considerado como un mecanismo de control por realimentación que posee tres parámetros distintos: El Proporcional, Integrativo y Derivativo. Para tal fin se presenta a continuación el diagrama de Bloques del Regulador PID para el control de un Motor Hidráulico:

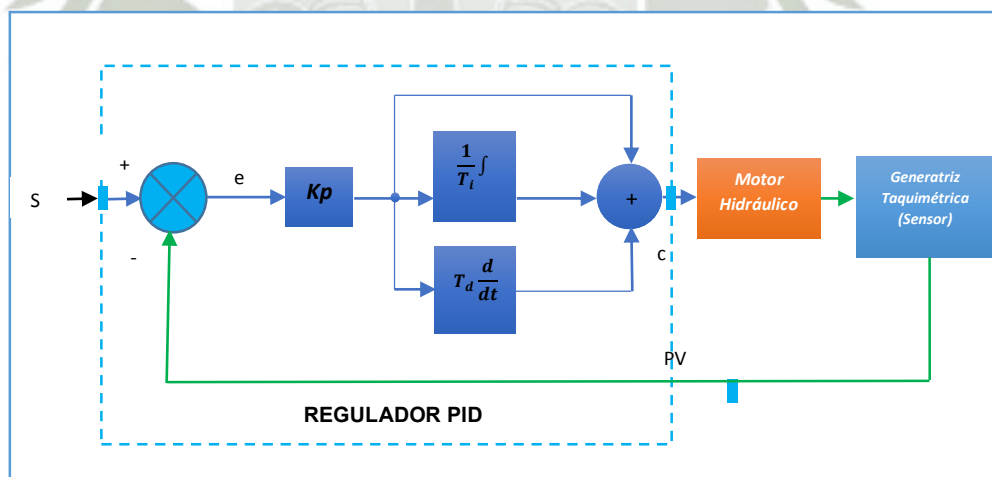


Figura Nro. 1 . Diagrama de Bloques PID del Control de Un Motor Hidráulico. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

El diagrama mostrado, representa el control realimentado de la velocidad de un motor hidráulico. La variable de salida del proceso en este caso es proporcionada por una generatriz taquimétrica el cual es un sensor de señal análoga cuya amplitud es proporcional a la velocidad del motor. El principio

se basa en que el valor de “SP” (Punto De Consigna) variable de entrada permita el cambio de “PV” (Variable del Proceso), esto se logrará únicamente haciendo que el error “e” debe de tener un régimen permanente una vez que transcurre el tiempo de establecimiento de tal manera que al multiplicar el valor por “Kp” (Factor de Ganancia Proporcional) proporcione el valor de “CV” (Variable de Control) suficientemente para que el motor gire.

Por lo tanto, luego de realizar una observación participante del Laboratorio de Hidráulica de La Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, se puede sintetizar la existencia de la siguiente problemática:

- Carencia de equipos que permitan el desarrollo del control PID aplicado a los módulos de hidráulica proporcional.
- Insuficiente documentación de carácter Instructivo /Manuales sobre el control PID aplicado a los módulos de hidráulica proporcional los cuales a su vez estén a disposición de los usuarios (Docentes y Dicentes.)
- Clara evidencia de la falta de implementación sistemas didácticos para el aprendizaje y aplicación de la automatización en la Hidráulica Proporcional, ello con el objeto de lograr el desarrollo académico y competitivo de los dicentes.

Por lo anterior expuesto, es de interés en la presente investigación, titulada: “Implementación de un Sistema de Control de velocidad para un motor hidráulico con tarjetas PID aplicado al Laboratorio de Hidráulica de la EPIMMEM de la UCSM”, lo que permitirá el inicio de la aplicación de la automatización en el campo hidráulico y los beneficios que generaría en la formación académica de los dicentes mediante la generación y uso de Guía Didáctica.

1.3. VARIABLES DE LA INVESTIGACION

1.3.1. ANALISIS DE VARIABLES

La investigación está desarrollada en función de dos Variables de tipo Causa -Efecto: Independiente y Dependiente:

1.3.1.1. VARIABLE DEPENDIENTE

- Implementación de un Sistema de Control de velocidad para un motor hidráulico con tarjetas PID.

1.3.1.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Factores estimados para la medición y control de velocidad mediante la regulación del caudal en base al uso de tarjetas PID.

1.4. INTERROGANTES DE LA INVESTIGACION

1.4.1. INTERROGANTE BASICA

¿La implementación de un Sistema de Control de Velocidad para un Motor Hidráulico con tarjetas PID, servirá para incrementar los conocimientos teóricos y las habilidades prácticas de los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica de la UCSM?

1.5. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

La Presente Investigación tiene por Objetivo la Implementación de un Sistema Control de Velocidad para un Motor Hidráulico mediante el uso de Tarjetas PID, por ello parte de este proceso consistió en la revisión de las Investigaciones vinculadas al tema.

Anaya, Benítez, Pacheco y Montaña (2014) propusieron una investigación en la cual se contempla el diseño de controladores P, PI y PID para el control del comportamiento dinámico de un servo-sistema hidráulico. Se utilizó para esta finalidad un modelado matemático, simulación electrónica del comportamiento dinámico del servo sistema hidráulico por medio de la aplicación de Zieger – Nichols de forma experimental.

Mejía, Monroy, Henao y Hoyos (2003), plantearon una metodología para la selección de un motor hidráulico y control de velocidad a partir de datos requeridos. La investigación permitió realizar el modelamiento del sistema y la selección de componentes.

Díaz y Saldaña (2011), propusieron una investigación en la cual se desarrolló una propuesta de control de una Máquina de Inyección de Plástico Battenfeld, el desarrollo del sistema se basó en tres puntos fundamentales: Conocimiento de máquina, análisis de las condiciones reales de la máquina y desarrollo de un sistema de control. Posterior a ello fue seleccionado el PLC en base a la tipología de los sensores y actuadores que se encuentran dentro de la cabina hidráulica de la planta, de tal forma de poder realizar el control de la temperatura y el control hidráulico.

El controlador utilizado para la medición de la temperatura fue el PID, de esta forma se pudo optimizar el tradicional control ON/OFF y entregar así mejores resultados de forma rápida. En cuanto al control hidráulico, el PID permitió ajustar adecuadamente el porcentaje de apertura de las válvulas y de esta manera obtener una mejor calidad en el producto.

Cruz y Proaño (2009) plantean una Investigación en la cual fué desarrollado el Diseño y Construcción de un Sistema Hidráulico conformado por tres tanques los que a su vez están comunicados entre sí; se realizó la implementación de los actuadores los cuales trabajan en conjunto con el controlador principal y lograr que el sistema responda de manera óptima y adecuada. Finalmente, la investigación propone el desarrollo de un Sistema de Control y el diseño del programa el cual por medio de tarjetas PID permitió realizar el control PID del sistema.

Meneses (2006), desarrolló una Investigación orientada al desarrollo de un Modelo de control para motores de corriente continua mediante el uso de los controladores PD, PI, PID, PID NO LINEAL y PX con aceleración estimada, regulación y seguimiento. Tomando en cuenta el modelamiento desarrollado, el control fue aplicado en un sistema de bombeo hidráulico, ello con la finalidad de optimizar y mejorar las condiciones de trabajo.

Jaime y Hernández (2008), realizaron la propuesta de un Proyecto de Investigación para realizar la implementación de un control PID aplicado a un motor de corriente directa con taco-generador encargado del accionamiento de una banda transportadora a velocidad constante y dependiente de los valores deseados de los objetos a transportar.

La implementación permitió el uso de un PLC Siemens S7-200 y un display electrónico mediante el cual fueron mostradas las revoluciones por minuto en las que el motor gira. Como idea complementaria en la investigación fueron considerados la implementación de dos sensores uno de ellos con la finalidad de clasificar los objetos respecto al tamaño y un segundo como contador, para mostrar la cantidad de objetos grandes y pequeños que han sido clasificados. Jaén y Alarcón (2009), plantearon una Investigación en la cual se realizó la modificación de una planta de control de velocidad de tal manera que por medio de ella se realicen prácticas en el laboratorio de control automático de la ESPOL. El objetivo es desarrollar un sistema Electro - Hidráulico en el cual se pueda desarrollar el control y monitoreo de las variables: Velocidad y Presión.

Ordoñez (2014) propuso el Diseño de una máquina para Flushing y Microfiltrado de Sistemas Hidráulicos ello por medio de la generación de regímenes turbulentos adecuados para los distintos diámetros que componen el Sistema Hidráulico y realizar además el microfiltrado del aceite procesado. La investigación contempló el uso de la normativa que regula los Sistemas Hidráulicos principalmente la Norma ISO 4406-1999 y la Norma ISO 16889-1999. Finalmente fueron desarrollados los cálculos y la posterior selección de los componentes para la implementación del equipo de Flushing y Microfiltrado.

Cañón (2007), propuso el Diseño de un Banco didáctico del sistema hidráulico de un helicóptero para uso didáctico, la investigación conllevó a un estudio detallado de los sistemas hidráulicos y su funcionamiento, de tal manera que al finalizar el proceso en mención se pueda seleccionar los equipos y elementos adecuados para la implementación del módulo. La investigación posee un enfoque muy relacionado a la parte Electro - Hidráulica, servo hidráulica, la hidráulica proporcional y los dispositivos de control electrónico Loli (2012), desarrolló de un modelo dinámico en un actuador hidráulico de doble efecto. En una primera instancia se identificaron los parámetros que caracterizan el modelo dinámico como son la presión hidráulica y el desplazamiento del vástago.

Según los ensayos y pruebas realizadas en el modelamiento indican que el comportamiento del actuador presenta un estado estacionario lo que produce imprecisión en la señal de salida y por ello es necesario tomar acciones de control. El trabajo de investigación concluye que la propuesta del modelo Matemático describe adecuadamente al actuador.

Por su parte Noriega (2011) desarrolló una investigación que lograra la integración de la tecnología inalámbrica con el control automático de los procesos industriales, de tal forma que el controlador de procesos logre la comunicación en tiempo real con los sensores y los actuadores mediante el uso de una red inalámbrica. La investigación tuvo como resultado la obtención de un controlador digital PID eficiente y con una interface gráfica que permitió la supervisión del comportamiento del motor DC en el tiempo.

Siles y Chacca (2012) desarrollaron un Módulo de Didáctico de Control de Flujo de tal manera que sea funcional y de utilidad en el aprendizaje de los docentes en las materias de control y procesos de automatización.

El proceso fue controlado mediante el controlador PID permite la regulación del flujo, el proceso es complementado por la supervisión en un interfaz hombre-máquina HMI.

El diseño del Módulo de control fue realizado considerando la didáctica que será empleada en su utilización, seguridad, ergonomía y la interacción hombre- máquina.

1.6. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

La presente Investigación posee la siguiente relevancia:

1.6.1. JUSTIFICACION TECNICA

- Estudio de aplicaciones con tarjetas de control PID.
- Reconocimiento y medición de los parámetros de un motor hidráulico. Buscar modelo de motor, características, datos de placa.
- Implementación de un Sistema de Control de Velocidad para un Motor Hidráulico por medio del uso de Tarjetas PID, para el estudio y desarrollo de la formación de los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica.

1.6.2. JUSTIFICACION ACADEMICA

- Se generará mayor interés de investigación y desarrollo en Áreas de Control Hidráulico, para ello se elaborará un guía didáctica de uso para el manejo del módulo hidráulico de control.
- El presente trabajo de investigación posee relevancia académica debido a que permitirá lograr mayor interés de investigación en el

campo de la hidráulica proporcional de tal forma de lograr acoplar los conocimientos teóricos en función de los conocimientos prácticos y así lograr responder a las necesidades del rubro empresarial.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

- Implementar el Sistema de Control de Velocidad para un Motor Hidráulico con Tarjetas PID para el Laboratorio de Hidráulica de la EPIMMEN de la UCSM.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar la base teórica del control en ingeniería.
- Estudiar de la base teórica del control hidráulico.
- Lograr mediante el uso de tarjetas PID la implementación de un bloque de control a un motor hidráulico.
- Programar la lógica del controlador seleccionado para el proceso propuesto.
- Realizar pruebas y ajustar los parámetros.
- Proporcionar una guía de prácticas exclusiva para el manejo del Control de Velocidad del Motor Hidráulico por medio del uso de Tarjetas PID.

1.8. ALCANCES DE LA INVESTIGACION

En la actualidad el laboratorio de hidráulica de la EPIMMEM de la UCSM cuenta con la implementación de módulos de hidráulica proporcional, pero a su vez carecen de aplicaciones basadas en el control hidráulico, por lo tanto: El presente proyecto de investigación tiene por alcance Implementar el Sistema de Control de Velocidad para un Motor Hidráulico con el uso Tarjetas PID. Ello permitirá encontrar distintos parámetros de velocidad mediante la variación del flujo en distintas etapas.

De manera complementaria se dará la elaboración de una guía didáctica enfocada al uso, práctica y enseñanza del proceso propuesto.

1.9. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

1.9.1. LIMITACIONES TECNICAS

- Limitación para la adquisición de material tecnológico para la implementación del Control de Velocidad aplicado a Motores Hidráulicos.
- Limitación de no encontrar alternativas de proveedor para adquisición de componentes electro hidráulicos y de control.

1.9.2. LIMITACIONES ACADEMICAS

- Limitación de hallar profesionales especializados en materia de automatización de hidráulica proporcional.
- Limitación de no encontrar módulos especializados de automatización en materia de hidráulica proporcional.

1.9.3. LIMITACIONES MATERIALES

- Limitación de material bibliográfico sobre el tema de control en hidráulica proporcional a nivel de la UCSM y otras instituciones de servicio similar.

1.10. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

DADO: Que la Automatización aplicada a la hidráulica proporcional constituye un factor importante en el desarrollo de la Ingeniería de Control y Automatización, con el propósito de lograr mejoras en temas de sistemas industriales y además ser un punto importante en el desarrollo de la investigación en temas de automatización e hidráulica.

ES PROBABLE: Controlar el Parámetro Velocidad de un Motor Hidráulico a través de las Tarjetas PID.

1.11. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

El método a utilizar en la presente investigación está sustentado en el método científico.

La coherencia investigativa que culmina con la formulación de conclusiones se grafica a continuación:

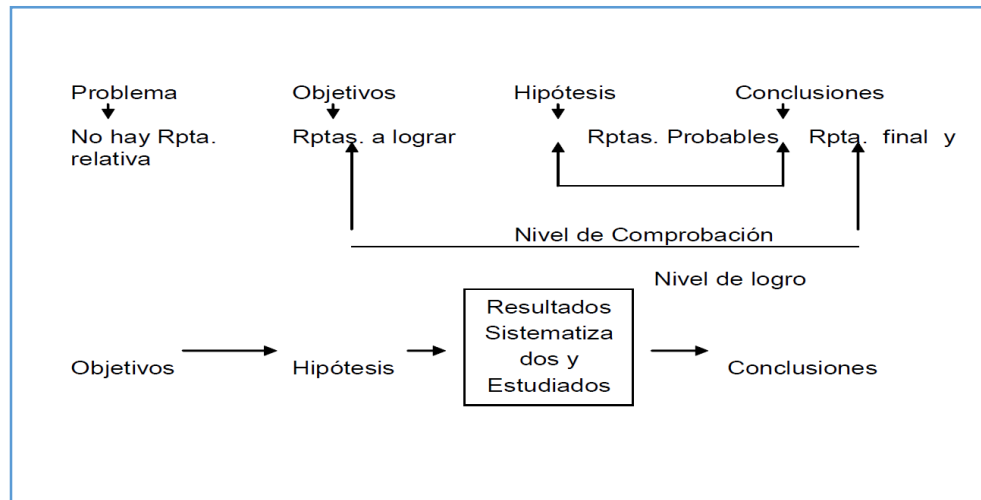


Figura Nro. 2. Secuencia del método científico propuesto en la investigación.
Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

1.11.1. INVESTIGACION CUANTITATIVA

La fase de investigación cuantitativa analizará lo relativo a la investigación propiamente dicha, donde se observará cada una de las variables cuantitativas de tipo de indicadores de razón; debidamente desarrolladas, las mismas que serán tomadas en cuenta para explicar cada una de las variables con sus respectivos indicadores e índices en la Implementación del Sistema de Control de Velocidad del Motor Hidráulico por medio del uso de tarjetas PID.

1.11.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

En desarrollo cuantitativo de las variables e indicadores estas se insumirán con información clasificada de textos especializados, como de trabajos de investigación realizados con respecto a la materia en cuestión. Para la evaluación de las variables materia de la investigación esta se basará en información secundaria.

1.11.3. CAMPO, AREA, LINEA Y ASPECTO DE LA INVESTIGACION

CUADRO DE CAMPO. AREA Y LINEA DE LA INVESTIGACION

ITEM	DESCRIPCIÓN
CAMPO	Ciencias de Ingeniería
AREA	Ingeniería Mecatrónica
LINEA	Automatización y Control
ASPECTOS	Automatización aplicada a la Hidráulica Proporcional

Figura Nro. 3. Cuadro de Campo. Área y Línea de la Investigación.
Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

1.11.4. ESTRUCTURA DEL ARTE DE LA INVESTIGACION

1.11.4.1. TEORIAS INVOLUCRADAS EN LA INVESTIGACION

- Teoría de la Hidráulica
- Teoría de Hidrostática
- Teoría del Control en Ingeniería
- Teoría del Control PID

1.11.5. TECNICA

Se considera para la presente investigación la técnica de la OBSERVACION:

- **DOCUMENTAL:** Se extraerá información secundaria de textos, revistas, estudios realizados en la materia de investigación de la Ingeniería Mecatrónica en el área de, Automatización de Procesos Industriales, Hidráulica Proporcional, Control en Ingeniería, Instrumentación Industrial y la Mecánica de Fluidos.
- **MONUMENTAL:** Se observará el espacio donde será implementado el Sistema de Control de Velocidad de un Motor Hidráulico por medio del uso de Tarjetas PID.

1.11.6. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

El desarrollo de la investigación contempla el uso de los siguientes Instrumentos y Equipos:

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION DE INSTRUMENTOS Y/O EQUIPOS
1	3	Regulador PID
2	1	Tarjeta de valor de punto de consigna
3	1	Amplificador Proporcional
4	1	Accesorios Eléctricos
5	1	Accesorios Mecánicos

Figura Nro. 4. Cuadro de Instrumentos y Equipos requeridos en la Investigación.
Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

1.11.6.1. UBICACION ESPACIAL

La presente investigación se realizará en la ciudad de Arequipa Metropolitana en la Universidad Católica Santa María en el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica.

1.11.6.2. UBICACION TEMPORAL

La ejecución de la investigación será llevada a cabo entre los meses de Julio del Año 2017 a Enero del Año 2018.

1.11.7. ESTRATEGIA

1.11.7.1. RECOLECCION DE INFORMACION

Se extraerán los conceptos más importantes sobre la automatización de procesos industriales, hidráulica proporcional, el control de procesos industriales y control P.I.D. Ello de tal manera que nos permita generar las ideas y fundamentos necesarios para el sustento de la investigación.

1.11.7.1.1. DISEÑO DEL PROCESO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRAULICO MEDIANTE TARJETAS PID.

El diseño del proceso de control está basado los siguientes factores:

- Capacidad de Realizar el Control de Velocidad y Flujo en un Motor Hidráulico, mediante el uso e implementación de tarjetas PID en los Módulos de Hidráulica Proporcional.
- Programación de la estrategia lógica del controlador seleccionado para este proceso.
- Manejo de una guía práctica como principal herramienta de consulta para la operación del sistema hidráulico.

1.12 CRONOGRAMA DE LA INVESTIGACION.

El proceso de Investigación se llevó a cabo según las etapas mostradas en el siguiente cuadro:

FASE-I DEL PROYECTO							
N°	ACTIVIDADES	CRONOGRAMA EN MESES-2017					
		JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIMEMBRE	DICIEMBRE
1	ELECCIÓN DEL TEMA	X					
2	DEFINICIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	X					
3	ELABORACIÓN Y REVISIÓN DE PLAN DE TESIS		X				
4	INSCRIPCIÓN Y APROBACIÓN DE PLAN DE TESIS		X				
FASE-II DEL PROYECTO							
N°	ACTIVIDADES	CRONOGRAMA EN MESES-2017					
		JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIMEMBRE	DICIEMBRE
7	DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA Y DE LOS COMPONENTES ELECTRO HIDRAULICOS		X	X	X		
8	SIMULACIÓN Y PROGRAMACIÓN				X	X	
9	PRUEBAS Y RESULTADOS				X	X	
10	PRESENTACIÓN DEL BORRADOR						X
11	LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES						X
12	SUSTENTACIÓN DE TESIS						X

Tabla Nro. 1 Cronograma de Trabajo del Proceso de investigación
Fuente: Elaboración Propia - Autores: MORALES, Fredy; VALDIVIA, Carlos

1.13 PRESUPUESTO DE LA INVESTIGACION.

De acuerdo a lo considerado en la Investigación se propone el siguiente cuadro de presupuestos realizados:

N°	RUBRO	DETALLE DEL RUBRO	UNIDAD	COSTO UNITARIO (S/. Nuevos Soles)	CANTIDAD	COSTO TOTAL (S/. Nuevos Soles)
1	TRÁMITES	COSTOS DE TRAMITES DE TITULACION	PAGO DE DERECHOS	1,200	2	2 400
SUBTOTAL						2,400
2	INSUMOS	PAPEL BOND	MILLAR	30	2	60
SUBTOTAL						60
3	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	REGULADOR PID	UNIDAD	2,700	3	8,100
		TARJETA DE VALOR DE PUNTO DE CONSIGNA	UNIDAD	3,500	1	3,500
		AMPLIFICADOR PROPORCIONAL	UNIDAD	4,500	1	4,500
SUBTOTAL						16,100
4	IMPRESIONES Y DISEÑO GRAFICO	SERVICIOS DE DISEÑO GRAFICO DE LA GUIA PRACTICA	UNIDAD	100	1	100
		SERVICIOS DE IMPRESION DE LA GUIA PRACTICA	UNIDAD	20	3	60
		SERVICIO DE IMPRESION DE LA TESIS	UNIDAD	150	3	450
SUBTOTAL						610
5	IMPREVISTOS	10% del total				191
TOTAL						19,361

Tabla Nro. 2 Presupuesto de La Investigación
Fuente: Elaboración Propia - Autores: MORALES, Fredy; VALDIVIA, Carlos

CAPITULO II

MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACION

2.1. BASES TEORICAS DE LA INVESTIGACION

La investigación a desarrollar se sostiene en las siguientes teorías mostradas a continuación.

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	TEORIAS RELACIONADAS
"Implementación de un Sistema de Control de velocidad para un motor hidráulico con tarjetas PID aplicado al Laboratorio de Hidráulica de la EPIMMEM de la UCSM".	Teoría de los Fluidos
	Teoría de la Hidrostática
	Teoría de la Hidráulica
	Teoría del Control en Ingeniería

Figura Nro. 5. Cuadro de Bases Teóricas de la Investigación. Fuente: Elaboración Propia (2017)
Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

2.1.1. TEORIA DE LOS FLUIDOS

Cengel y Cimbala (2006) definen el Concepto de fluido como: "Una sustancia en la fase líquida o en la gaseosa se conoce como fluido."(pág.2). Por su parte Giles (2005) afirma que: "Los fluidos son sustancias capaces de fluir y que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen."(pág.1). Serrano (2002), define a los fluidos como: "Líquidos y gases cuyas partículas poseen gran movilidad, lo que les permite que se adapten con facilidad a la forma del recipiente que los contiene."(pág.23). Shames (1995) define al fluido como: "como una sustancia que cambia su forma continuamente siempre que esté sometida a un esfuerzo cortante, sin importar qué tan pequeño sea. En contraste un sólido experimenta un desplazamiento definido (o se rompe completamente) cuando se somete a un esfuerzo cortante." (pág.3). De los conceptos anteriormente citados podemos afirmar que un fluido es toda sustancia cuyas moléculas poseen movilidad entre ellas, de tal manera que estos cuerpos toman la forma del recipiente o envase que lo contiene.

Los fluidos se pueden clasificar de la siguiente forma:

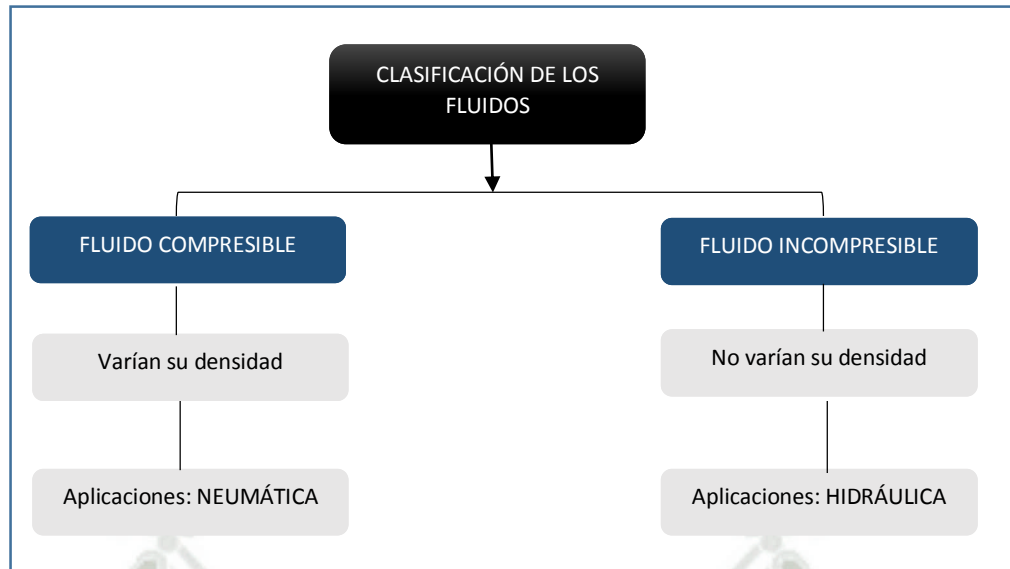


Figura Nro. 6. Clasificación de los Fluidos. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

Del mapa conceptual visto anteriormente podemos ver que la presente investigación contempla la aplicación de la hidráulica la cual utiliza como fluido principal al aceite y por lo tanto es clasificado como incompresible debido a que su densidad no varía durante el ciclo de trabajo que desarrolle.

2.1.2. TEORIA DE HIDROSTATICA

2.1.2.1. DEFINICION DE HIDROSTATICA

Serrano (2002) afirma que la Hidrostática es: “La parte de la Hidráulica que estudia el equilibrio de los líquidos.” (p.26). Por otro lado, Sotelo (1996) sostiene que: “La hidrostática es el estudio de la Estática de los fluidos (Fluidos líquidos) en condiciones de equilibrio” (p.22). Asimismo, Quispe (2008) plantea que: “Cuando el sistema es accionado por una fuerza aplicada a un líquido contenido en un recipiente cerrado se le denomina sistema hidrostático; siendo la presión la fuerza aplicada por unidad de superficie y se expresa como fuerza por unidad de superficie” (p.9). Por lo tanto, de las definiciones anteriormente vistas podemos afirmar que Hidrostática es una rama de la Mecánica de Fluidos encargada de estudiar a los fluidos en reposo, cabe resaltar que se considera un fluido en reposo cuando la energía de velocidad es muy pequeña comparada con la energía de presión. Por ello se afirma que por más que el fluido se encuentre en movimiento, la energía de la presión prevalece, con lo que se afirma que los Sistemas Oleohidráulicos son Sistemas Hidrostáticos.

2.1.2.2. LEY DE PASCAL

El principio de la Hidrostática se sustenta en la Ley de Pascal la cual sostiene que para los efectos de una fuerza sobre un líquido en reposo se propagan a través de todo el fluido, donde la presión en el fluido es igual a la intensidad de la fuerza la cual incide sobre una determinada área. Por su parte Jardón, Marini y Oliva (2016) sostienen que: “Un cambio de presión aplicado a un fluido en reposo dentro de un recipiente se transmite sin alteración a través de todo el fluido.

Es igual en todas las direcciones y actúa mediante fuerzas perpendiculares a las paredes que lo contienen.” (p.8).

Serrano (2002) afirma: “El Principio de Pascal plantea que en un fluido que se encuentra dentro de un recipiente en cualquier punto de dicho líquido, la presión que se ejerza se transmite con la misma intensidad en todas las direcciones, actuando de forma perpendicular a las paredes del recinto que lo contiene.”

La siguiente figura muestra el Principio de Pascal, así tenemos:

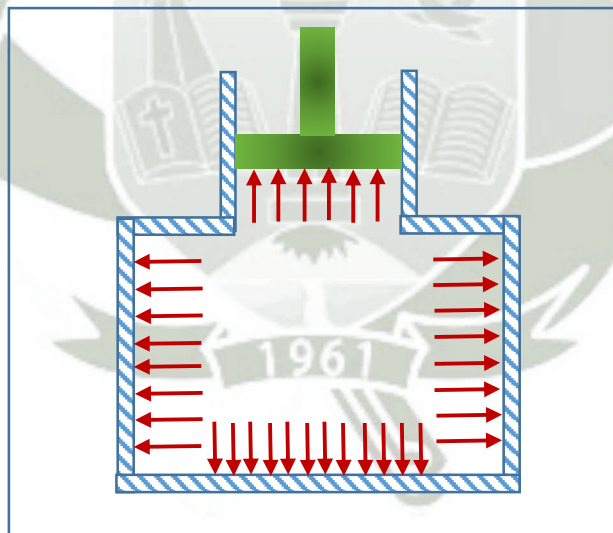


Figura Nro. 7. Representación del Principio de Pascal. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

En la figura se puede apreciar la esquematización del principio de pascal, se tiene un recipiente hermético y un Pistón en la parte de la abertura, cuando el pistón se acciona es decir hay un aumento de presión al cual está sometido el fluido, este mismo se transmite a todo el volumen de manera proporcional, por lo que el Principio de Pascal fundamenta el principio de funcionamiento

de las Máquinas Hidráulicas. Por lo tanto, la siguiente ecuación representa el Principio de Pascal:

$$P = \frac{F}{A}$$

Figura No. 8.Ecuación de Pascal .Fuente: Oleohidráulica (2002).Autor: Nicolás Serrano

Donde:

- P = Presión
- F= Fuerza aplicada por el Pistón
- A: Superficie del Pistón

La Ecuación vista anteriormente puede ser utilizada directamente en las prácticas más que todo en las transmisiones Oleohidráulicas las cuales normalmente trabajan a elevadas presiones, lo cual hace que el peso del fluido y el rozamiento que genera sea despreciable.

2.1.3. TEORIA DE LA HIDRAULICA

2.1.3.1. DEFINICION DE LA HIDRAULICA

La presente investigación tiene como objetivo la implementación de un Sistema de Control de Velocidad para un Motor Hidráulico mediante el uso de Tarjetas PID, es por ello la importancia de citar a la Teoría de la Hidráulica como base del Presente estudio. Roca (1999) sostiene que: “El principio precursor de la Oleohidráulica es la Ley de Pascal la cual sostiene que la Presión en cualquier punto de un fluido sin movimiento tiene un solo valor, independientemente de la dirección y ejerce Fuerzas Iguales”. (p 15).

Creus (2007), afirma también que: “La hidráulica es utilizada básicamente en los fluidos hidráulicos como medios de presión para mover pistones de los Cilindros, sus principales aplicaciones radican en los dispositivos móviles” (p. 11). Por su parte Vickers (1997) sostiene que: “El estudio de la hidráulica tiene que ver con el uso y caracterización de los líquidos” (p. 6). Por lo tanto, de las definiciones anteriormente citadas podemos afirmar que la Hidráulica, Hidráulica del Aceite u Oleohidráulica como es conocida, es un medio de transmisión energético, ello debido a que los sistemas que son controlados

por este medio son de implementación simple, silencioso y de control sencillo, ello a nivel de la fuerza, par de giro y velocidad. Se afirma también que la hidráulica al ser una rama de la mecánica es la que se encarga del estudio del comportamiento de los fluidos y se rige en base a dos leyes importantes: Ley de Pascal, la cual se basa en que el incremento de presión aplicado a una superficie de un líquido (Fluido Incompresible) contenido en un recipiente no deformable, se transmite con el mismo valor en cada una de las partes del mismo. El Principio de Bernoulli, el cual afirma que la energía que posee un fluido ideal el cual circula por un conducto cerrado permanece constante a lo largo de dicha trayectoria.

Los campos aplicativos de la Hidráulica poseen un alcance mayor en todos los ámbitos, por lo que se suelen dividir de dos formas:

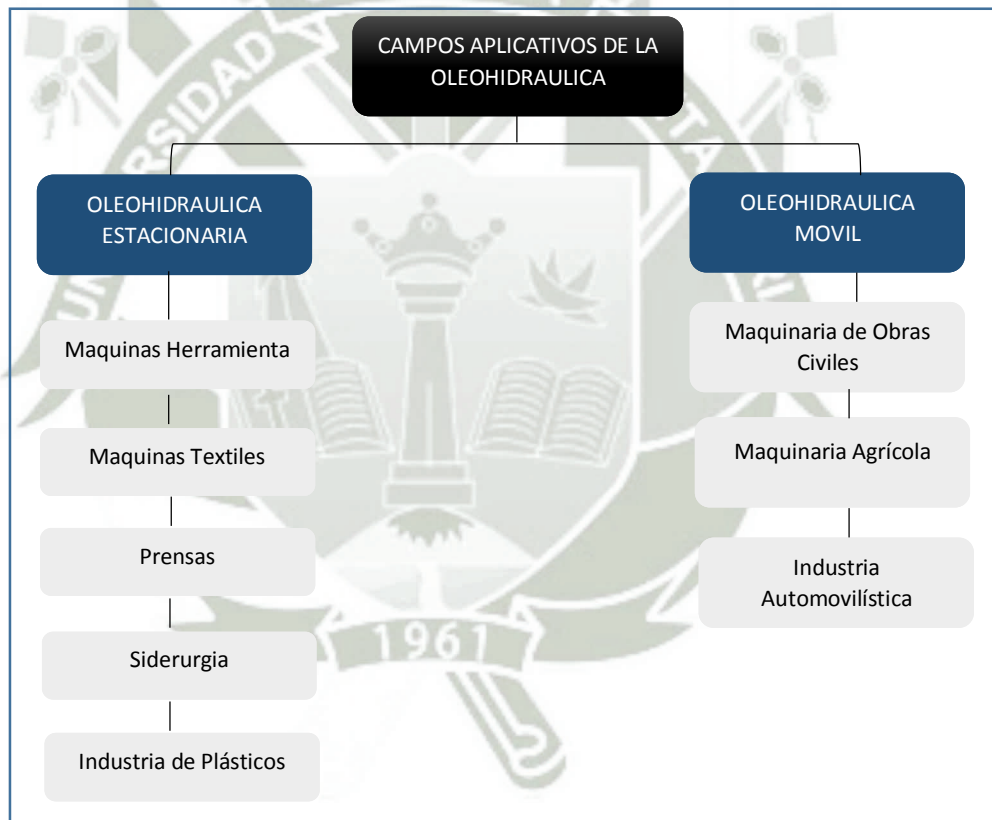


Figura Nro. 9. Campos Aplicativos de La Hidráulica. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

Como se puede apreciar en el mapa conceptual de la figura anterior, el estudio y aplicación de la Oleohidráulica puede dividirse en dos grandes grupos, como es el caso de la Oleohidráulica Estacionaria, la cual contempla el estudio y aplicación de las máquinas, herramientas, máquinas textiles, prensas, siderurgia, entre otros. Por otro lado, la Oleohidráulica móvil la cual

engloba la maquinaria de obras civiles, mineras, agrícolas y el campo automovilístico. De esta manera se demuestra las múltiples aplicaciones que posee esta técnica con la finalidad que se generen nuevas ideas en futuros diseños.

Cabe resaltar que, si hablamos de reducción de costes en el uso de energía para una determinada aplicación, la Oleohidráulica posee múltiples ventajas en este aspecto, tal como lo afirma Serrano (2002): “En los Sistemas Oleohidráulicos “El proceso de producción de fluido a presión es mucho más Simple, tanto así que cada maquina posee su propio grupo de producción del fluido a presión”. (p 19). La siguiente figura muestra las gráficas comparativas de los costes de diversas energías:

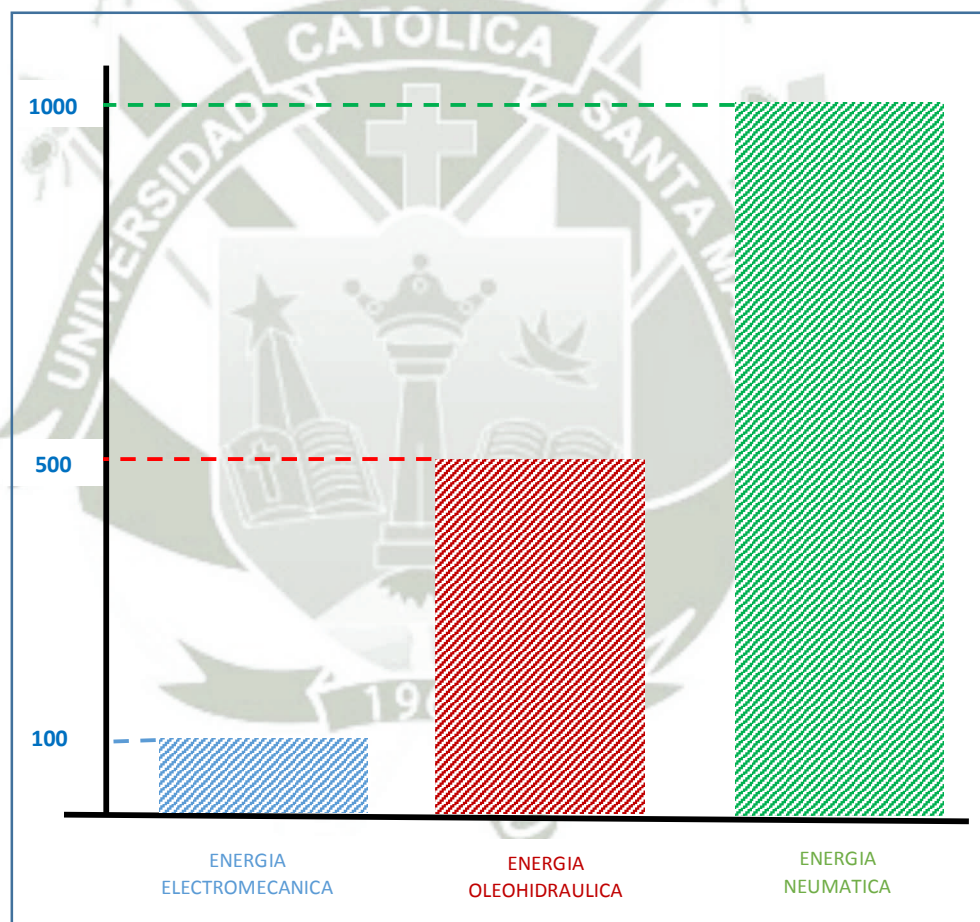


Figura Nro. 10. Grafica de los Costes Comparativos de Diversas Energías. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

De la gráfica anterior se observa la tendencia en cuanto al coste energético de tres tipos energía, para el caso de la Energía Electromecánica su costo es bajo, pero encontramos que muchas de sus aplicaciones son restringidas, para el caso de la Energía Oleohidráulica presenta un coste moderado en comparación con el de la Energía Neumática. Si bien es cierto ello representa una de las ventajas potenciales para la selección de clase de

Energía, debemos de indicar también que la Energía Oleohidráulica posee un alto coste de instalación de componentes como es el caso de válvulas y actuadores en comparación con otras alternativas de energía.

2.1.3.2. CLASIFICACION DE LA HIDRAULICA

En función a su uso y aplicación puede clasificarse de la siguiente manera:

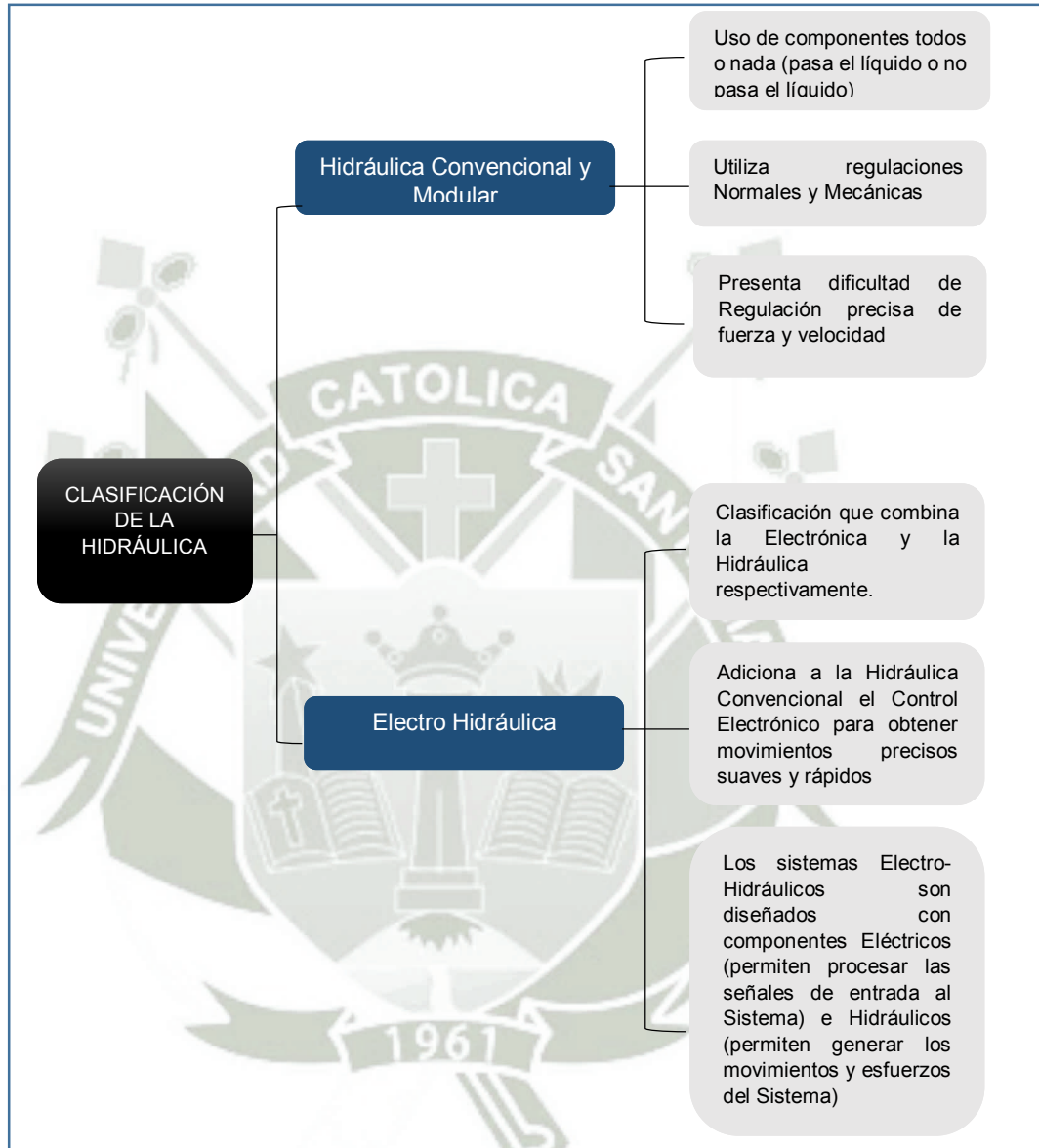


Figura Nro. 11. Diagrama de clasificación de la hidráulica. Fuente: Diseño de una Máquina para Flushing y Microfiltrado de Sistemas Hidráulicos (2014). Autor: Ariel Ordoñez

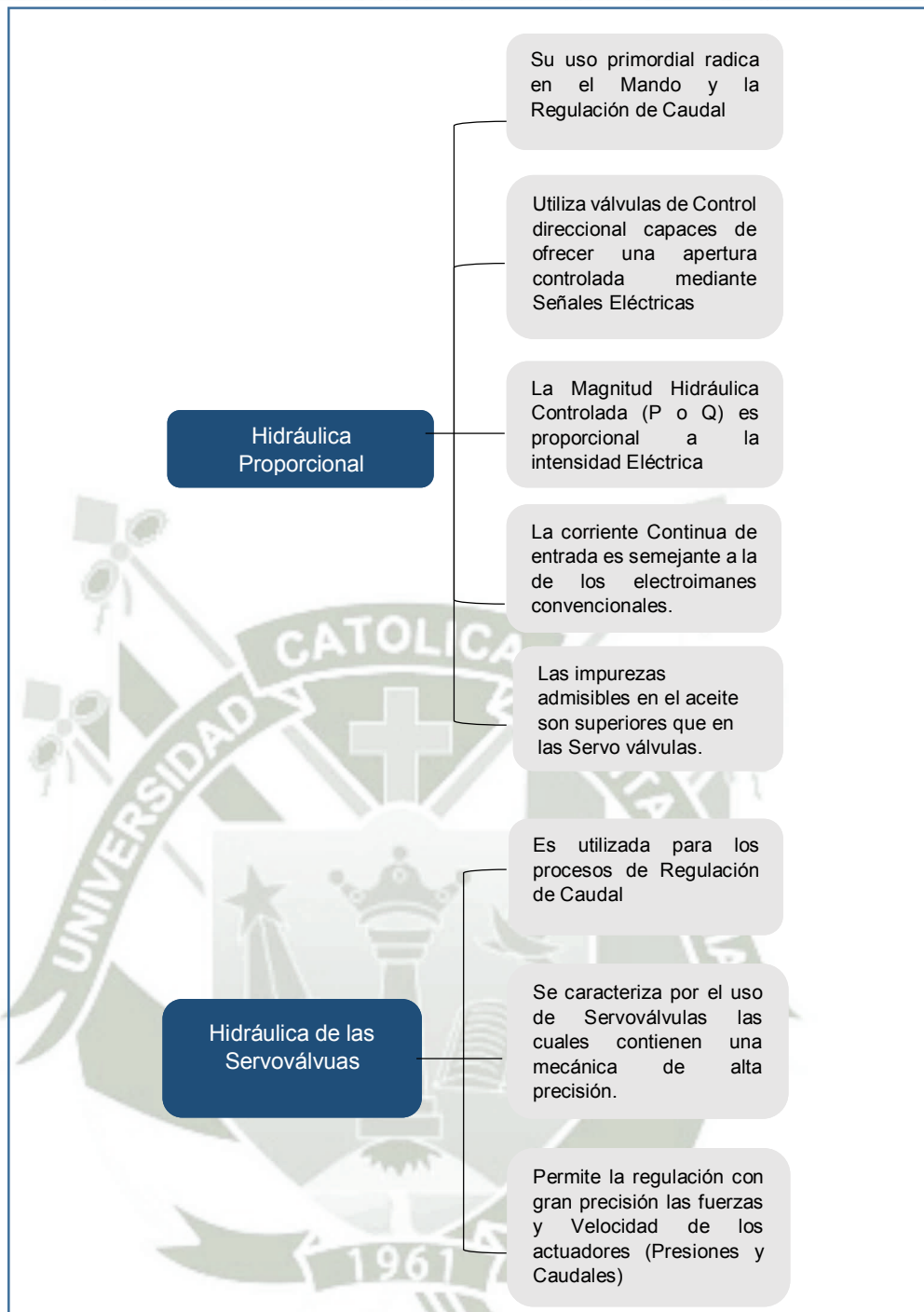


Figura Nro. 12. Diagrama de clasificación de la hidráulica-Continuación. Fuente: Diseño de una Máquina para Flushing y Microfiltrado de Sistemas Hidráulicos (2014). Autor: Ariel Ordoñez

De acuerdo a la gráfica anterior, se puede apreciar la importancia que posee la aplicación de la Oleohidráulica en sus distintas clases para cada requerimiento. Cabe resaltar que la hidráulica proporcional resulta ser una alternativa adecuada para lograr la simplificación de circuitos hidráulicos mediante el uso de válvulas de control direccional, las cuales tienen la capacidad de controlar su apertura y alcanzar un mayor grado de eficiencia.

2.1.3.3. DEFINICION DE CIRCUITO HIDRAULICO

Ordoñez (2014) sostiene que: “Un sistema hidráulico es un conjunto de componentes eléctricos, mecánicos y electrónicos que interactúan entre sí, para generar, controlar, transformar y dirigir la Energía Hidráulica.” (p.10). Por su parte Serrano (2002) afirma que “Una vez conocidas las necesidades reales que justifican la presencia de un Sistema Oleohidráulico, se inicia el estudio de lo que se denominará Circuito Oleohidráulico”. (p .70.).

De esta forma podemos afirmar que un Circuito Oleohidráulico es un Sistema que tiene la capacidad de generar y multiplicar fuerzas y movimientos haciendo uso de un fluido en este caso el aceite sometido a presión, el fluido actúa como medio de transmisión de energía. Cabe resaltar que, para alcanzar esta finalidad, los Sistemas Oleohidráulicos utilizan medios o canales como son las válvulas, servo válvulas y dispositivos de control.

La siguiente figura muestra la estructura de un circuito hidráulico:

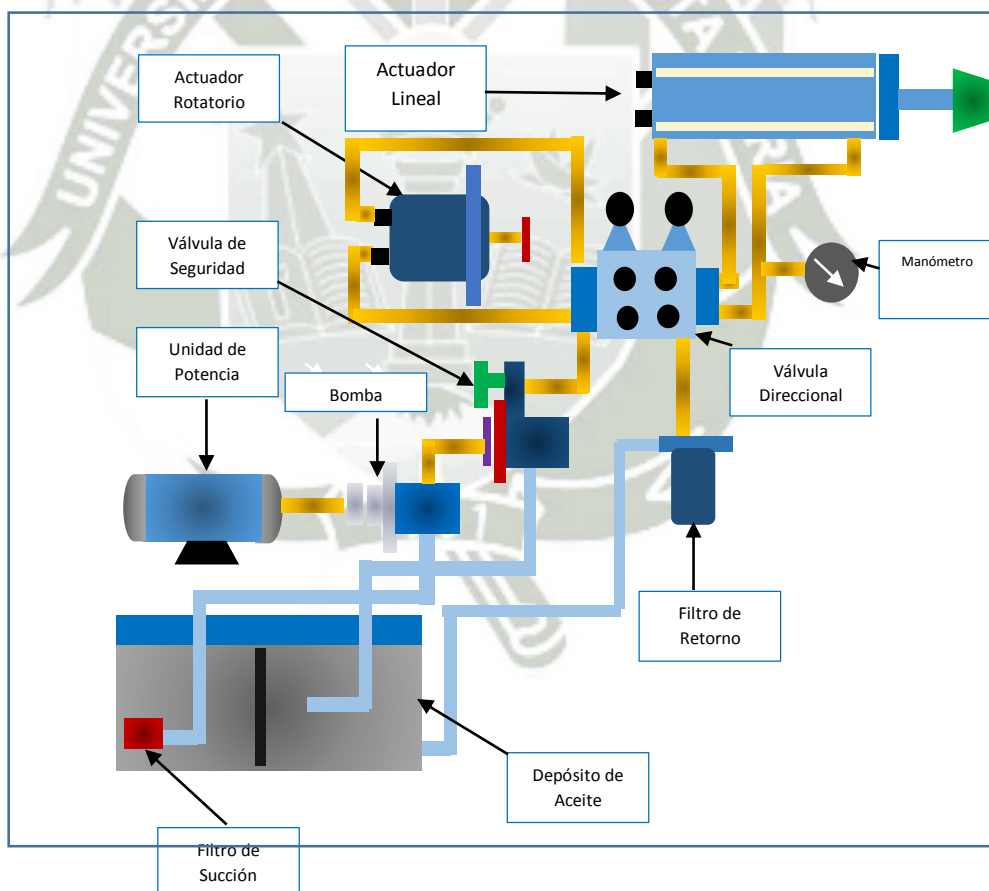


Figura Nro. 13.Circuito Oleohidráulico Básico Diseño de una Máquina para Flushing y Microfiltrado de Sistemas Hidráulicos (2014).Autor: Ariel Ordoñez

Del diagrama anterior podemos observar que todo circuito oleohidráulico básico está constituido por un depósito donde se encuentra el fluido principal, en este caso el aceite, un motor eléctrico el cual transfiere energía eléctrica hacia una bomba cuya función principal es entregar caudal y conducirlo a través de los conductos hacia una válvula direccional mediante la cual se conduce la energía hacia los mandos finales o actuadores como en este caso un cilindro de doble efecto o un motor hidráulico.

Cabe resaltar que todo Sistema Oleohidráulico posee filtros debido a las impurezas que puedan generarse en el trayecto que recorre el fluido a través de los conductos.



Para una mejor comprensión de las funciones principales que cumple cada componente dentro de un Sistema Oleohidráulico, se revisará el siguiente mapa conceptual, así tenemos:

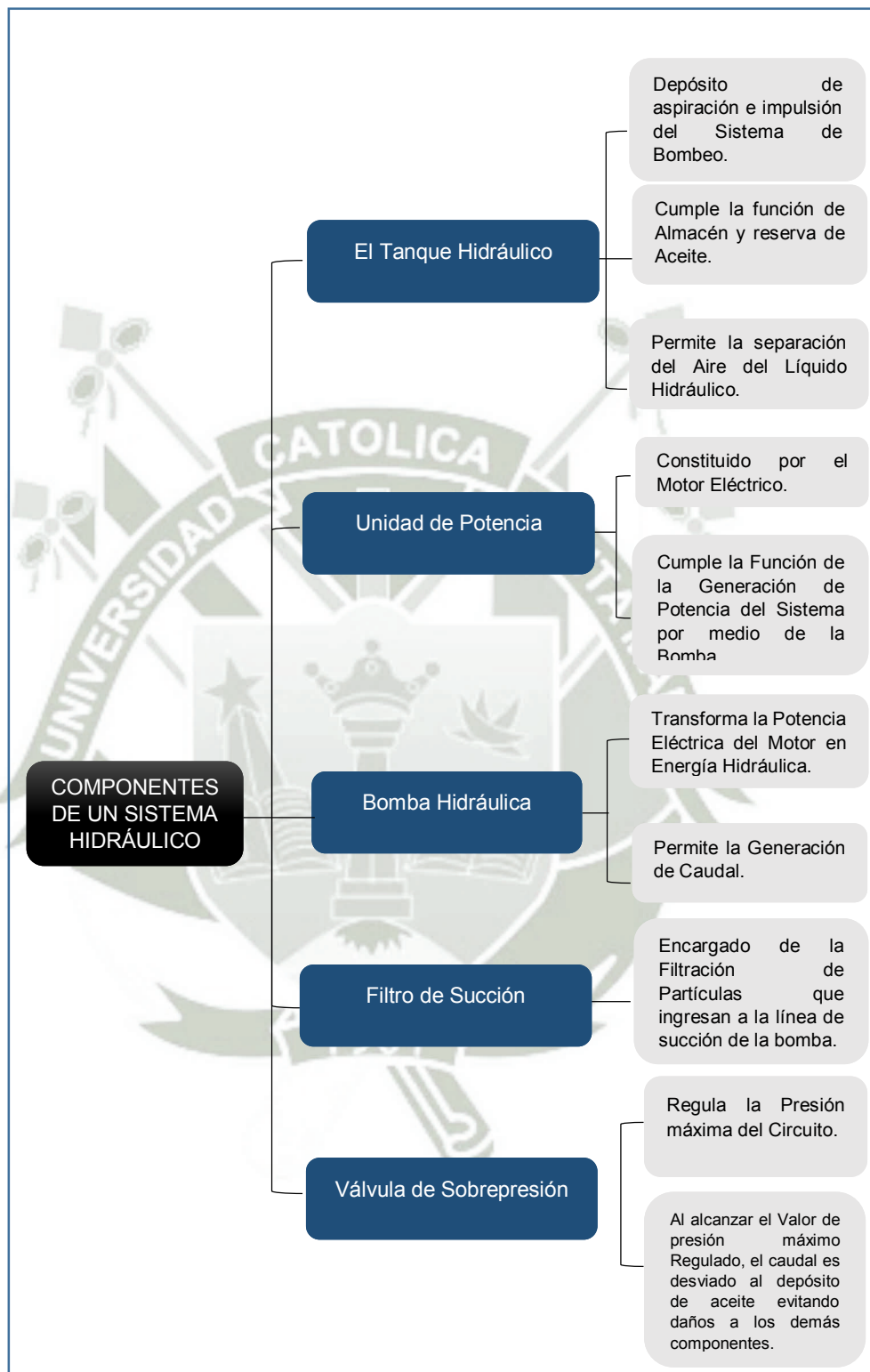


Figura Nro. 14. Descripción de los Componentes de un Circuito Oleohidráulico Básico. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

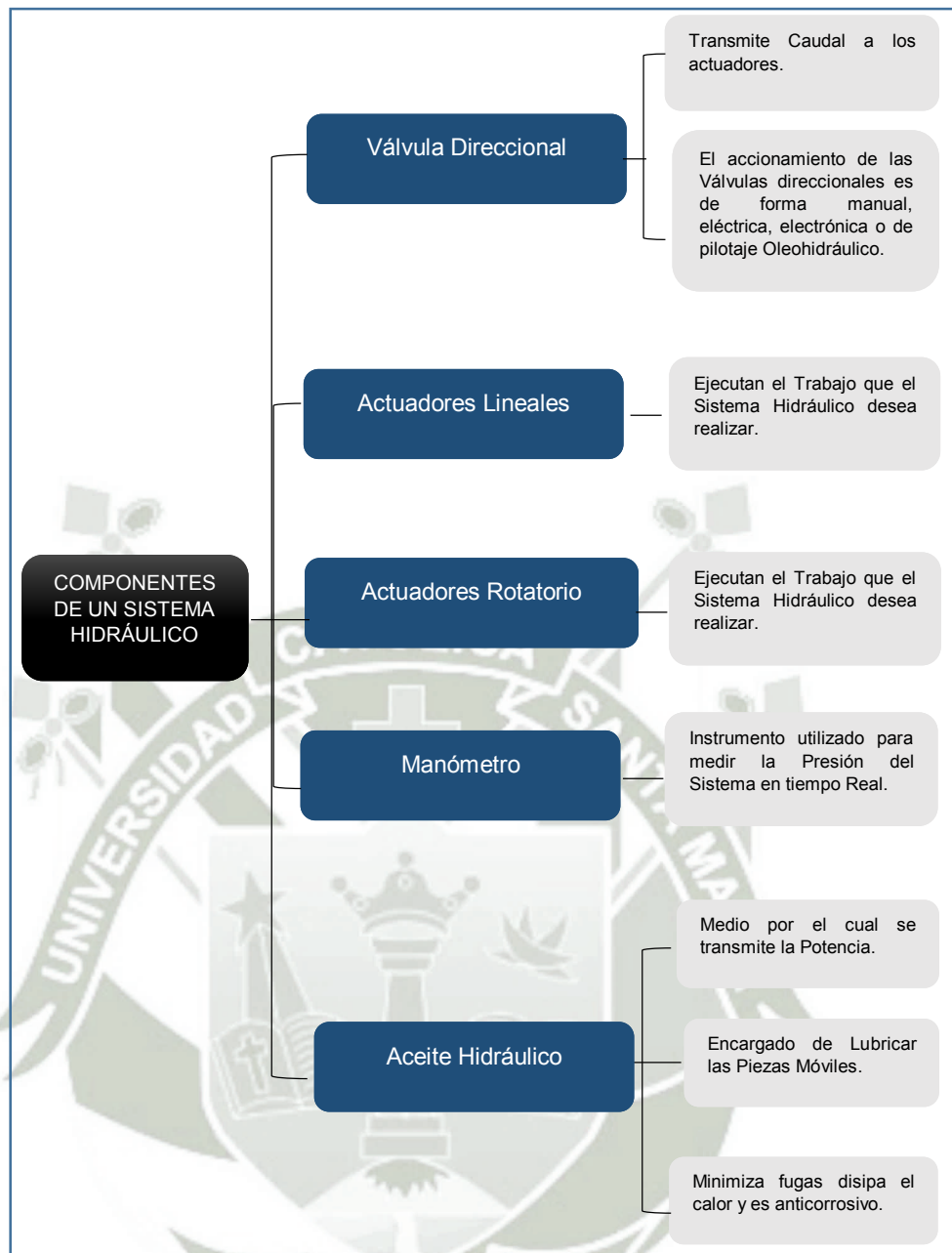


Figura Nro. 15. Descripción de los Componentes de un Circuito Oleohidráulico Básico –Continuación. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

2.1.3.4. COMPONENTES DE UN SISTEMA HIDRAULICO

2.1.3.5. VALVULAS HIDRAULICAS

Según lo planteado por Serrano (2002), afirma que: “Las válvulas hidráulicas son componentes encargados de dar el paso al fluido hidráulico por un conducto.” (pág. 177). El uso de las válvulas hidráulicas puede darse de la siguiente manera:

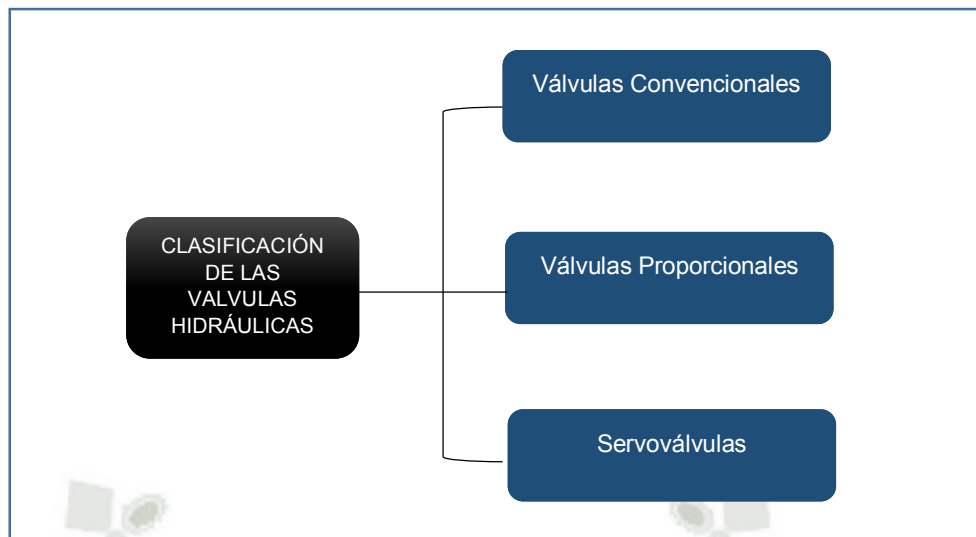


Figura Nro. 16. Diagrama de Clasificación de las Válvulas Hidráulicas. Fuente: Sistemas Neumáticos y Oleohidráulicos (2007). Autores: Javier Almandoz, Belén Mongelos, Idioa Pellejero

La figura vista anteriormente presenta el diagrama de clasificación de las válvulas utilizadas en el campo de la hidráulica, para el caso de las válvulas convencionales o clásicas, el fluido recorre por su interior de manera todo o nada, es decir o todo el caudal que llega a la entrada fluye en su totalidad o no fluye nada, ocurriendo lo mismo en los conductos de salida. Las válvulas proporcionales poseen accionamiento por señales mecánicas y/o eléctricas, en el caso de las servoválvulas, su accionamiento es por señales electrónicas.

Una segunda propuesta basada en función de la utilización de las válvulas presenta la siguiente clasificación:

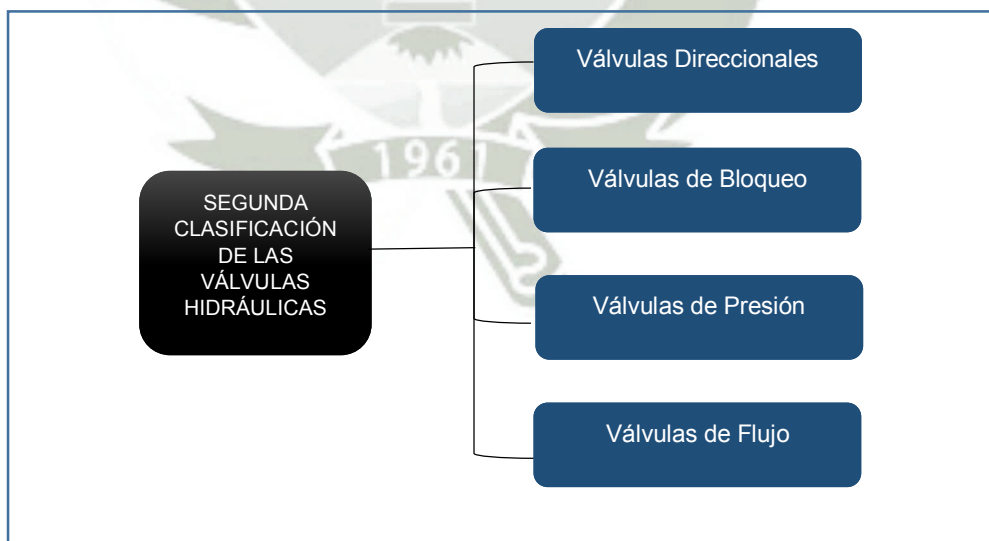


Figura Nro. 17. Diagrama de la Segunda Clasificación de las Válvulas Hidráulicas. Fuente: Sistemas Neumáticos y Oleohidráulicos (2007). Autores: Javier Almandoz, Belén Mongelos, Idioa Pellejero

En función al cuadro anterior, la segunda clasificación presenta las válvulas direccionales o también denominadas distribuidoras las cuales tienen la propiedad de señalar el camino que debe seguir el fluido, en el caso de las válvulas de bloqueo se encargan de impedir o controlar la circulación del fluido en uno de los sentidos. Las válvulas de presión se encargan del control de la presión y finalmente las válvulas de flujo controlan el caudal.

2.1.3.5.1. REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LAS VALVULAS HIDRAULICAS

La representación esquemática de las válvulas hidráulicas se da en función de las posiciones, el número de conexiones y las vías de comunicación externa que poseen. La representación se da de manera esquemática por medio de cuadrados, siendo la interpretación que para cada cuadrado corresponde una posición de la corredera o asiento de la válvula, por lo tanto la siguiente figura muestra la representación:

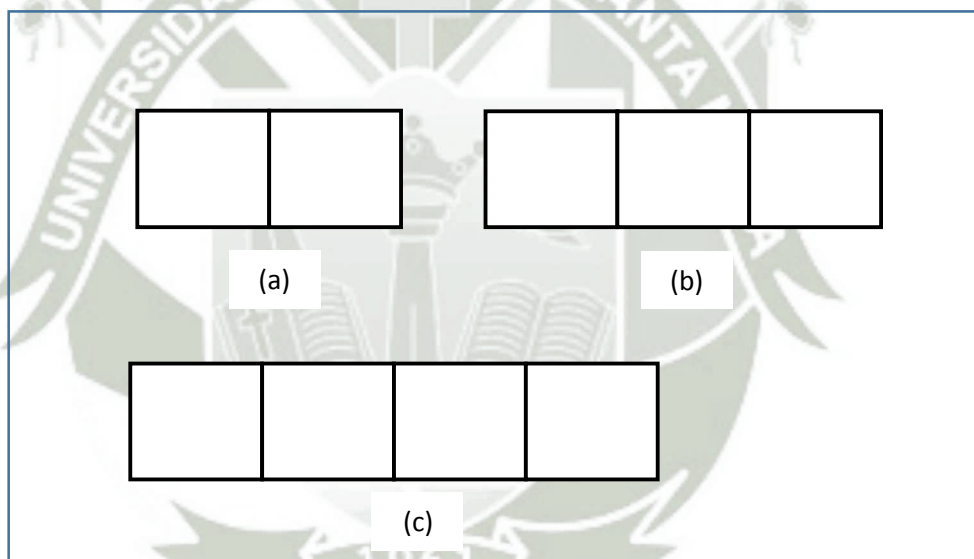


Figura Nro. 18. Representación esquemática de las Posiciones de una Válvula Hidráulica. Fuente: Oleohidráulica (2002) .Autor: Nicolás Serrano.

Como puede apreciarse en la figura anterior la figura N°18-a representa a una válvula de 2 posiciones, asimismo (b) representa una válvula de 3 posiciones y finalmente (c) representa una válvula hidráulica de 4 posiciones respectivamente.

Asimismo la representación de las válvulas hidráulicas conlleva también al uso de letras, en este caso la letra P representa la entrada o ingreso de presión, las letras A y B representan las salidas hacia los actuadores o los componentes que efectúan trabajo como es el caso de los cilindros hidráulicos, motores, actuadores de giro, etc. Las letras R, S y T

respectivamente representan el retorno del aceite hacia el tanque o depósito. La siguiente figura muestra la representación en letras de las válvulas hidráulicas:

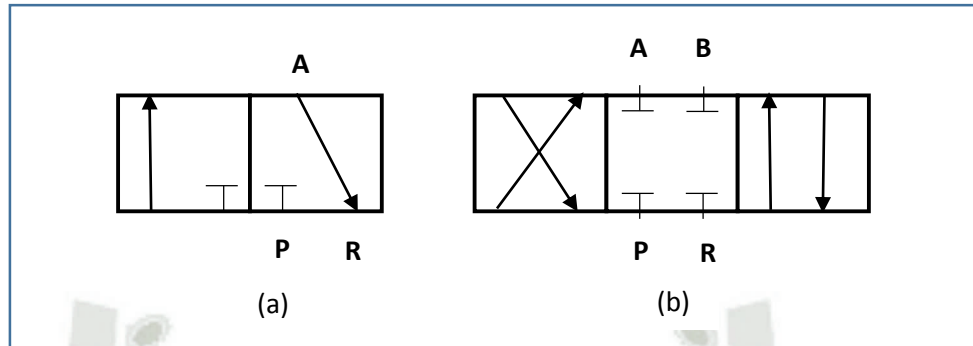


Figura Nro. 19. Representación de las Conexiones y Vías de Transición. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

Como se puede apreciar en la figura anterior se verifica la representación de las conexiones y vías de las válvulas hidráulicas, en (a) se muestra una válvula de dos posiciones y tres vías, en este caso las conexiones P, R y A. La vía de ingreso (P) se encuentra cerrada, mientras que la toma del actuador (A) comunica con el retorno al depósito del sistema (R). Al conmutar la válvula a la derecha, entonces se podrá lograr la comunicación de (P) con la salida (A) y el retorno (R) estará cerrado.

En (b) se muestra una Válvula de tres posiciones y cuatro vías en este caso (P), (A), (B) y (R), tal como se puede verificar en la figura, la válvula se encuentra en una posición de reposo central, las cuatro vías se encuentran bloqueadas, si la corredera es desplazada al lado izquierdo entonces se podrá apreciar la toma de presión (P) comunicará con la salida (A) y a su vez la salida (B) se comunicará interiormente con el retorno al depósito o tanque (R).

2.1.3.5.2. TIPOS DE ACCIONAMIENTOS

Los núcleos y correderas de las válvulas pueden ser accionadas de distintas maneras dentro de ellas tenemos la forma manual, por accionamiento mecánico, accionamiento fluido y por accionamiento electromagnético.

En el caso del accionamiento manual son comúnmente utilizados en dispositivos sencillos, donde el ciclo de la máquina se desarrolla a voluntad.

En el caso de las máquinas que poseen ciclo automático el accionamiento que es aplicado es el electromagnético por medio de las electroválvulas.

La siguiente figura muestra la estructura del accionamiento de una válvula hidráulica:

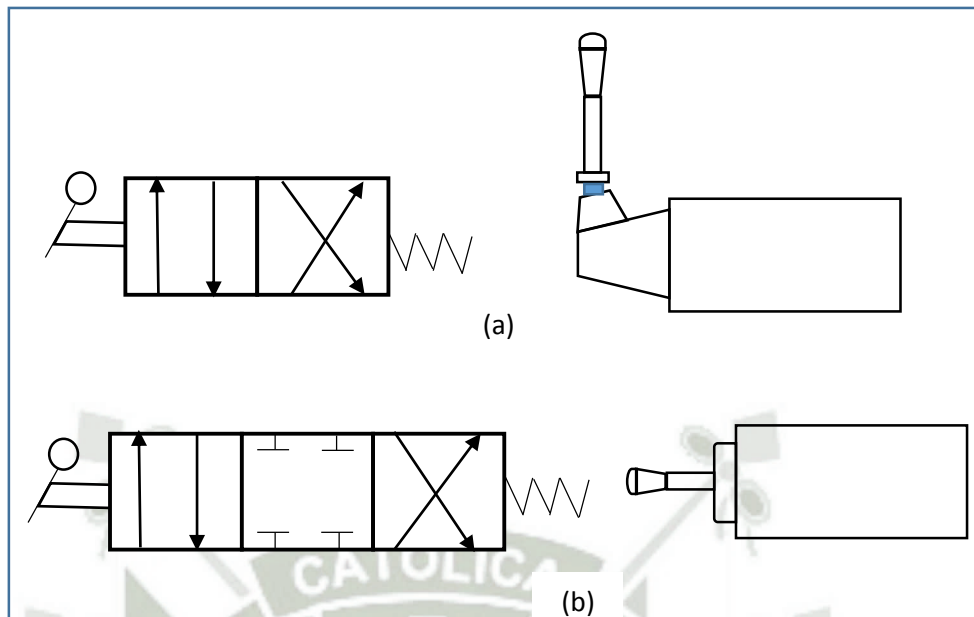


Figura Nro. 20. Representación de los Accionamientos Manuales de las Válvulas Hidráulicas. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

Como se puede apreciar en la figura anterior verificamos dos tipos de accionamientos, en (a) se representa el accionamiento de una válvula por palanca donde el movimiento está en dos sentidos logrando trasladar la corredera a las posiciones de las conmutaciones de las vías, el resorte permite que al dejar de activar la palanca de accionamiento, la válvula retorne a su posición original. En (b) se representa el mando manual de una válvula hidráulica en este caso el movimiento para trasladar la corredera, es de forma axial.

La siguiente figura muestra los tipos de válvulas por accionamiento mecánico:

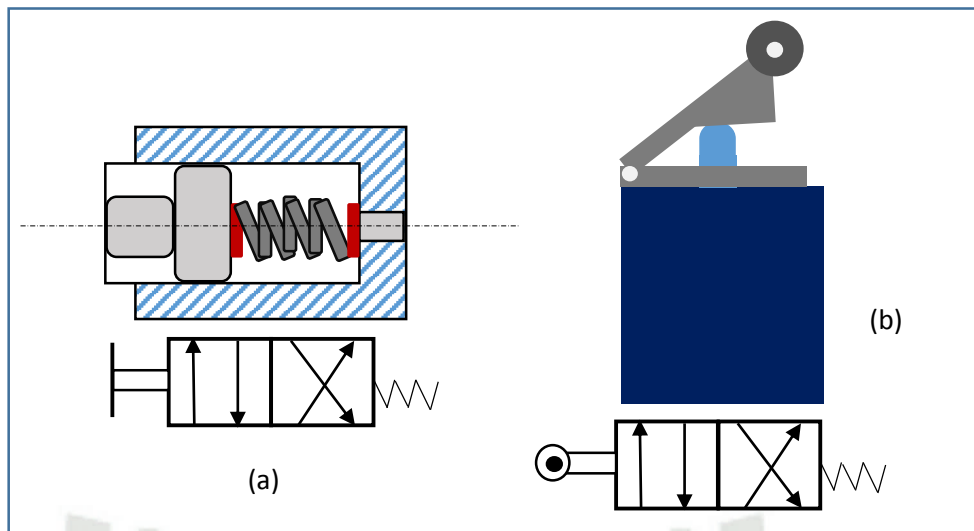


Figura Nro. 21. Representación de los Accionamientos Mecánicos de las Válvulas Hidráulicas. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

La figura anterior muestra el accionamiento mecánico de las válvulas hidráulicas en el caso de (a) se observa un resorte que es accionado por el empuje de la corredera no interviniendo ninguna manipulación externa de forma directa, al lograr comprimirse el muelle este mismo almacena energía la cual es liberada al cese o término de la fuerza, de tal forma que la corredera retorne a su posición de reposo. En (b) se aprecia una tipología de accionamiento mecánico por rodillo, su instalación se da en las partes fijas de las máquinas de tal forma que un elemento móvil desplaze el rodillo por medio de un tope inclinado.

Finalmente se analiza el accionamiento de las válvulas hidráulicas por medio fluido y electromagnético, la siguiente figura muestra esta tipología:

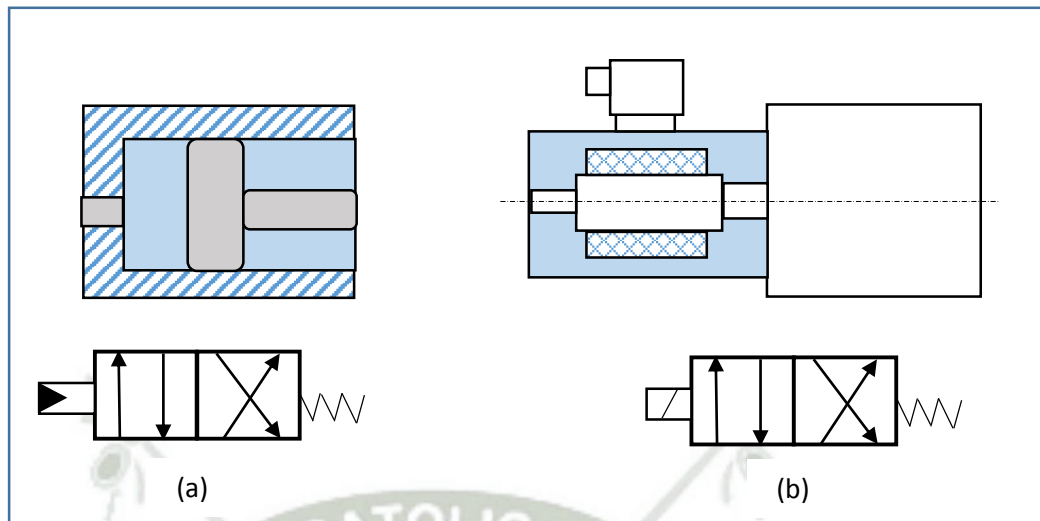


Figura Nro. 22. Representación de los Accionamientos Fluido y Electromagnético de las Válvulas Hidráulicas. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

Como se puede apreciar en la figura anterior se tiene los tipos de accionamiento fluido y electromagnético, en (a) se muestra el accionamiento de la corredera por el empuje de la presión del fluido sobre el Pistón el cual está configurado de manera solidaria con la corredera, lo cual hace que sea desplazada de manera axial con la finalidad de que las vías sean conmutadas. En (b) se puede verificar la representación de una electroválvula cuya corredera es accionada por la fuerza producida por un electroimán el cual se alimenta de corriente eléctrica la cual es producida y proporcionada por la caja de bornes.

2.1.3.5.3. VALVULAS DIRECCIONALES

Según Serrano (2002), sostiene que: “Las válvulas direccionales son componentes Oleohidráulicos encargados de dar el paso al fluido hidráulico por un conducto.” (pág. 177). Existen dos tipologías de válvulas direccionales las cuales se muestran en el siguiente cuadro:

Tipología de las Válvulas Direccionales	
Válvula Direccional de Asiento	Válvula Direccional de Corredera
Poseen un Desplazamiento Corto, requiriendo de fuerza de accionamiento poseen una perfecta estanquidad sin fugas; permiten trabajar con grandes presiones, no se agarrotan, su mantenimiento es fácil y tienen una larga vida. El mando puede ser manual, mecánico o eléctrico, además de directo e indirecto.	Las válvulas de corredera poseen un desplazamiento más largo, exigen poca fuerza de accionamiento, su estanquidad es menor, pueden tener fugas, son de construcción sencilla y son aptas para cumplir múltiples funciones.

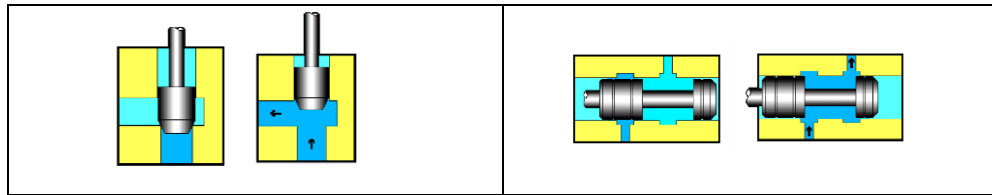


Figura Nro. 23. Tipología de las Válvulas Hidráulicas Direccionales. Fuente: Sistemas Neumáticos y Oleohidráulicos (2007). Autores: Javier Almandóz, Belén Mongelos, Idoia Pellejero

2.1.3.5.4. VALVULAS DE ANTIRRETORNO

Las válvulas antirretorno son aquellas capaces de permitir el paso de un fluido en un determinado sentido y de forma simultánea impedir que lo haga en sentido contrario.

La siguiente grafica muestra la estructura de una válvula antirretorno:

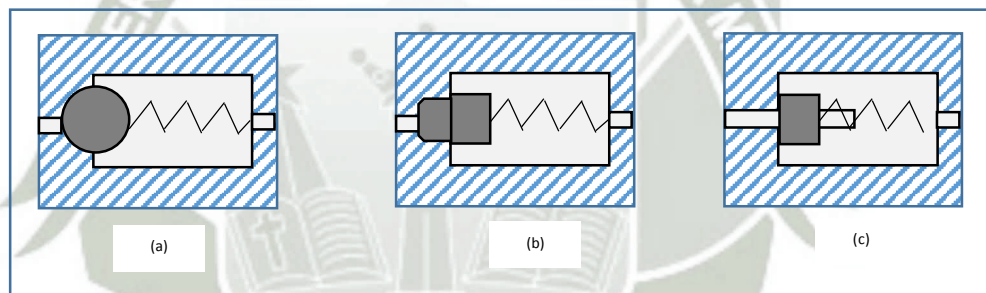


Figura Nro. 24. Tipología de las Válvulas Hidráulicas Antirretorno. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

La figura muestra los tres tipos de válvulas antirretorno simples, en (a) se muestra el cierre de la válvula mediante un elemento esférico o también denominado bola, en (b) se muestra un cierre por asiento cónico y en (c) es una tipología de válvula que es utilizada para la circulación del fluido.

Otra tipología complementaria a la mostrada anteriormente es la válvula antirretorno con desbloqueo hidráulico, componente que bajo señal voluntaria de presión por medio de un pilotaje sobre la válvula producen desbloqueo o paso del fluido en el sentido del bloqueo, la siguiente figura muestra la válvula descrita:

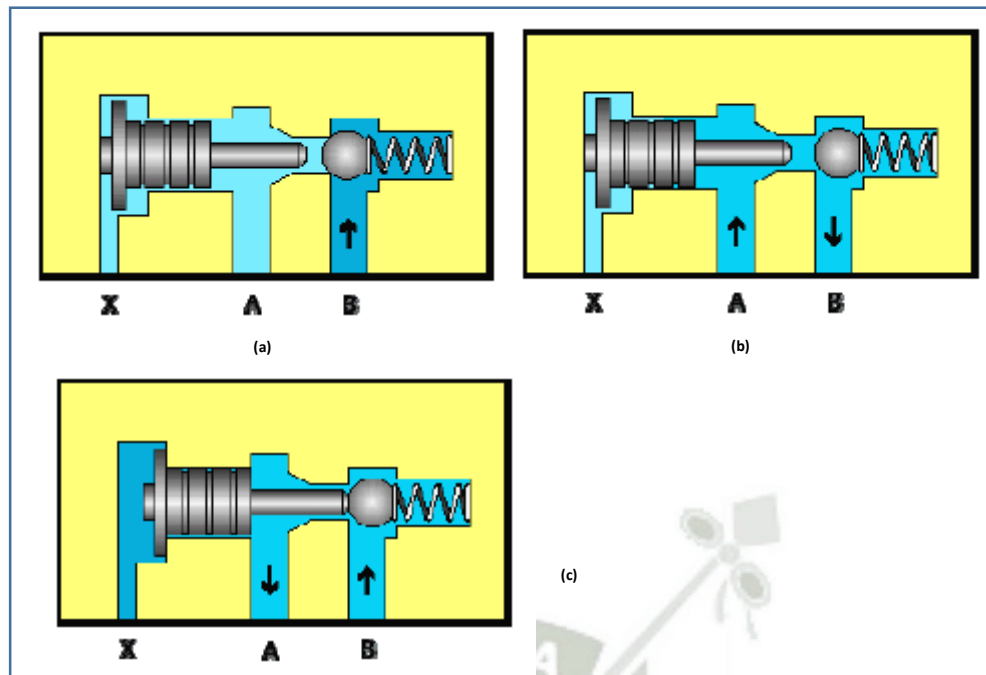


Figura Nro. 25. Válvula Antirretorno con Desbloqueo Hidráulico. Fuente: Sistemas Neumáticos y Oleohidráulicos (2007). Autores: Javier Almandó, Belén Mongelos, Idoia Pellejero.

La figura anterior muestra la estructura y la dinámica de funcionamiento de la válvula antirretorno con desbloqueo hidráulico, la posición de cierre hace que el muelle empuje la bola contra el asiento, por lo tanto, se permite el paso del flujo del conducto A hacia B. Si es aplicada presión a la vía "X", el pistón empuja la bola en contra del muelle permitiendo pasar el fluido de B hacia A. La válvula es útil cuando en determinados momentos se requiere impedir el desplazamiento de un cilindro en un sentido.

2.1.3.5.5. VALVULAS REGULADORAS DE PRESION

Las válvulas reguladoras de presión son aquellas que intervienen de manera directa en la presión del fluido de manera total o parcial dentro de un circuito hidráulico, se pueden clasificar de la siguiente manera:

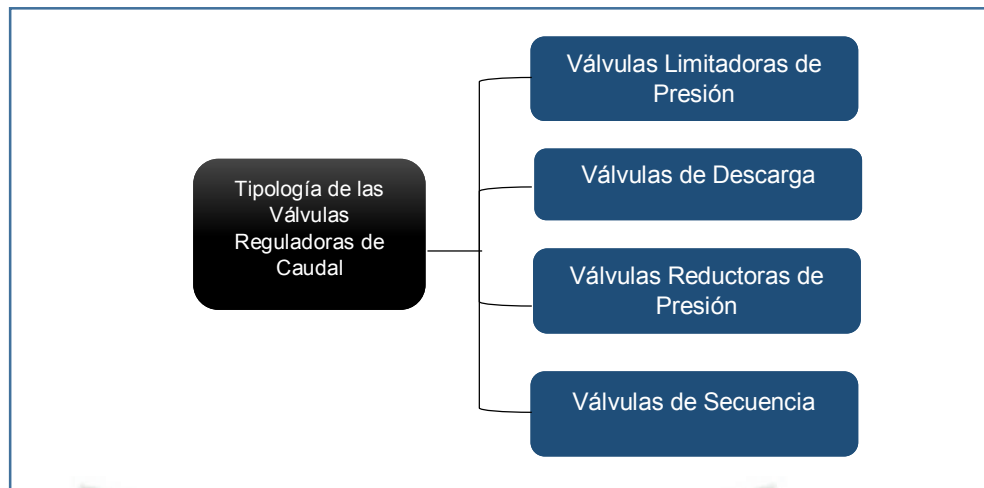


Figura Nro. 26. Tipología de las Válvulas Reguladoras de Caudal. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

La figura anterior muestra la tipología de las válvulas reguladoras de caudal, para el caso de las válvulas limitadoras de presión, son aquellas cuya función principal es lograr el control de la presión de un Circuito Hidráulico en su totalidad o de manera parcial, de tal forma que no supere los límites establecidos. La siguiente figura muestra la estructura de una válvula limitadora de presión simple, así tenemos:

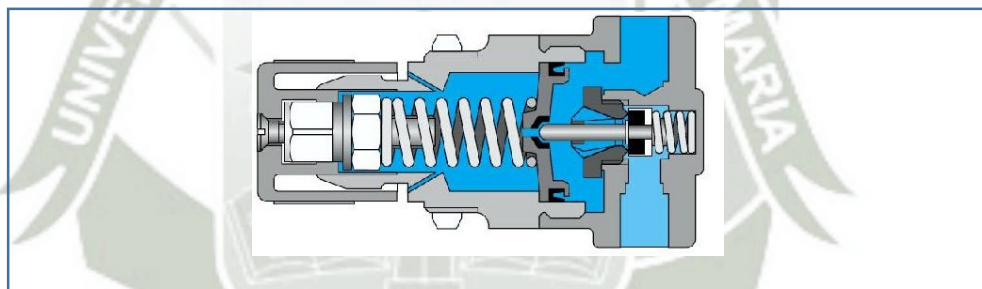


Figura Nro. 27. Estructura de una Válvula Limitadora de Presión Simple. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

Las válvulas de descarga en vacío son aquellas capaces de regular la presión de dos etapas, es decir dos movimientos. La siguiente figura muestra la estructura de una válvula de descarga en vacío, así tenemos:

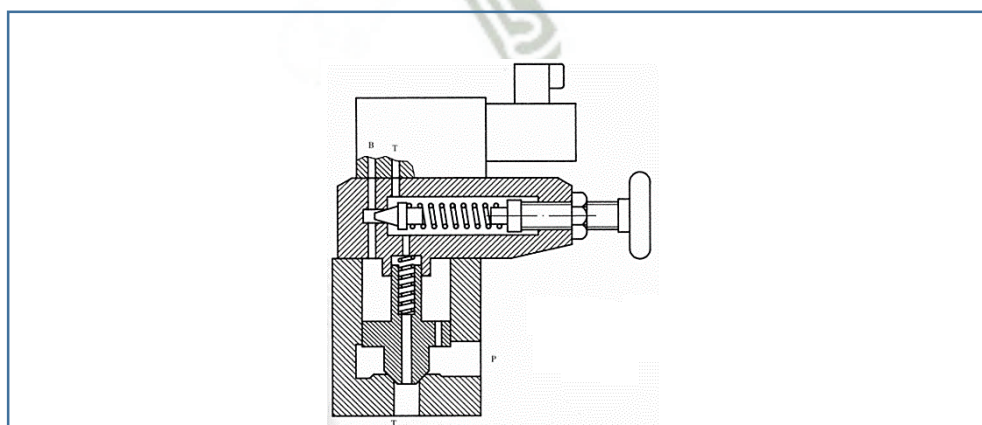


Figura Nro. 28. Estructura de una Válvula de Descarga en Vacío. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

Por su parte las válvulas reductoras de presión son utilizadas cuando en una parte de un Circuito Oleohidráulico es requerida una presión distinta a la presión ejercida en el Circuito Principal. Para lograr el funcionamiento correcto de la Válvula, la presión secundaria en cuestión únicamente puede ser igual o menor a la presión principal. La siguiente figura muestra el esquema de una Válvula Reductora de Presión, así tenemos:

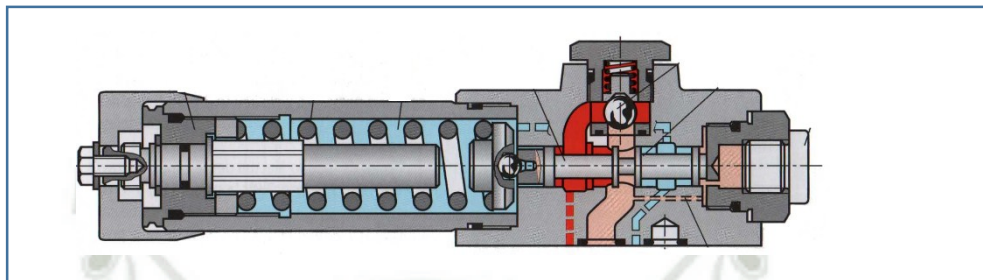


Figura Nro. 29. Estructura de una Válvula Reductora de Presión de Mando Directo. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

Las Válvulas de Secuencia por su parte cumplen la función de una Válvula reguladora de Presión en la cual el Fluido únicamente circula a la Salida, ello cuando la Presión de entrada alcanza un determinado valor preestablecido. La siguiente figura muestra el esquema de una Válvula de Secuencia Hidráulica, así tenemos:

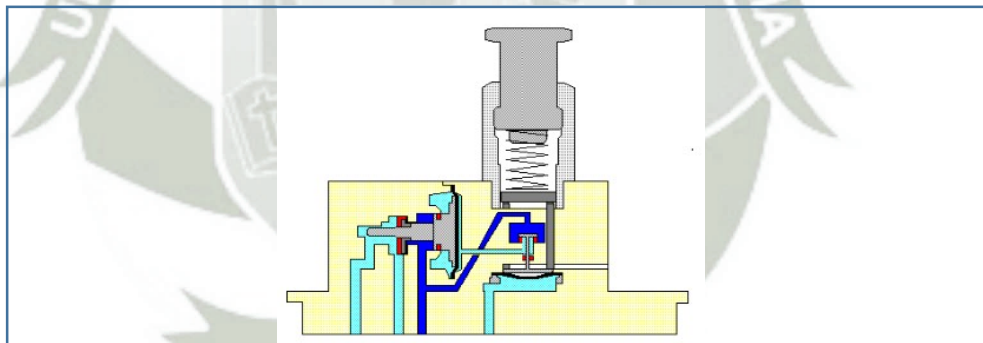


Figura Nro. 30. Estructura de una Válvula de Secuencia. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

2.1.3.5.6. VALVULAS REGULADORAS DE CAUDAL

Las válvulas reguladoras de caudal tienen como función principal la modificación y regulación del caudal, es decir controlar la cantidad de aceite que es conducida hacia los actuadores o componentes de trabajo. El caudal es limitado por la acción de dicha válvula por lo que el restante es enviado hacia el Depósito. Normalmente esta acción es procedente cuando en el circuito se instalan Bombas de caudal constante.

Existen dos tipologías de válvulas reguladoras de caudal, las cuales se muestran en el siguiente Diagrama:

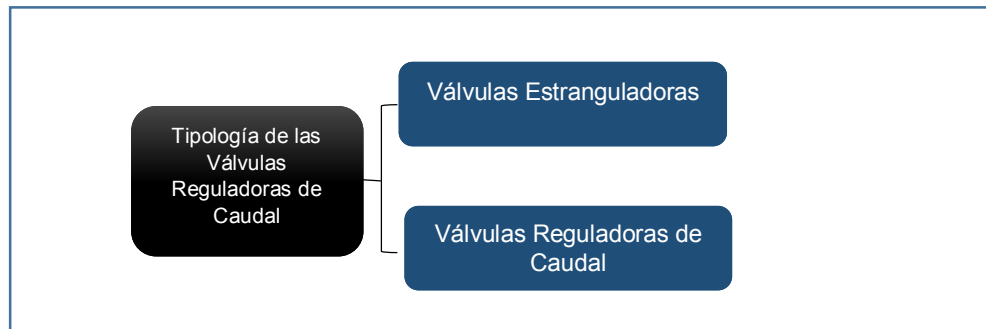


Figura Nro. 31. Tipología de las Válvulas Reguladoras de Caudal. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

En el caso de las válvulas estranguladoras, el caudal es función de la diferencia de presiones de ingreso y salida y depende de manera indirecta de la viscosidad del aceite.

Por su parte en el caso de las válvulas reguladoras el caudal se regula de manera independiente en cuanto a las presiones de entrada y salida, consiguiendo de esta manera una Velocidad constante en el actuador.

La siguiente figura muestra la estructura de una válvula reguladora de caudal, así tenemos:

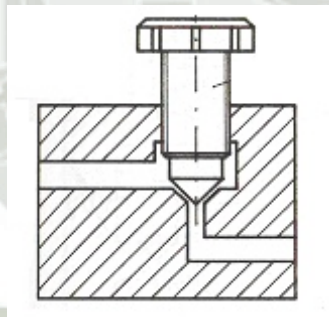


Figura Nro. 32. Válvula Reguladora de Flujo Bidireccional. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

La válvula reguladora de flujo bidireccional mostrada anteriormente carece de una válvula antirretorno, por lo que permite la circulación del fluido estrangulado en ambos sentidos.

Por otra parte, la válvula estranguladora con válvula antirretorno permite que el caudal pueda ser regulado en un solo sentido, sin embargo, en sentido contrario permite que el fluido circule libremente sin tener que pasar por la estrangulación. La siguiente figura muestra el esquema de una válvula estranguladora con antirretorno, así tenemos:

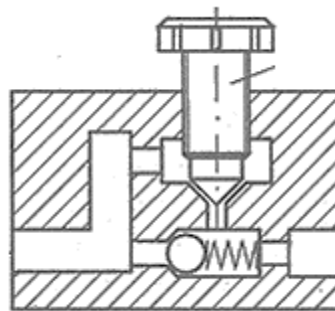


Figura Nro. 33. Válvula Reguladora de Flujo unidireccional con Válvula Antirretorno. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

2.1.3.6. ACTUADORES HIDRAULICOS

Los actuadores hidráulicos son elementos capaces de realizar la transformación de la energía hidráulica en energía mecánica y se pueden clasificar de la siguiente manera:

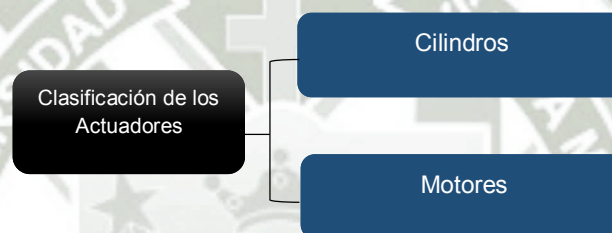


Figura Nro. 34. Clasificación de los Actuadores Hidráulicos. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

En función a la clasificación anterior, los cilindros son un tipo de actuadores los cuales forman parte de un Circuito Oleohidráulico. Tienen la capacidad de poder utilizar el caudal proveniente de las bombas para generar movimientos rectilíneos tanto en las acciones de avance y retroceso. Los Cilindros se clasifican de la siguiente manera:

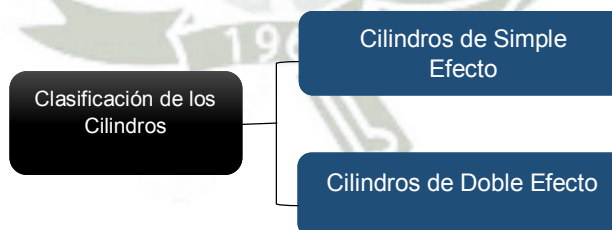
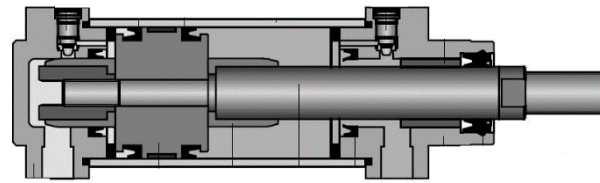


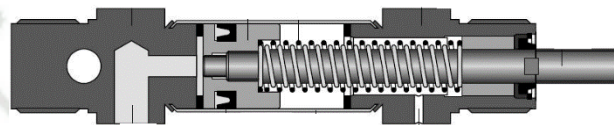
Figura Nro. 35. Clasificación de los Cilindros Hidráulicos. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

En el caso de los cilindros de simple Efecto son componentes hidráulicos en los cuales el fluido a grandes presiones ingresa en una de las cámaras permitiendo que el pistón avance a causa del empuje en un solo sentido. Para el caso del cilindro de doble efecto este posee el mismo principio de

funcionamiento antes mencionado, sin embargo, el empuje que se genera se efectúa en ambos sentidos. La siguiente figura muestra la estructura de un cilindro de doble y simple efecto respectivamente:



(a)



(b)

Figura Nro. 36. Cilindro Hidráulico de Doble Efecto (a), Cilindro Hidráulico de Simple Efecto (b) Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

Como segunda clasificación dentro del campo de los actuadores hidráulicos tenemos a los motores hidráulicos los cuales a lo largo del tiempo han tenido relevancia en cuanto a su utilización y aplicación en la Industria. Los motores hidráulicos tienen la capacidad de lograr la transformación de la Energía Oleohidráulica en Energía Mecánica de rotación, su configuración y estructura interna son semejantes a las de las bombas rotativas. La siguiente grafica muestra la clasificación de los motores hidráulicos, así tenemos:

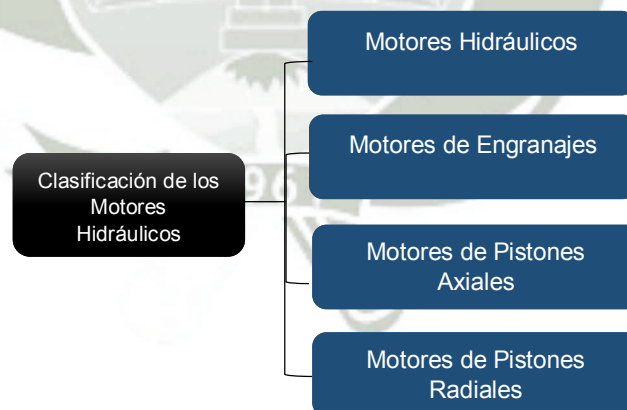


Figura Nro. 37. Clasificación de los Motores Hidráulicos. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

De la clasificación anterior, los motores hidráulicos representan los componentes con mayor uso en la Industria. Las características principales para la establecer la selección de los mismos radica en los siguientes factores: La cilindrada que viene a ser la cantidad de aceite para conseguir que el motor efectúe una vuelta completa, como segundo factor tenemos la Presión la cual se requiere que sea continua lo cual supone a su vez que el trabajo de la bomba sea continuo de igual forma. El tercer factor viene dado por la velocidad de rotación la cual permite realizar una sub clasificación de los motores, siendo estos los de velocidad lenta, media y alta velocidad. Como cuarto factor se tiene a la potencia, la cual se encuentra relacionada con el par de salida y la velocidad de giro del motor. Finalmente, como último parámetro tenemos el rendimiento el cual es considerado un factor de selección y puede subdividirse en tres casos, el rendimiento volumétrico, Hidráulico y el total.

En el caso de los motores de engranajes pueden subdividirse de dos formas: los motores de engranajes exteriores y los motores de engranajes Interiores. Según su construcción tienen la capacidad de equilibrarse hidráulicamente para igualar los esfuerzos internos permitiendo descargar los cojinetes de apoyo. La siguiente figura muestra la constitución de un Motor de engranajes reversible, así tenemos:

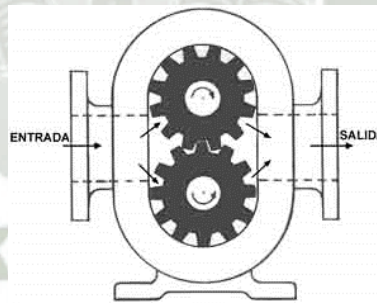


Figura Nro. 38. Motor de Engranajes Reversible. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano.

Los motores de paletas por su parte poseen el mismo principio de funcionamiento que el de las bombas de paletas, sin embargo, en este caso el movimiento radial es forzado originando desequilibrios en el rotor debido a las diferencias de cargas interiores ya que las presiones únicamente actúan en una parte del rotor generando sobrecarga en los cojinetes de apoyo. La siguiente figura muestra la estructura de un motor de paletas, así tenemos:

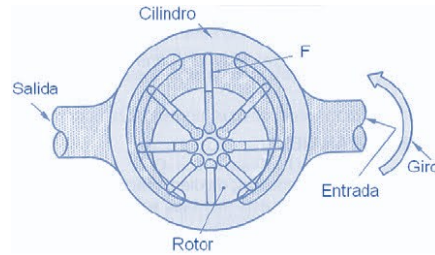


Figura Nro. 39. Motor de Paletas. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

Los motores de pistones axiales por su parte alcanzan mayores pares de giro pudiendo trabajar a presiones más elevadas y obtener mayores rendimientos durante su uso o funcionamiento. Poseen el mismo funcionamiento que el de las bombas de pistones axiales y los ejes pueden girar en ambos sentidos de giro. La siguiente figura muestra la estructura de un motor de pistones axiales, así tenemos:

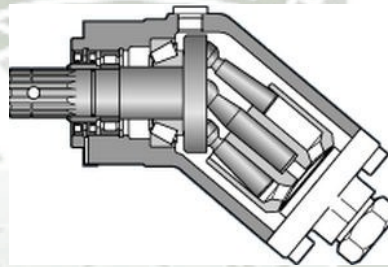


Figura Nro. 40. Motor de Pistones Axiales. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

Finalmente, los motores de pistones radiales, son motores de accionamiento lento y pares de salida elevados. Pueden clasificarse según la configuración de los pistones, de forma excéntrica y en configuración estrella, la siguiente figura muestra la estructura en un motor de pistones radiales, así tenemos:

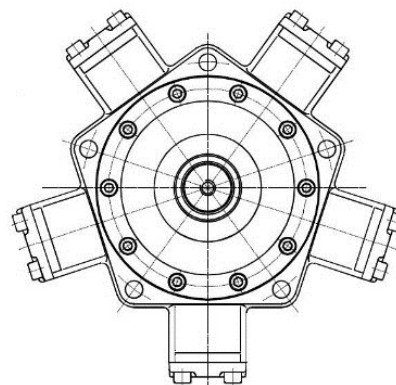


Figura Nro. 41. Motor de Pistones Radiales Excéntrico. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

2.1.3.7. BOMBAS

La Bomba es un componente fundamental que forma parte de todo Sistema Hidráulico, es capaz de elevar la presión de todo fluido Hidráulico y poder proporcionar el Caudal a todos los dispositivos comprendidos del sistema. Un paso fundamental en cuanto a la utilización de las Bombas es la Selección, por lo tanto, los factores que se toman en cuenta principalmente son la presión, el caudal, el nivel de ruido, el rendimiento a nivel volumétrico y los costes.

Las Bombas pueden ser clasificadas en función de su constitución interna y en base al funcionamiento, así tenemos:

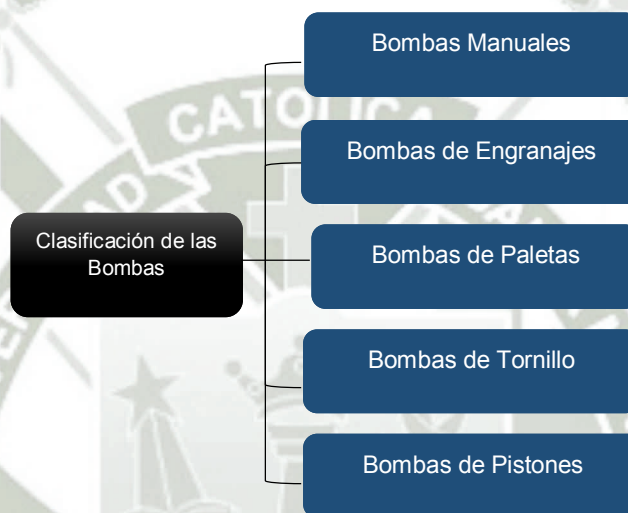


Figura Nro. 42. Clasificación de las Bombas. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

De la Gráfica vista anteriormente, las Bombas Manuales son el tipo más sencillo en cuanto a la tipología de bombas. Su funcionamiento es por medio de un accionamiento manual sobre una palanca para poder bombear el aceite. El caudal que produce es pequeño, sin embargo, tienen la capacidad de vencer cargas muy grandes. En su mayoría son bombas de pistón tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

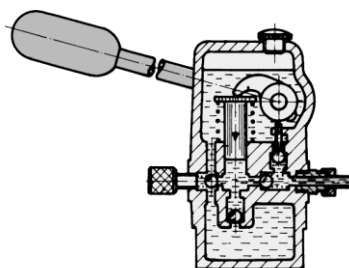


Figura Nro. 43. Bomba de Accionamiento Manual. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

Por su parte las bombas de engranajes son componentes de gran uso debido a los bajos costes de adquisición, las que generan logrando alcanzar hasta los 275 Bar en presión continua y 300 Bar a Presiones Intermitentes y finalmente la gran variedad de caudales que son capaces de entregar. La siguiente figura muestra la estructura de una Bomba de Engranajes:

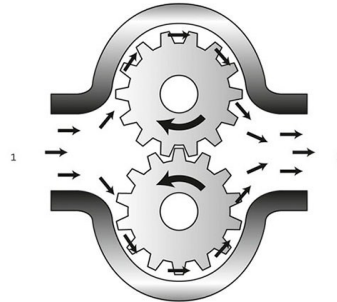


Figura Nro. 44. Bomba de Engranajes. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

Las bombas de paletas por su parte son capaces de alcanzar presiones de hasta 210 Bar y caudales de 225 l/min. En cuanto a su capacidad operativa pueden trabajar en grupos de dos o tres unidades acopladas mediante un eje el cual permite incrementar el caudal total o en su defecto variarlo en función de la velocidad de los actuadores. Las bombas de paletas poseen un nivel de ruido menor en comparativa con las bombas de engranajes, en cuanto al rendimiento son consideradas en nivel intermedio – alto, caso similar a las bombas de tipo piñón. La siguiente figura muestra la estructura de una bomba de paletas:

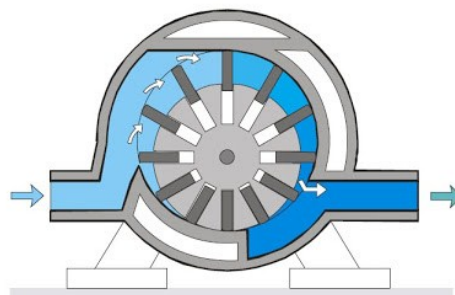


Figura Nro. 45. Bomba de Paletas. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

Las bombas de tornillo poseen una aplicación reducida debido a las dificultades presentes en cuanto a su construcción. Las bombas de tornillo se caracterizan por su trabajo silencioso, proporcionan caudales variables desde los más pequeños hasta los caudales más elevados, alcanzan presiones que fluctúan entre los 20 y 175 Bar respectivamente.

Proporcionan a su vez un caudal uniforme, ello debido a sus características de funcionamiento. La siguiente figura muestra la estructura de una Bomba de tornillo:

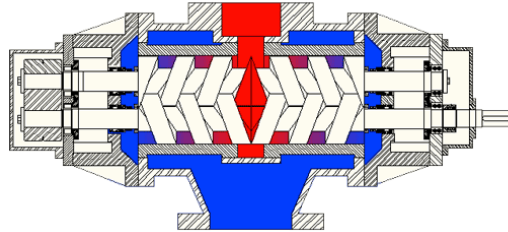


Figura Nro. 46. Bomba de Tornillo Doble. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

Las bombas de Pistones Radiales fueron las primeras en ser desarrolladas y aplicadas a la Industria, se subdividen a su vez en dos categorías: las de pistones simplemente radiales y las de pistones que están contenidas en un plano y dispuestas en línea de forma regular a lo largo del eje Principal. La siguiente figura muestra la estructura de una Bomba de Pistones Radiales:

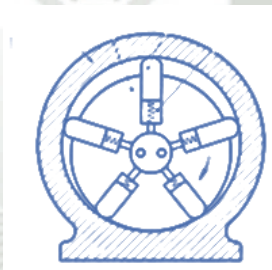


Figura Nro. 47. Bomba de Pistones Radiales. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

Por su parte las bombas de pistones axiales tienen dispuestos los pistones de forma axial respecto al eje principal de la bomba. Tienen la capacidad de entregar caudal fijo y caudal variable. La bomba de pistones axiales tiene la capacidad de ser utilizada como motor alimentándola de aceite, ello con la finalidad de permitir el giro del eje. La siguiente figura muestra la estructura de una bomba de pistones axiales:

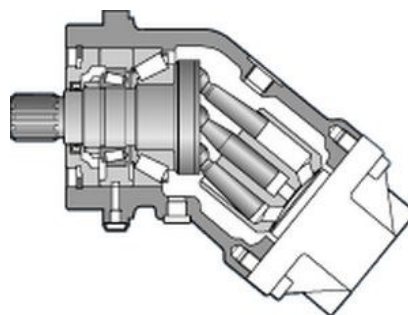


Figura Nro. 48. Bomba de Pistones Axiales. Fuente: Oleohidráulica (2002). Autor: Nicolás Serrano

2.1.3.8. PRINCIPALES VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS OLEOHIDRAULICOS

La Investigación propuesta gira en torno a la aplicación y uso de la Oleohidráulica en Sistemas Proporcionales, así como el control de sus principales componentes como son los actuadores y válvulas. Es por ello que se cita las siguientes ventajas en cuanto al uso y aplicación de la Energía Oleohidráulica:

VENTAJAS DE LOS SISTEMAS OLEOHIDRAULICOS	
N°	DESCRIPCIÓN
1	Posee gran Potencia de Transmisión con Pequeños componentes.
2	Posee Posicionamiento Preciso y Suave.
3	La Fuerza es ilimitada y solo depende del tamaño del actuador.
4	Permite un arranque con cargas Pesadas.
5	Puede Generar movimientos lineales dependientes e independientes de la carga
6	Tiene la capacidad de regular de manera continua los esfuerzos, momentos y velocidades.
7	Las Presiones de Trabajo pueden alcanzar hasta los 600 Bar.
8	Posee regulación más precisa y sencilla de velocidad de los Actuadores.
9	El aceite como fluido es incompresible para un sin número de aplicaciones.
10	Los Equipos Oleohidráulicos son Autónomos.
11	Los Sistemas Oleohidráulicos son Silenciosos.
12	Costes de Energía Menores.

Figura Nro. 49. Cuadro de las Principales Ventajas de los Sistemas Oleohidráulicos. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autor: Fredy Morales; Carlos Valdivia

De igual forma podemos considerar que frente a las ventajas que posee los Sistemas Oleohidráulicos, en ellos se pueden presentar los siguientes inconvenientes o desventajas:

PRINCIPALES INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS OLEOHIDRAULICOS	
N°	DESCRIPCIÓN
1	Menor facilidad de Implementación.
2	Utiliza componentes altamente Costosos, de mayor peso y volumen.
3	Realiza Movimientos más lentos en comparación a otros sistemas.
4	Para lograr un grado de Automatización en la Oleohidráulica se requiere el uso de componentes eléctricos.

5	Su uso en instalaciones industriales con peligro de incendio, representa un alto Grado de Inflamación.
6	La presencia de pérdidas en los componentes que forman parte de los Sistemas Oleohidráulicos genera una disminución en el Rendimiento y sus Parámetros principales como es el caso de Velocidad.
7	Los Componentes utilizados en los Sistemas Oleohidráulicos son altamente ruidosos.
8	El Mantenimiento de los Sistemas Oleohidráulicos requiere la intervención indispensable de Especialistas en este Campo.

Figura Nro. 50. Cuadro de los principales Inconvenientes de los Sistemas Oleohidráulicos. Fuente: Elaboración Propia (2017).
Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

2.1.3.9. DEFINICION DE LA HIDRAULICA PROPORCIONAL

Como hemos analizado en cada uno de los fundamentos de Hidráulica donde se ve que los Accionamientos Hidráulicos permiten la generación de esfuerzos a niveles mayores con un mínimo peso propio, permiten un control bastante rápido y con un nivel de precisión en cuanto a los movimientos de los actuadores. Es por ello que la sinergia de estas características genera un sin número de aplicaciones para la Hidráulica dentro de ellas se encuentra la Hidráulica Proporcional, la cual utiliza los procesos de Automatización para que mediante elementos Electrónicos se pueda controlar la presión, el Caudal y el sentido del Flujo en los Sistemas Hidráulicos. Como lo expresa el Manual de Hidráulica Proporcional Festo (1996) en lo que se refiere a las aplicaciones de la Hidráulica Proporcional, sostiene que: “La elección obvia para el control de los Procesos Hidráulicos por medio de la Automatización son las válvulas hidráulicas proporcionales, como interface entre el sistema hidráulico y el control. Las válvulas proporcionales se controlan por medio de un sistema de control eléctrico que emite señales, lo cual es posible, incluso durante el funcionamiento del sistema.” (p.1).

El avance y crecimiento de la Automatización ha generado la necesidad de aplicar estrategias de Control en diversos Procesos Industriales y principalmente los vinculados a los Sistemas Hidráulicos. Es por ello que la Hidráulica Proporcional surge como pericia para efectuar dicha acción, es decir controlar por Medios Electrónicos los parámetros principales de un Sistema como es el caso de la Presión y Caudal, logrando en ambos aspectos el ajuste automático por medio de Señales Eléctricas durante el funcionamiento del Sistema. Otro parámetro importante es el control por medio de Señales Eléctricas del Sentido de Flujo en las Válvulas del Sistema.

Para alcanzar dicha acción de Control se utilizan las Válvulas Hidráulicas Proporcionales, ello como nexo entre el Sistema Hidráulico y de Control. Se puede afirmar también que Los Sistemas Hidráulicos Proporcionales tienen la capacidad de unir el mando electrónico con la Parte Hidráulica, consecuencia de ello los accionamientos pueden ser más rápidos, controlados de forma más sencilla, con exactitud y teniendo la capacidad de poder variar la velocidad, así como la fuerza de arranque y parada.

Para poder entender de forma clara las ventajas que posee la Hidráulica Proporcional sobre los demás Métodos Convencionales analizaremos cada uno de ellos, de tal forma de verificar la existencia de cambios y mejoras. El siguiente gráfico muestra la estructura de Circuito Hidráulico de avance controlado manualmente:

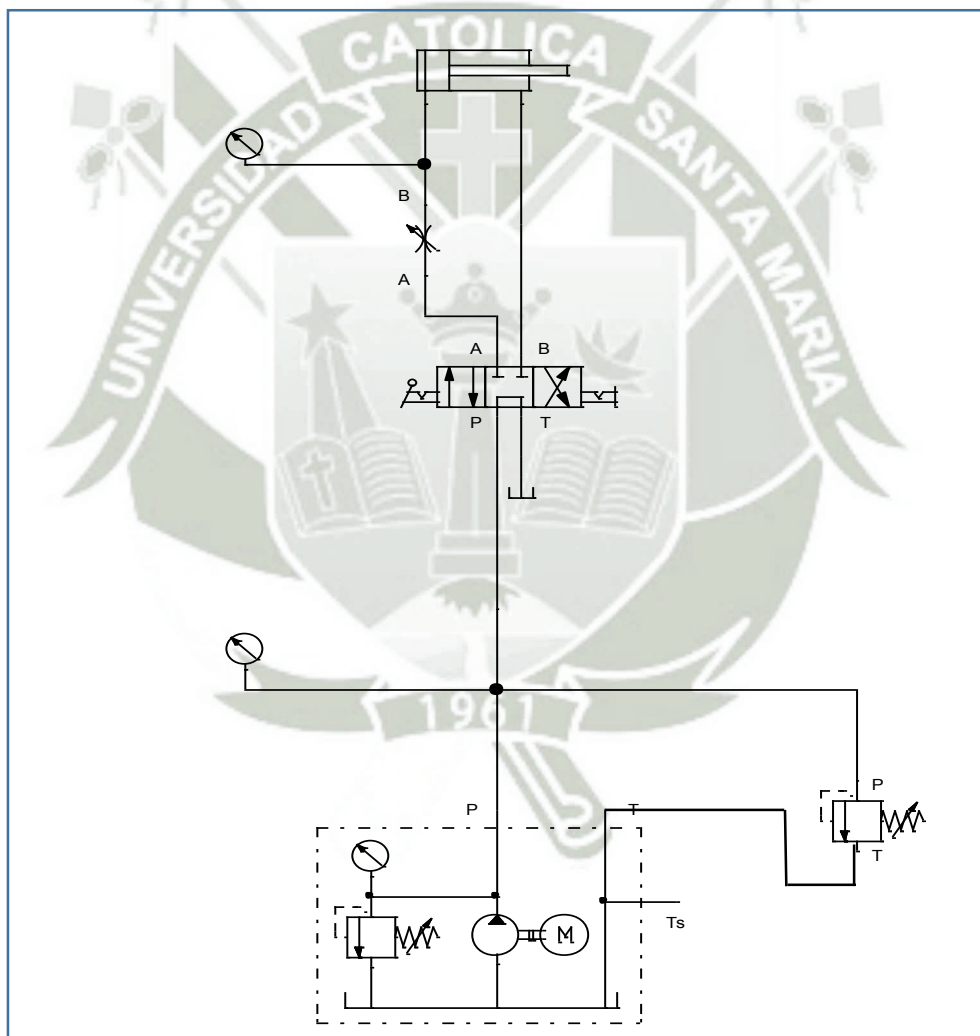


Figura Nro. 51. Circuito Hidráulico de Avance Controlado Manualmente. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996).
Autor: FESTO

De acuerdo a la gráfica mostrada anteriormente, se puede ver que cuando se realiza el Control Manual Hidráulico, la Presión y el Caudal deben

establecerse durante la puesta a punto, es motivo por el cual la Válvula Limitadora de Presión y la de regulación de caudal deben ser ajustadas. En este caso el caudal y el sentido de Flujo pueden cambiarse durante su funcionamiento de forma manual y accionando la válvula distribuidora. En este caso ninguna de las válvulas posee la capacidad de ser controlada eléctricamente y por lo tanto no será posible lograr la automatización del avance del actuador.

Por otro lado, si generamos el mismo principio mediante un circuito Electrohidráulico, se deben utilizar Válvulas las cuales son controladas Eléctricamente, la siguiente gráfica muestra el Circuito Electrohidráulico propuesto:

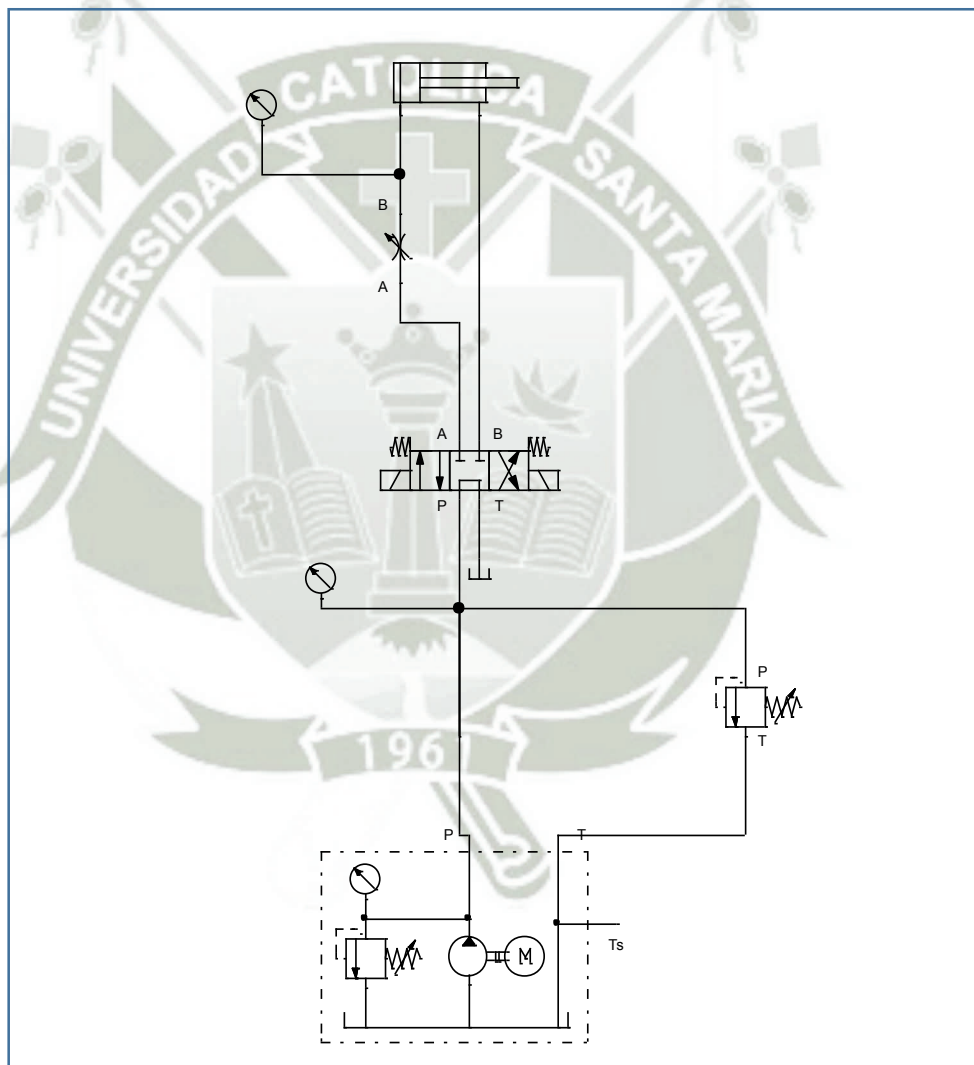


Figura Nro. 52. Circuito Electrohidráulico de Avance Controlado Manualmente. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

De la Gráfica anterior se puede inferir que el Sistema Eléctrico no puede influir directamente sobre la Presión y Caudal durante el Funcionamiento del

Proceso. Si se desean cambiar dichos parámetros para todos los efectos se debería de detener los procesos y ser modificados de forma Manual en especial en la Válvula Limitadora de Presión y Reguladora de caudal.

Se sabe que la Automatización tanto para los Parámetros de Presión y Caudal puede ser lograda hasta ciertos límites en los Sistemas Electrohidráulicos, es por ello que podemos recurrir a una tercera opción para alcanzar un Control Óptimo de los Actuadores Hidráulicos, ello mediante el uso de la Hidráulica Proporcional. La siguiente Gráfica muestra el Esquema Hidráulico Proporcional planteado para este fin:

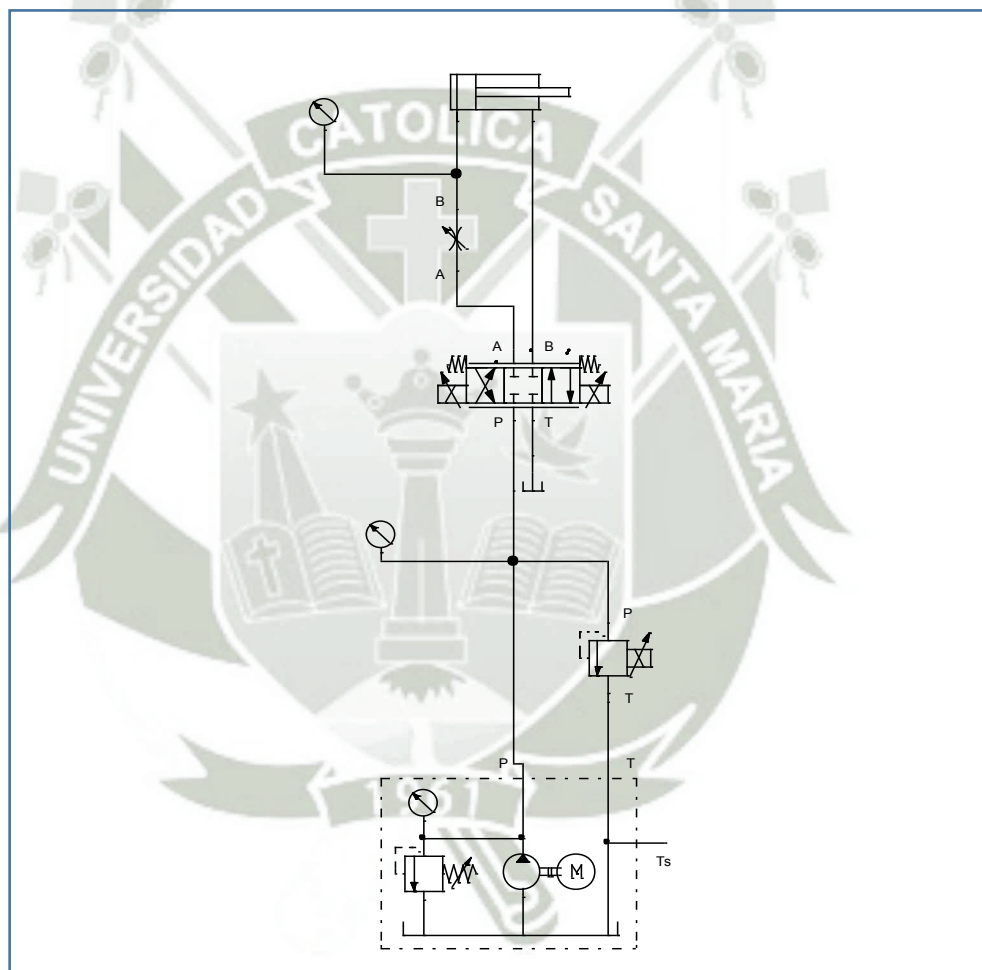


Figura Nro. 53. Circuito Hidráulico Proporcional de Avance. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

En el Circuito mostrado anteriormente se incorporan el uso de Válvulas Proporcionales, además se puede ver que la Válvula Distribuidora de Control Proporcional se acciona mediante una señal de Control Eléctrica, la cual influye sobre el Caudal y el Sentido de Flujo. La Velocidad de avance puede ajustarse de forma infinita modificando el Caudal. Pero también puede verse

que una segunda Señal de Control actúa sobre la Válvula Limitadora de Presión Proporcional, por medio de dicha señal de Control la presión puede ajustarse continuamente. Las Válvulas Proporcionales son controladas por medio de un Sistema de Control Eléctrico el cual emite señales capaces de disminuir la presión durante las etapas de carga reducida, ello por medio de la válvula limitadora de Presión Proporcional y de esta manera ahorrar Energía. Los ajustes de la Válvula se realizan de manera automática, es decir sin la intervención Humana.

2.1.3.9.1. COMPONENTES DE UN SISTEMA HIDRAULICO PROPORCIONAL

Los componentes que forman parte de un Sistema Hidráulico Proporcional se muestran a continuación:

- Tensión Eléctrica entre -10 V a +10 V
- Amplificador (Capaz de realizar la conversión de Tensión en Corriente)
- Solenoide Proporcional
- Válvula de control
- Actuador Hidráulico

La siguiente imagen muestra los componentes que forma parte de un Sistema Hidráulico Proporcional:

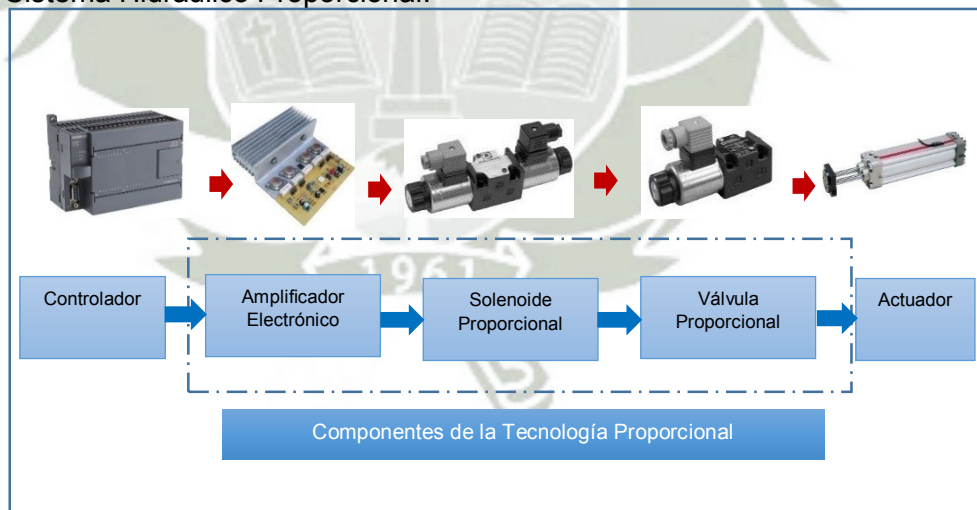


Figura Nro. 54. Componentes Principales de un Sistema Hidráulico Proporcional. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

Como se puede apreciar en la Figura, un Sistema Hidráulico Proporcional está constituido por cinco componentes fundamentales como es el Caso del Controlador Lógico Proporcional encargado de generar las funciones de Control , los Componentes de la Tecnología Proporcional como es el caso

del Amplificador Electrónico, Solenoide Proporcional y la Válvula Proporcional, encargados de generar el Control del Flujo en el Sistema y finalmente el Actuador Lineal o Rotativo quien recibe y ejecuta la Señal proveniente del Controlador a través de los Medios Proporcionales.

2.1.3.9.2. VALVULA PROPORCIONAL

Cañón (2007) define a una válvula proporcional como: “Como una válvula que produce una salida proporcional a su señal de entrada, el cual puede ser ajustado remotamente por Medios Electrónicos.” (p.17). Por lo tanto, podemos afirmar que una Válvula Proporcional es un dispositivo capaz de alcanzar posiciones infinitas en las que los parámetros o magnitudes como la presión, caudal, tiempo entre otros, son proporcionales a la Señal de Entrada, objetivo que es alcanzado mediante el uso de un solenoide proporcional y es a su vez la principal diferencia con una Servo Válvula. En función al tipo de salida de la Válvula Proporcional se distingue los siguientes tipos:

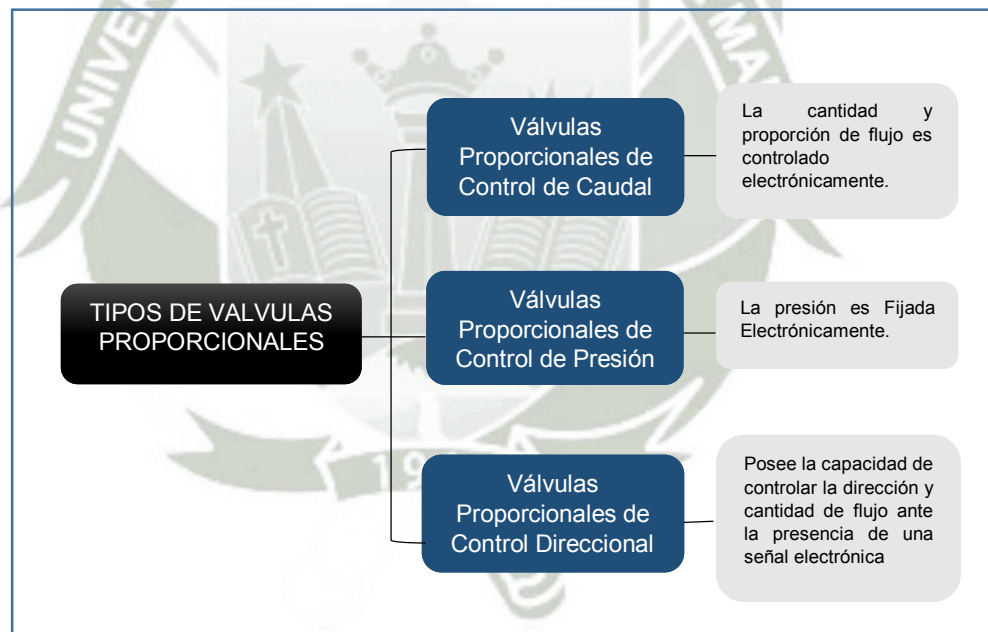


Figura Nro. 55. Tipología de Válvulas Proporcionales. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

La siguiente figura muestra la estructura y forma de una Válvula Proporcional:

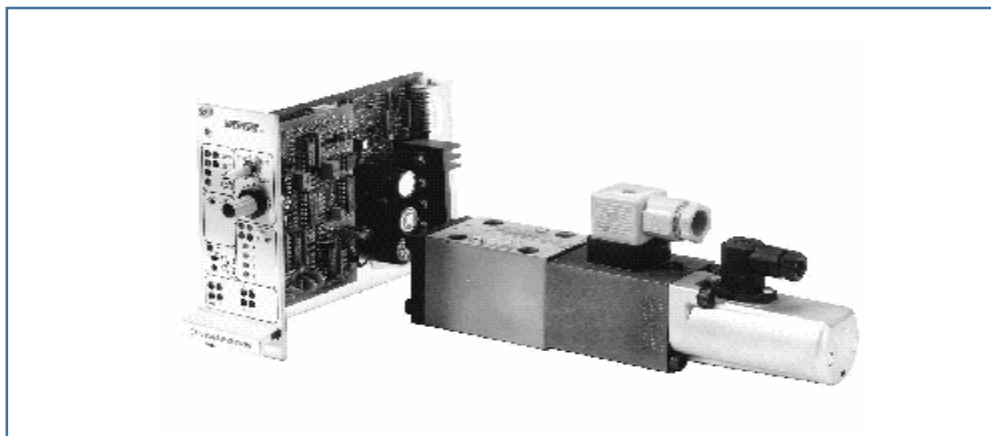


Figura Nro. 56. Esquema de la Válvula Proporcional. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

Cabe resaltar que toda Válvula Proporcional posee una Corredera con una Geometría especial, en este caso poseen cilindros de mayor diámetro y unas muescas de forma variable, la siguiente imagen muestra la estructura interna de una Válvula Proporcional:

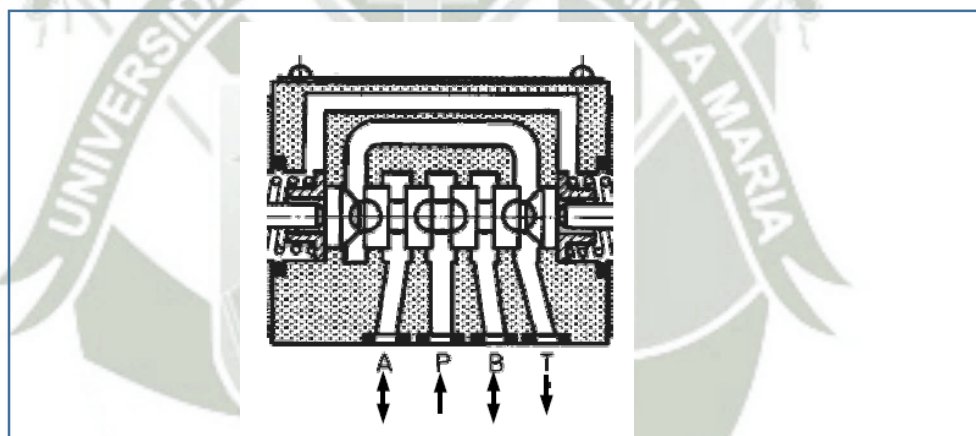


Figura Nro. 57. Estructura Interna de una Muesca Circular de una Válvula Proporcional. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

La estructura mostrada anteriormente muestra una solución que consigue modificar lentamente la sección de paso y de esta manera obtener una regulación más fina del caudal.

2.1.3.9.3. SOLENOIDE PROPORCIONAL

El Manual de Hidráulica Proporcional Festo (1996) sostiene que: “Es un Dispositivo Capaz de crear una fuerza proporcional al valor de la corriente o de la tensión aplicada sobre él. Esta fuerza enfrentada sobre un muelle calibrado, da como resultado una posición concreta o una variación de la fuerza que ejerce el muelle, posición que puede ser calculada previamente conociendo la fuerza que se ejercerá y la constante del muelle.” (p. 15). Por lo tanto, podemos afirmar que un Solenoide Proporcional es una variante del solenoide de conmutación muy utilizado en la Electrohidráulica. El funcionamiento consiste en que la corriente pasa a través de la Bobina del solenoide generando de esta forma un campo magnético. El campo magnético genera una fuerza dirigida a la posición derecha de la Armadura la cual es aprovechada también para el accionamiento de la Válvula, la siguiente Figura muestra el esquema de un Solenoide Proporcional:

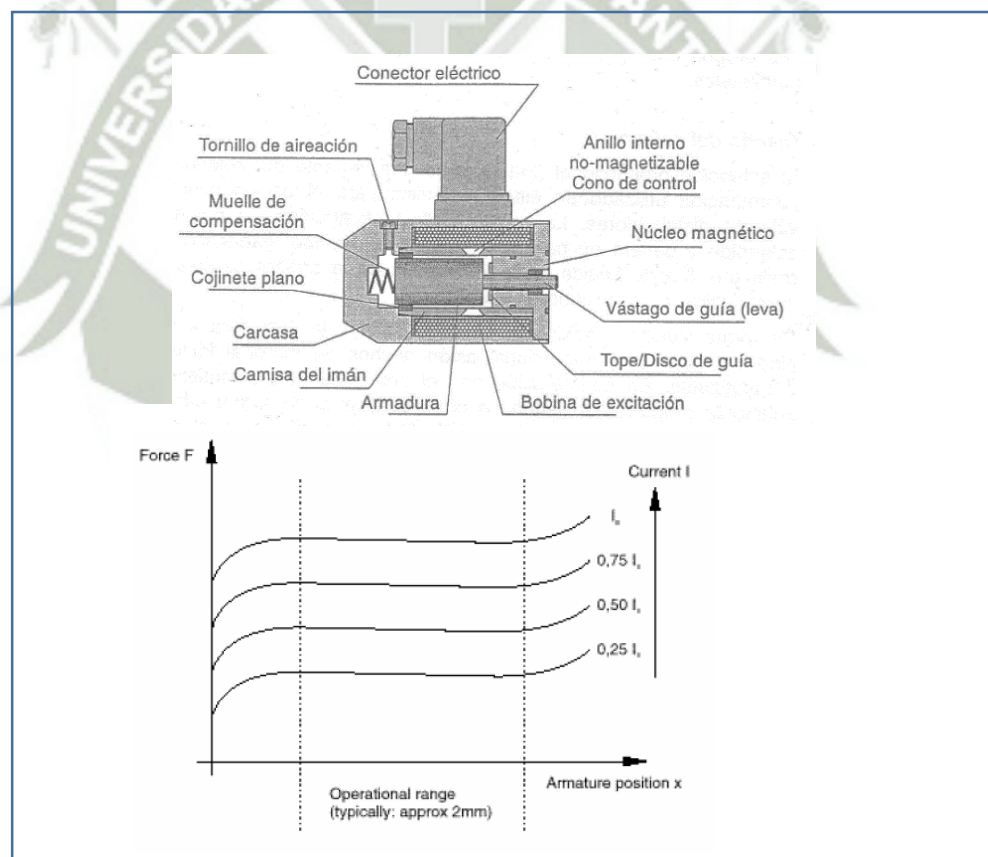


Figura Nro. 58. Esquema de diseño de un solenoide proporcional. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

Como se puede apreciar en la figura anterior, en una válvula Proporcional el Solenoide tiende a actuar contra el Muelle, generando de esta forma una fuerza de reposición, las características del muelle se dan en función de los dos Campos característicos del Solenoide Proporcional. Entonces podemos inferir que conforme más lejos sea el desplazamiento de la Armadura de la Válvula hacia la derecha, mayor será la fuerza que sea generada en el muelle.

2.1.3.9.4. VALVULA PROPORCIONAL LIMITADORA DE PRESION

Según Almandoz, Mongelos y Pellejero (2007), sostienen que: “Una Válvula Limitadora de Presión es análoga a la correspondiente convencional y con idéntica misión, limitar la presión de un sistema a un valor de consigna. La diferencia estriba en que la válvula convencional modifica la presión de trabado mediante un muelle, mientras que la proporcional lo realiza gracias a un solenoide.” (p.109). La siguiente figura muestra el detalle de una Válvula Limitadora de Presión, así tenemos:

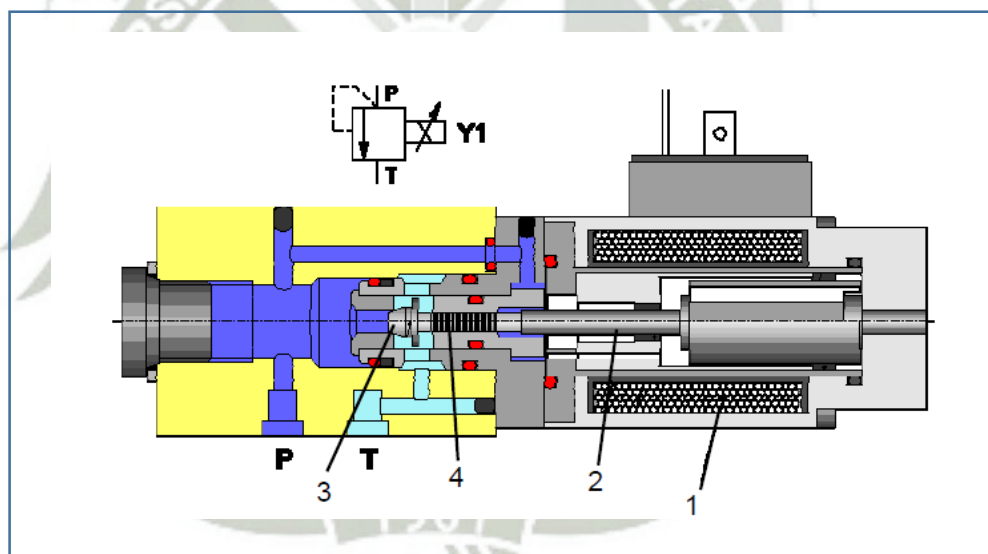


Figura Nro. 59. Válvula proporcional limitadora de presión Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

De la figura se puede verificar que el Solenoide Proporcional genera una fuerza que va hacia la izquierda y es recepcionada por la Bobina (1). La fuerza será transferida a través del Vástago (2) hacia el Cono de Cierre (3). El Cono posee dos áreas que están entrelazadas, la primera está situada al lado izquierdo y está en contacto con la Vía P. La segunda corresponde a la sección donde se encuentra el agujero y el muelle del vástago el cual se encuentra a la misma presión.

2.1.3.9.5. VALVULA PROPORCIONAL LIMITADORA DE PRESION

Almandoz, Mongelos y Pellejero (2007) plantean que: “Una Válvula Limitadora de Presión tiene la misma misión que su análoga convencional, es decir, reducir la presión aguas abajo a un valor constante de consigna independientemente de la presión existente aguas arriba, siempre que ésta sea mayor que la de tarado.” La siguiente figura muestra el esquema de una Válvula Limitadora de Presión:

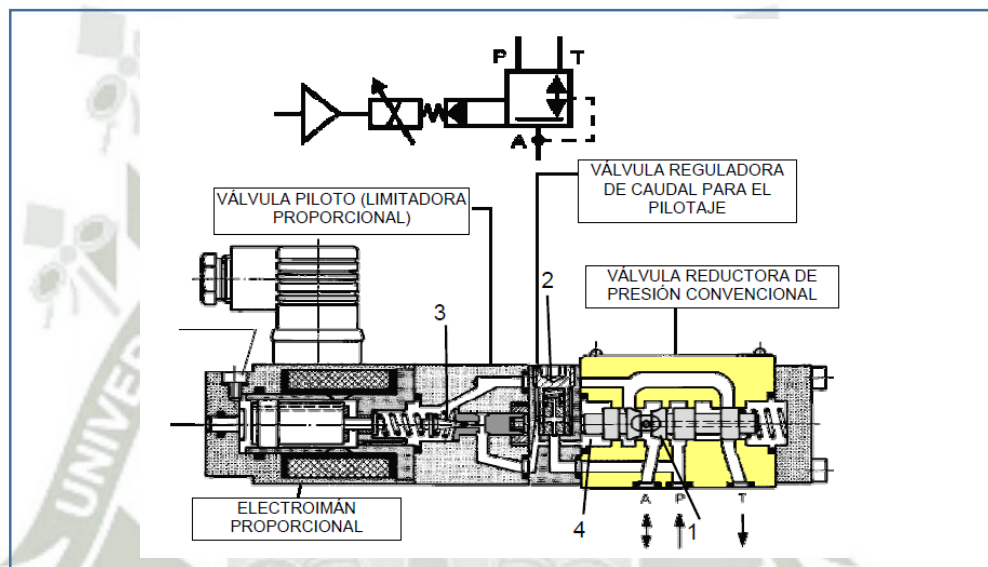


Figura Nro. 60. Válvula proporcional limitadora de presión. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

De la figura anterior se puede verificar que el aceite que ingresa por la vía P de la Válvula circula hacia A por medio de la Restricción (1), ocasionando una reducción en la Presión. Siguiendo con el circuito, el aceite circula por medio de un Restrictor (2) hacia el Cono de Cierre (3) de la Válvula y de allí a la Cámara (4) de la Válvula Reductora.

2.1.3.9.6. VALVULA REGULADORA DE CAUDAL

Al igual que los mecanismos anteriormente citados, Almandoz, Mongelos y Pellejero (2007) afirman que: “Una Válvula Proporcional Reguladora de Caudal, tiene la capacidad de ser regulada mediante la acción de un Imán Proporcional a diferencia de las Válvulas Convencionales las cuales únicamente pueden ser reguladas de forma Manual. ”(p.112). La siguiente Figura muestra el esquema de una Válvula Reguladora de Caudal:

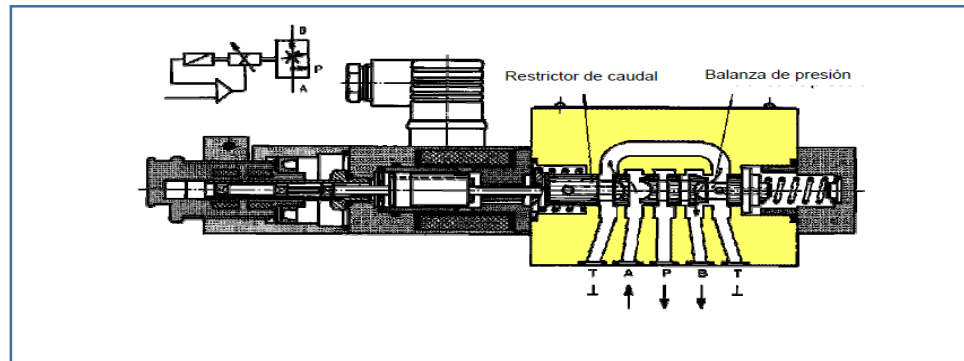


Figura Nro. 61. Válvula Proporcional Reguladora de Caudal de 3 Vías. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO

El caudal en las Válvulas Reguladoras de Caudal depende de dos factores importantes:

- La abertura del borde de control la cual es especificada por medio de la señal de control.
- La caída de presión a través de la válvula.

2.1.3.9.7. CONTROL DE VALVULAS PROPORCIONALES

Para lograr el accionamiento de las válvulas proporcionales se requieren de una señal de carácter eléctrico para la entrada, la cual actuará como consiga. La señal en el ingreso debe de ser en intensidad ya que los imanes proporcionales son desplazados en función de la variable en cuestión. Se requiere un amplificador el cuál enviará una señal en mA dirigido al Solenoide Proporcional, el cual traducirá la señal en fuerza o en su defecto en desplazamiento del Núcleo del Solenoide y este a su vez actúa sobre sobre la Válvula Proporcional modificando la variable a controlar en el fluido hidráulico. El amplificador a su vez puede trabajar con las señales analógicas medidas en voltios. La siguiente figura muestra la configuración del mando de una Válvula Proporcional en lazo abierto:

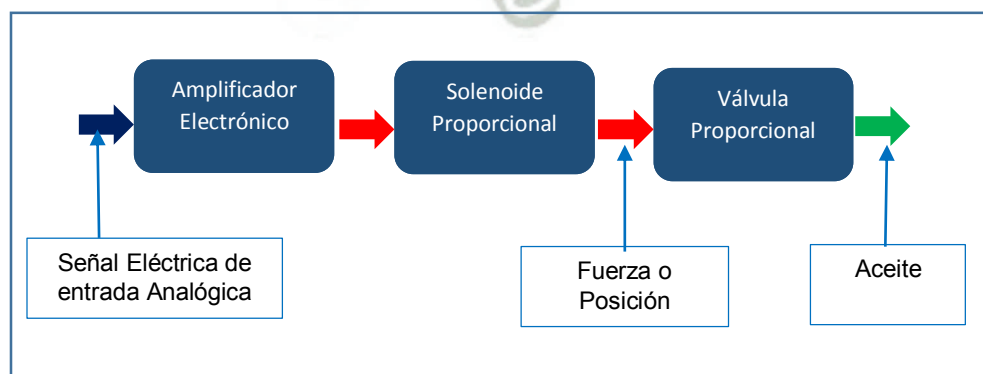


Figura Nro. 62. Esquema de Mando de una Válvula Proporcional en Lazo Abierto. Fuente: Sistemas Neumáticos y Oleohidráulicos (2007). Autores: Javier Almandoz; Belén Mongelos y Idoia Pellejero

Para ejecutar el control de presión se requiere una realimentación con una señal que provenga de un sensor de presión, el cual compara el valor de consigna con la Señal del Sensor.

Si se genera un error, esta señal se dirige hacia el amplificador y posteriormente a la Válvula Proporcional.

La figura siguiente muestra el esquema del lazo de control para un Sistema Hidráulico haciendo uso de una Válvula Proporcional de presión, así tenemos:

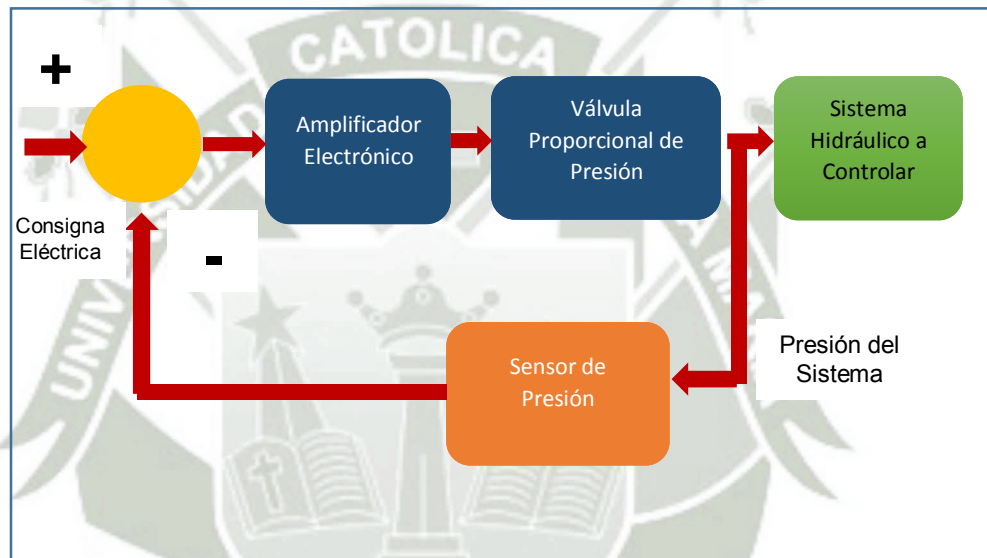


Figura Nro. 63. Lazo de Control de Presión de un Sistema Hidráulico con uso de una Válvula Proporcional. Fuente Sistemas Neumáticos y Oleohidráulicos (2007). Autores: Javier Almandoz; Belén Mongelos y Idoia Pellejero

Para el caso de realizar el Control de la Velocidad de un Motor Hidráulico (Actuador), se utiliza una Válvula Proporcional Direccional y la señal de realimentación provendrá de un Sensor de Desplazamiento o en su defecto un Sensor de Velocidad.

La Siguiete figura muestra el Lazo de Control de Velocidad para un Motor Hidráulico:

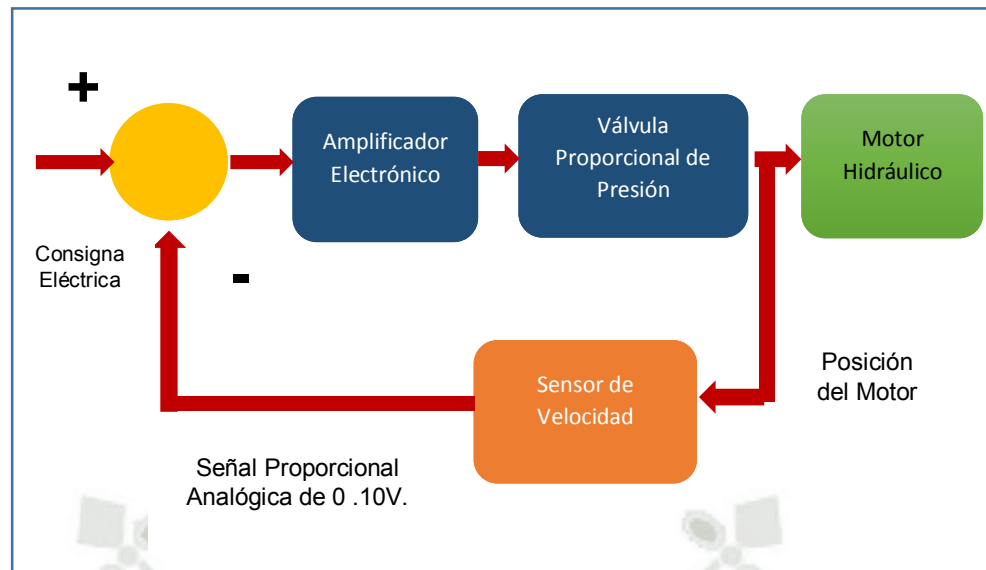


Figura Nro. 64. Lazo de control de velocidad de un motor Hidráulico. Fuente: *Sistemas Neumáticos y Oleohidráulicos* (2007). Autores: Javier Almandoz; Belén Mongelos y Idoia Pellejero

2.1.3.9.8. PRINCIPALES VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS VALVULAS PROPORCIONALES.

Como se ha visto, la utilidad de las Válvulas proporcionales ha tenido gran impacto a nivel industrial, por lo que será necesario resaltar las principales bondades que poseen estos componentes, así como sus inconvenientes. El siguiente cuadro muestra las Ventajas e Inconvenientes de las Válvulas Proporcionales:

VENTAJAS DE LAS VALVULAS PROPORCIONALES	INCONVENIENTES DE LAS VALVULAS PROPORCIONALES
La fuerza generada para el accionamiento de la Etapa principal es generada Hidráulicamente.	Altos costes de Adquisición.
El Solenoide tiene la capacidad de generar una mínima fuerza en las etapas iniciales para alcanzar el funcionamiento de la válvula.	Genera consumo adicional de aceite y potencia en cuanto al pilotaje de Control.
La Válvula puede ser controlar una gran Potencia Hidráulica con el uso de un pequeño Solenoide Proporcional y Mínima cantidad de Corriente	Requiere aplicar un Mantenimiento más riguroso en todo aspecto del elemento.

Figura Nro. 65. Cuadro de Ventajas e Inconvenientes de las Válvulas Proporcionales. Fuente: *Elaboración Propia* (2017). Autor: Fredy Morales; Carlos Valdivia

2.1.3.9.9. PRINCIPALES DIFERENCIAS DE LOS SISTEMAS PROPORCIONALES COMPARADOS SISTEMAS HIDRAULICOS CONVENCIONALES.

Como sabemos existen tres formas de poder controlar los Sistemas Hidráulicos como son la Hidráulica Convencional, Electrohidráulica y la Hidráulica Proporcional, por ello se plantea el siguiente cuadro comparativo para verificar las diferencias entre los distintos tipos de Sistemas:

HIDRÁULICA CONVENCIONAL	HIDRÁULICA DE LAS SERVOVÁLVULAS	HIDRÁULICA PROPORCIONAL
75% de las aplicaciones	<5% de las aplicaciones.	>20% de las aplicaciones
Regulaciones fijas de fuerza y velocidad con soluciones fáciles	Considerable simplificación y versatilidad de los circuitos de regulación y posicionado.	Considerable simplificación y versatilidad de los circuitos de regulación y posicionados.
Circuitos todo o nada	Regulaciones de fuerza, velocidad y posición de gran precisión hasta 0,01 mm.	Regulaciones de fuerza, Velocidad y posición.
Posicionados imprecisos. Más menos 1 mm según casos	Rapidez de respuesta > 10 Hz.	Respuesta más lenta < 10 Hz.
Regulaciones variables difíciles	Control a distancia	Control a distancia
Cambios bruscos	Facilidad en el cambio de Información.	Facilidad en el cambio de Información.
Posibilidades de unión con la informática a través de autómatas programables.	Electrónica más compleja.	Control electrónico. Necesidad de comunicación A/D.
Filtración > 20 µm admisibles	Filtración < 10 µm.	Filtración < 25 µm
Componentes intercambiables a nivel internacional	Componentes de difícil Intercambiabilidad en cuanto a características.	Componentes de difícil Intercambiabilidad en cuanto a características.
Componentes Económicos	Componentes caros	Componentes más económicos que las Servoválvulas.
Estudios realizables por un gran número de aplicadores	Estudios difícilmente realizables por el aplicador	Estudios difícilmente realizables por el aplicador
Mantenimiento fácil	Mantenimiento más fácil que en Servoválvulas.	Mantenimiento delicado

Figura Nro. 66. Cuadro Comparativo de los diferentes Tipos de Sistemas Oleohidráulicos. Fuente Sistemas Neumáticos y Oleohidráulicos (2007). Autores: Javier Almandoz; Belén Mongelos y Idoia Pellejero

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, la Hidráulica Proporcional posee gran versatilidad en cuanto a las aplicaciones en la Industria, entre

ellas se considera que posee simplificación, versatilidad de los circuitos de regulación y posicionamiento además de que tiene la capacidad de regular la Velocidad y Posición. La Hidráulica Proporcional puede realizar un control a distancia óptimo, permitiendo de esta manera la facilidad en cuanto al cambio de Información en el Sistema a Controlar. Cabe resaltar también que los componentes utilizados en la Hidráulica Proporcional son más económicos en comparación con la Hidráulica de Servo-válvulas, sin embargo, se requiere un Mantenimiento Delicado.

2.1.4. TEORIA DE CONTROL EN INGENIERIA

2.1.4.1. DEFINICION DE CONTROL EN INGENIERIA

Hoy en día la Ingeniería moderna busca analizar, comprender y controlar los materiales y fuerzas que se encuentran en la Naturaleza en la búsqueda del bien común y beneficio de todos. Para alcanzar el objetivo de Controlar se precisa que cada Sistema sea entendido y a la vez modelado. La teoría de control en Ingeniería está fundamentada en las teorías de Realimentación y el Análisis de los Sistemas Lineales, integrando a su vez las Teorías de Redes y de Comunicación. Por lo tanto, para definir la Teoría de Control se tomará en cuenta en primer lugar los conceptos de Sistema y Proceso básicamente. Según Ogata (2010) sostiene que: “Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no está necesariamente limitado a los sistemas físicos, este concepto puede aplicar también a Fenómenos Abstractos y Dinámicos.” (p.3). El Diccionario Merriam Webster afirma que: “Un Proceso es una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado.” (p.80).

Por lo tanto, de las definiciones anteriormente citadas podemos afirmar que un sistema es un conjunto de elementos los cuales trabajan colectivamente para lograr un propósito u objetivo determinado. Asimismo, un proceso es una acción que se desarrolla de manera gradual para alcanzar un objetivo en el tiempo.

Por su parte Dorf y Bishop (2005) sostienen que: “Un Sistema de Control es una interconexión de Componentes que forman una configuración del Sistema que proporcionará una respuesta deseada.” (p.2). En lo referido a las Teorías de Control, Ogata (2010) afirma que: “Las teorías de control que se utilizan habitualmente son la teoría de control clásica (también denominada teoría de control convencional), la teoría de control moderno y la teoría de control robusto.”

La siguiente figura muestra los Componentes básicos de los que está constituido un Sistema de Control:



Figura Nro. 67. Componentes Básicos de un Sistema de Control. Fuente: Sistemas de Control Automático. Autor: Benjamín Kuo

Como se puede apreciar en la figura anterior, el diagrama de bloques representa la relación entrada-salida es decir la causa y el efecto del proceso por medio de un Sistema de Control.

Dentro de los sistemas de Control podemos distinguir dos tipologías:

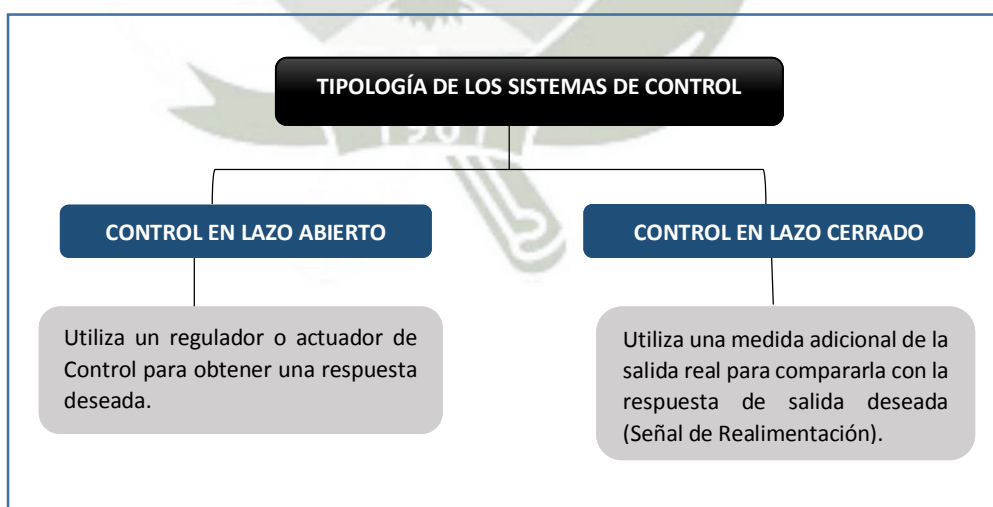


Figura Nro. 68. Tipología de los Sistemas de Control. Fuente: Sistemas de Control Automático (1996). Autor: Benjamín Kuo

Asimismo, la siguiente figura muestra la Estructura de Bloques de los Sistemas de Control en Lazo Abierto y Lazo Cerrado, así tenemos:

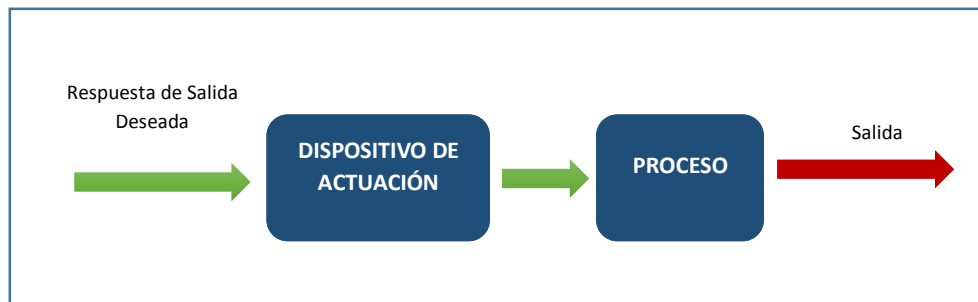


Figura Nro. 69. Diagrama de bloques de un Sistema de Control en Lazo Abierto. Fuente: Sistemas de Control Automático (1996). Autor: Benjamín Kuo

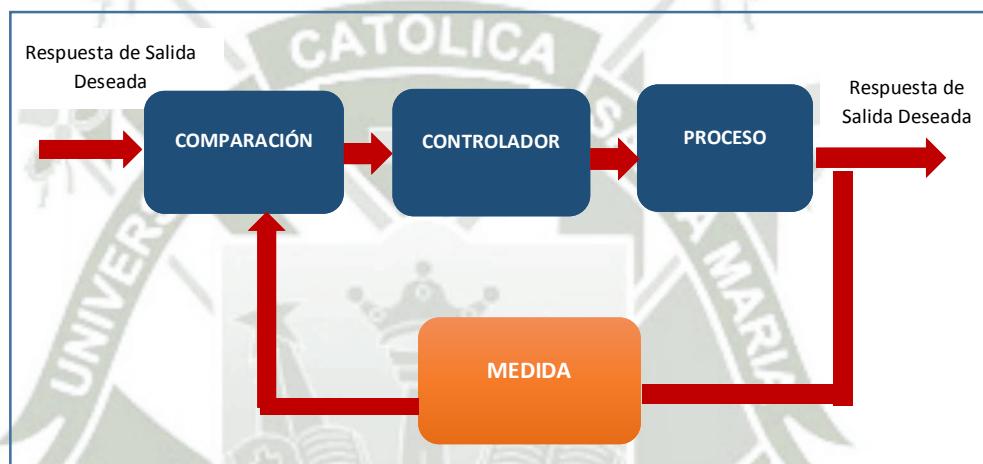


Figura Nro. 70. Diagrama de bloques de un Sistema de Control en Lazo Cerrado. Fuente: Sistemas de Control Automático (1996). Autores: KUO, Benjamín

2.1.4.2. ESTRATEGIAS CLASICAS DE CONTROL

La acción de control busca comparar el valor efectivo de la salida de un sistema con el valor deseado, la forma en que el control automático produce una señal de control se le conoce con el nombre de acción de Control.

A continuación, se presentan las acciones de control más comúnmente aplicadas:



Figura Nro. 71. Estrategias Clásicas de Control. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

2.1.4.3. ACCION DE CONTROL PROPORCIONAL – INTEGRAL Y DERIVATIVO (PID)

Es importante señalar que en campo Industrial más de la Mitad de los controladores Industriales utilizan el tipo de Controlador PID. Para Gil y Rincón (2017) en su tesis titulada Control PID para el Control de Velocidad de un Motor DC, sostiene que: “El controlador PID (Proporcional, Integrador y Derivativo) es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta, sea cero de manera asintótica en el tiempo.” (p.52). Por su parte Morales en su tesis titulada Diseño del Control Automático del Proceso de Producción de Tortillas de Harina, afirma que: “El Control PID es un tipo de modo de control que es frecuentemente usado en procesos en donde el valor de la variable controlada es constantemente cambiado en respuesta a upsets.” (p.25). De las definiciones anteriormente citadas, la Estrategia PID

combina las acciones Proporcional, Integral y Derivativa, entonces se puede afirmar que tiene la capacidad de controlar el tiempo de subida, sobre picos y error al mismo tiempo siempre que se sintonicen adecuadamente las constantes.

Normalmente la Estrategia de Control PID se utiliza en Paralelo en la que cada acción es Independiente de tal manera que puedan ser sumadas y obtener la salida del Controlador, el siguiente esquema muestra el diagrama de bloques de un Control PID:

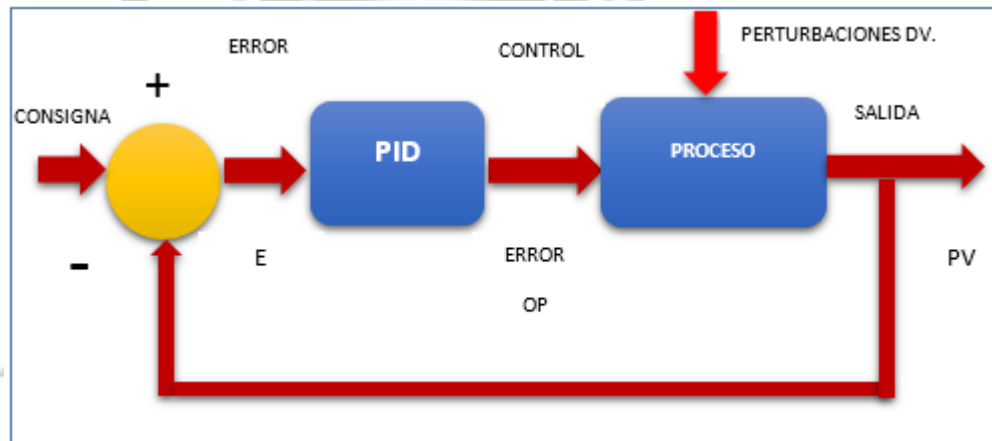


Figura Nro. 72. Diagrama de Bloques de un Sistema de Control PID. Fuente: Ingeniería de Control Moderna. (2010) Autor: Katsuiko Ogata.

De igual forma se puede realizar la representación del controlador PID mediante una estructura de bloques en paralelo, tal como se observa en la siguiente figura:

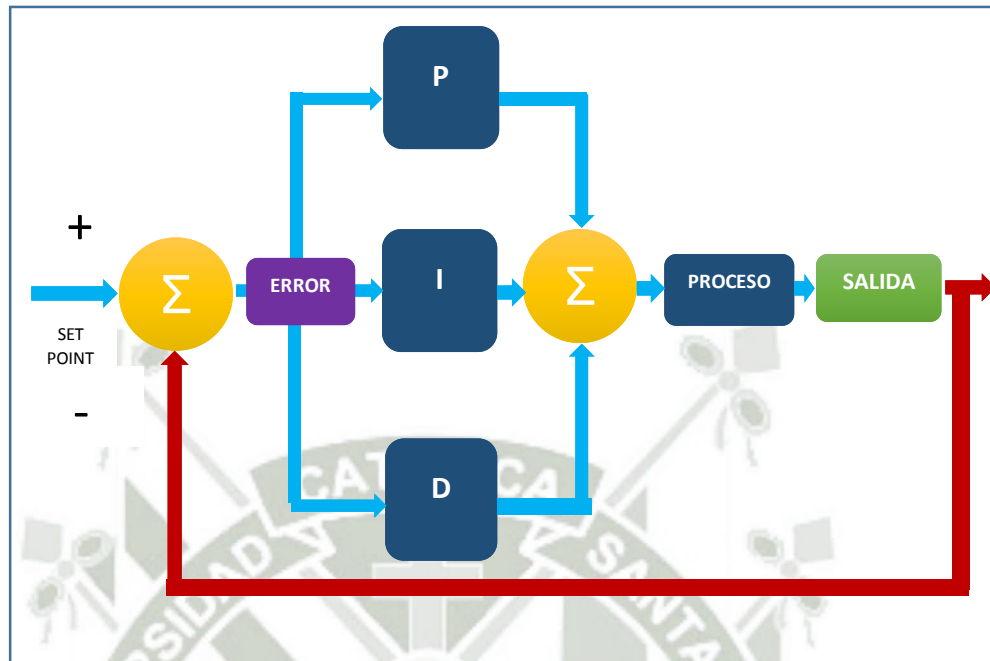


Figura Nro. 73. Diagrama de Bloques de un Sistema de Control PID en Paralelo. Fuente: Ingeniería de Control Moderna. (2010) Autor: Katsulko Ogata.

Ogata (2010) sostiene que: “La utilidad de los controles PID estriba en que se aplican en forma casi general a la mayoría de los sistemas de control. En particular, cuando el modelo matemático de la planta no se conoce y por lo tanto, no se pueden emplear métodos de diseño analíticos, es cuando los controles PID resultan más útiles.” (p.567). Por su parte Mandado, Acevedo y Fernández (2010), sostienen que: “Los controladores PID realizan adecuadamente el control de números productos y Procesos Industriales, particularmente cuando la Dinámica del proceso lo permite como es el caso de los Sistemas Lineales con Retardo” (p.383).

En la presente investigación se realizará el Control de Velocidad de un Motor Hidráulico mediante la aplicación de un controlador PID, objetivo que se logrará mediante el uso de Tarjetas Reguladoras PID de aplicación en Circuitos Hidráulicos, Tarjeta Amplificadora Proporcional y una Tarjeta de

punto Consigna la cuales permitirán realizar el control de las Válvulas Proporcionales por medio del accionamiento de solenoides independientes. El siguiente esquema muestra los Componentes PID a utilizar en la Investigación propuesta:



Figura Nro. 74. Componentes PID-hidráulicos utilizados en la investigación. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

La Tarjeta PID, permite realizar el Control del Sistema, actuando como un Controlador de Circuito Cerrado, por su parte la Tarjeta Amplificadora Proporcional permite realizar el Control de las Válvulas Proporcionales, su accionamiento se realizar por medio de dos Solenoides Independientes o con la acción de una Válvula con dos Solenoides tal como es el caso de una Válvula Proporcional. El Amplificador Proporcional funciona como un Amplificador de uno o de dos canales. Finalmente, la Tarjeta de valor punto Consigna permite la Generación de puntos de Consigna de forma programable, permite la generación de rampa programable, secuencias cíclicas de puntos de consigna, cronómetro, entre otras, las que serán mejor descritas en el capítulo siguiente de Implementación del Sistema.

2.2. BASE NORMATIVA DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la Investigación se ha considerado el uso de la siguiente

Normativa:

NORMA	TITULO DE LA NORMA	DSECRIPCIÓN DE LA NORMA	AÑO DE PUBLICACIÓN
ISO 1219-1	Técnica de Fluidos, símbolos Gráficas y Esquemas de Distribución.	Norma utilizada para la identificación de los componentes Hidráulicos y Neumáticos incluidos en los Esquemas de Distribución Hidráulicos, Neumáticos y Eléctricos en ambos casos.	2012
ISO 1219-2	Técnica de Fluidos, símbolos, Gráficas y Esquemas de Distribución.	Norma utilizada para la identificación de los componentes Hidráulicos y Neumáticos incluidos en los Esquemas de Distribución Hidráulicos, Neumáticos y Eléctricos en ambos casos.	2012
EN 60617-7	Símbolos, Gráficos utilizados en Esquemas de Distribución.	Norma utilizada para definir la simbología grafica para esquemas Hidráulicos y Neumáticos.	1997
EN 81346-2	Sistemas Industriales, equipos y productos Industriales.	La norma tiene la finalidad de definir esquemas de clasificación de componentes mediante letras de identificación aplicables a los campos tecnológicos.	2010

Figura Nro. 75. Normativa utilizada en la Investigación. Fuente: Manual de Hidráulica Proporcional (1996). Autor: FESTO



CAPITULO III

IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

3. CIRCUITOS DEL SISTEMA

El sistema de control de velocidad de un motor hidráulico mediante tarjetas electrónicas está basado en la integración de dos circuitos, estos son el circuito hidráulico y el circuito electrónico.

3.1. CIRCUITO HIDRAULICO

El circuito hidráulico está conformado por los siguientes elementos:

- Unidad Hidráulica.
- Válvula reguladora de presión.
- Motor Hidráulico con sensor.
- Manómetros.
- Válvula proporcional de 4 vías, 3 posiciones, centro cerrado.
- Mangueras hidráulicas.

3.2. CIRCUITO ELECTRONICO

El circuito electrónico está conformado por los siguientes elementos:

- Fuente de alimentación de 24V.
- Tarjeta PID.
- Tarjeta Amplificadora.
- Tarjeta de Punto Consigna.
- Tarjeta de Relés y Pulsadores.
- Mangueras Hidráulicas.

3.3. DESCRIPCION DE COMPONENTES

3.3.1. COMPONENTES HIDRAULICOS

3.3.1.1. UNIDAD HIDRAULICA

La unidad hidráulica suministra constantemente el caudal volumétrico preestablecido. Una eventual superación de la presión de servicio es compensada por medio de la válvula limitadora de presión interna. La unidad hidráulica cuenta con dos conexiones al depósito.

PARAMETROS AJUSTABLES

Presión máxima : 0.01 a 40 MPa
Caudal : 0 a 500 l / min



Figura Nro. 76. Unidad Hidráulica Festo. Fuente: Manual Hidráulico Festo

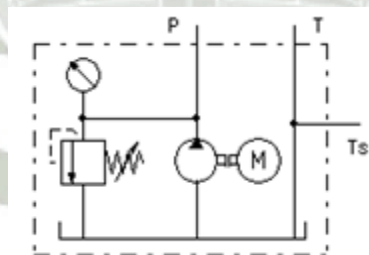


Figura Nro. 77. Simbología de Unidad Hidráulica Festo. Fuente: Manual Hidráulico Festo

3.3.1.2. VALVULA REGULADORA DE PRESION

La válvula está cerrada en posición de reposo. Si se alcanza la presión de apertura en P, T se abre. Cuando la presión desciende por debajo del nivel preestablecido, la válvula cierra de nuevo. El sentido del flujo viene indicado por la flecha.

La resistencia hidráulica se refiere a la válvula completamente abierta.

PARAMETROS AJUSTABLES

Presión nominal	: 0 a 40 MPa
Resistencia Hidráulica	: $1e^{-7}$ a $100 \text{ Mpa} \cdot \text{min}^2/\text{l}^2$



Figura Nro. 78. Válvula reguladora de presión. Fuente: Manual de hidráulica Festo

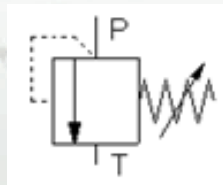


Figura Nro. 79. Simbología de Válvula reguladora de presión. Fuente: Manual de hidráulica Festo

3.3.1.3. MOTOR HIDRAULICO CON SENSOR DE CAUDAL O CAUDALIMETRO

El motor hidráulico o hidromotor transforma la energía hidráulica en energía mecánica.

PARAMETROS AJUSTABLES

Desplazamiento	: 0.001 a 5 Litros
Rozamiento	: 0.01 a $100 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}/\text{rad}$
Momento de Inercia	: 0.0001 a $1 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$
Torque Externo	: - 1000 a 1000 Nm



Figura Nro. 80. Motor Hidráulico o hidromotor. Fuente: Manual de hidráulica Festo

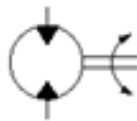


Figura Nro. 81. Simbología de Motor Hidráulico o hidromotor. Fuente: Manual de hidráulica Festo

El caudalímetro analógico mide el caudal volumétrico y lo transforma en una señal eléctrica de tensión proporcional. En el proceso, solo se consideran los caudales en los intervalos especificados. Dentro de este intervalo, se representa el caudal en el margen de tensión de 0 a 10 V, es decir, el caudal volumétrico mínimo suministra 0 V y el caudal volumétrico máximo 10 V.

PARAMETROS AJUSTABLES

Resistencia Hidráulica: $1e^{-7}$ a 100 Mpa*min²/l²



Figura Nro. 82. Sensor Analógico de caudal o caudalímetro. Fuente: Manual de hidráulica Festo

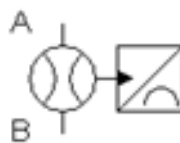


Figura Nro. 83. Simbología de Sensor Analógico de caudal o caudalímetro. Fuente: Manual de hidráulica Festo

3.3.1.4. MANOMETRO

El manómetro puede conectarse en cualquier momento y en cualquier punto para medir la presión.

Tiene como características:

- Margen de medición y presión máxima admisible: 10 MPa (100 bar)
- Calidad: 1,6 % del máximo de la escala.
- Amortiguación glicerina.
- Acoplamientos auto obturadores con fuga de aceite reducida.



Figura Nro. 84. Manómetro. Fuente: Manual de hidráulica Festo

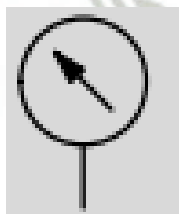


Figura Nro. 85. Simbología de manómetro. Fuente: Manual de hidráulica Festo

3.3.1.5. VALVULA PROPORCIONAL DE 4 VIAS, 3 POSICIONES CENTRO CERRADO

Utilizando el amplificador proporcional de dos canales, la válvula proporcional transforma una señal de entrada eléctrica analógica en la correspondiente sección de apertura en la salida. La señal de consigna debe hallarse en el intervalo de -10 V a + 10 V. A 0 V se obtiene la porción media hidráulica y la válvula cierra el caudal (en el supuesto de un solapamiento cero). Al desplazarse la corredera de la válvula, la sección transversal de paso aumenta. El cambio de sección y con el caudal de la válvula depende de la forma y el perfil de las muestras de la corredera. Una muesca triangular produce un comportamiento progresivo del caudal, mientras que una muesca de forma rectangular produce un comportamiento lineal del caudal.

La resistencia hidráulica se refiere al borde de apertura completamente abierto y las fugas internas al correspondiente borde de apertura. El solapamiento de los bordes de apertura puede especificarse en relación a la máxima distancia de la corredera.

PARAMETROS AJUSTABLES

Resistencia Hidráulica : $1e^{-7}$ a 100 Mpa*min²/l²

Fugas Internas : 0 a 100 l/(min*MPa)



Figura Nro. 86. Válvula Proporcional 4/3 centro cerrado. Fuente: Manual de hidráulica Festo

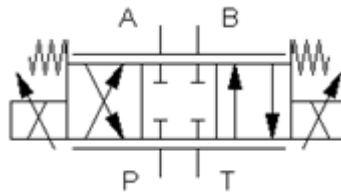


Figura Nro. 87. Simbología de Válvula Proporcional 4/3 centro cerrado. Fuente: Manual de hidráulica Festo

3.3.1.6. MANGUERAS HIDRAULICAS CON ACOPLAMIENTOS RAPIDOS

Las mangueras de alta presión constan de tres capas: La capa más interna es de goma sintética, seguida por una malla de alambre y una funda de goma sintética resistente a la abrasión. Los acoplamientos rápidos son autosellantes cuando se desacoplan. Utilizado con una boquilla de acoplamiento, los zócalos forman una unión sellada estanca. Durante el proceso de acoplamiento, sólo la cara del acoplamiento se ensucia de aceite. El acoplamiento y desacoplamiento sólo son posibles cuando la manguera se halla sin presión.

- Presión de funcionamiento 6 MPa (60 bar).
- Presión máx. admisible 12 MPa (120 bar).
- Margen de temperatura -40 – + 125 °C.
- Radio de doblado mínimo 100 mm.
- DN 06 (Ø 6.3 mm).



Figura Nro. 88. Manguera Hidráulica de alta presión con acoples rápidos. Fuente: Manual de hidráulica Festo

3.3.2. COMPONENTES ELECTRONICOS

3.3.2.1. FUENTE DE ALIMENTACION 24 V

A continuación, se muestra la fuente de alimentación para el bastidor de montaje.



Figura Nro. 89. Fuente de alimentación Festo de 24V. Fuente: Manual de hidráulica Festo

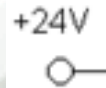


Figura Nro. 90. Simbología de Fuente de alimentación Festo de 24V. Fuente: Manual de hidráulica Festo

3.3.2.2. TARJETA REGULADORA PID

El regulador PID es un regulador continuo consistente en tres elementos de acción reguladora, Proporcional, Integral y Derivativa. El ajuste de los parámetros puede consultarse en el paquete de tecnología TP511 Regulación hidráulica de Festo Didactic.

La tensión de salida puede establecerse en el margen (i) -10 V a $+10\text{ V}$ o (ii) 0 V a $+10\text{ V}$. En el margen (i), puede especificarse un offset de la variable manipulada desde -7 V a $+7\text{ V}$, y en el margen (ii) puede especificarse un offset de la variable manipulada desde 1.5 V a 8.5 V . El regulador PID requiere una alimentación de 24 V .

PARAMETROS AJUSTABLES

Ganancia proporcional	: 0 a 1000
Ganancia integral	: 0 a 1000 1/s
Ganancia derivativa	: 0 a 1000 ms



Figura Nro. 91. Tarjeta reguladora PID. Fuente: Manual de hidráulica Proporcional Festo



Figura Nro. 92. Simbología Tarjeta reguladora PID. Fuente: Manual de hidráulica Proporcional Festo

3.3.2.3. TARJETA AMPLIFICADORA PROPORCIONAL DE 1 CANAL

La tarjeta amplificadora se utiliza para controlar válvulas proporcionales. Para ello, los valores nominales (señales de tensión) desde 0 V a + 10 V son transformadas en el flujo magnético necesario para mover las válvulas proporcionales. En FluidSIM el amplificador está acoplado a la respectiva válvula por medio de una etiqueta. Con ello, la corriente máxima en la salida del amplificador es automáticamente ajustada en relación a la válvula acoplada. Para compensar el solapamiento positivo de las válvulas proporcionales puede especificarse un escalonado de la corriente en relación con la corriente máxima. El amplificador requiere una fuente de alimentación de 24 V.



Figura Nro. 93. Tarjeta amplificadora proporcional de 1 canal. Fuente: Manual de hidráulica Proporcional Festo

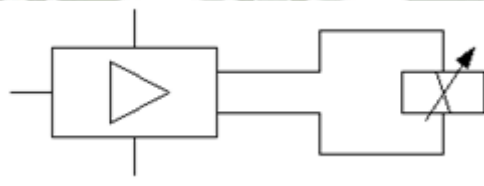


Figura Nro. 94. Simbología de tarjeta amplificadora proporcional de 1 canal. Fuente: Manual de hidráulica Proporcional Festo

3.3.2.4. TARJETA DE PUNTO CONSIGNA

Pueden crearse perfiles de tensión en el intervalo de -10 V a $+10\text{ V}$ utilizando la tarjeta de valor de consigna. Pueden especificarse hasta 8 puntos de consigna W1 a W8 en el intervalo de tensión -10 V a $+10\text{ V}$. La tarjeta de valor de consigna requiere una alimentación de tensión de 24 V .

El incremento del punto de consigna actual al siguiente punto de consigna se define utilizando 4 rampas R1 a R4 con valores de 0 s/V y 10 s/V , es decir, un valor de rampa bajo significa un gran incremento. La rampa activa se define como sigue: R1 para un incremento positivo de 0 V , R2 para un incremento negativo hasta 0 V , R3 para un incremento negativo de 0 V y R4 para un incremento positivo hasta 0 V .

Pueden seleccionarse tres modos de funcionamiento: “Esperar tiempo de conmutación”, “Avanzar puntos de consigna” y “Control externo”.

En el modo de funcionamiento “Esperar tiempo de conmutación” los puntos de consigna avanzan secuencialmente cuando ha expirado el tiempo de cambio establecido.

Si se selecciona “Avanzar puntos de consigna”, cuando se alcanza el punto de consigna activo, empieza el siguiente punto sin retardo.

En el modo de funcionamiento “Control externo” la selección del punto de consigna activo se realiza aplicando a las entradas I1, I2 e I3 por los menos 15 V. El punto de consigna correspondiente se selecciona por medio de la tabla de bits especificada. Durante el proceso, el tiempo de conmutación interno está inactivo.

W1:	I1 = 0, I2 = 0, I3=0
W2:	I1 = 1, I2 = 0, I3=0
W3:	I1 = 0, I2 = 1, I3=0
W4:	I1 = 1, I2 = 1, I3=0

Tabla Nro. 3. Valores de entrada para sentido de giro horario.
Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia



Figura Nro. 95. Tarjeta de valor de punto consigna. Fuente: Manual de hidráulica Proporcional Festo

3.3.2.5. TARJETA DE RELES – PULSADORES

En la práctica se realizará un acondicionamiento eléctrico con relés para invertir la polaridad y lograr la inversión de giro del motor.



Figura Nro. 96. Tarjeta de Relés. Fuente: Manual de electro neumática Festo

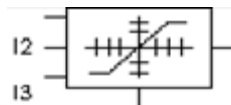


Figura Nro. 97. Simbología de Tarjeta de Relés. Fuente: Manual de electro neumática Festo


CAPÍTULO IV


PRUEBAS Y RESULTADOS




Figura Nro. 98. Circuito para el control de velocidad de un motor hidráulico con tarjetas electrónicas. Fuente: Elaboración Propia (2017).
Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

4.1. PRUEBAS DE LABORATORIO

	<p>Universidad Católica de Santa María</p>	<p>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMEM DE LA UCSM</p>	<p>Fecha de la Prueba: 16/10/17</p>	
<p>CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRAULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS</p>			<p>Prueba N°</p>	<p>1</p>
<p>Apellidos y Nombres:</p>	<p>Morales Vila, Fredy Jhon</p>			
	<p>Valdivia Torres, Carlos Alonso</p>			
<p>I. OBJETIVO DE LA PRACTICA.</p> <p>Realizar el control de velocidad de un motor hidráulico mediante tarjetas PID así mismo realizar la sintonización del sistema mediante los parámetros proporcional, integral y derivativo.</p> <p>II. OBJETIVOS ESPECIFICOS.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Que el estudiante tenga una guía práctica para diseñar y realizar el control de velocidad de un motor hidráulico mediante el empleo de componentes hidráulicos y electrónicos. • Que el estudiante pueda interactuar directamente con el módulo didáctico de control de velocidad y de esta manera afianzar sus conocimientos sobre la hidráulica proporcional y la Ingeniería de Control. • Apoyar a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica desarrollando control en hidráulica proporcional y de esta manera incentivar a los alumnos en realizar investigación. • Hacer uso de las herramientas, técnicas y procesos que contiene el Software Fluid Sim aplicados a la simulación de circuitos hidráulicos. 				

	<p>Universidad Católica de Santa María</p>	<p>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM</p>	<p>Fecha de la Prueba: 16/10/17</p>	
<p>CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS</p>			<p>Prueba N°</p>	<p>1</p>
<p>Apellidos y Nombres:</p>	<p>Morales Vila, Fredy Jhon</p>			
	<p>Valdivia Torres, Carlos Alonso</p>			
<p>III. RECURSOS.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unidad Hidráulica. • Válvula reguladora de presión. • Motor Hidráulico con sensor. • Manómetros. • Válvula proporcional de 4 vías, 3 posiciones, centro cerrado. • Mangueras hidráulicas. • Fuente de Alimentación de 24 V. • Tarjeta PID • Tarjeta Amplificadora. • Tarjeta de valor de punto consigna. • Tarjeta de Relés y pulsadores. <p>IV. CONEXION DE COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO.</p> <p>A. FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR HIDRAULICO.</p> <p>Conectados a la entrada y salida del motor hidráulico tenemos manómetros para que en cualquier momento podamos visualizar la caída de presión, pero en realidad no debería haber caída de presión ya que el motor hidráulico no está sometido a ninguna carga.</p>				

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon Valdivia Torres, Carlos Alonso		

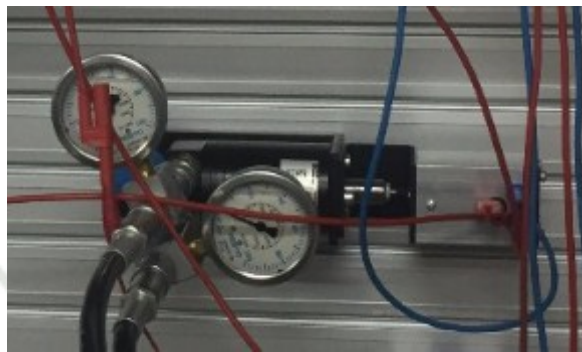



Figura Nro. 99. Conexión de manómetros a la entrada y salida del motor hidráulico.
Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

B. FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE CAUDAL.

El sensor de caudal convierte las RPM del motor en voltaje, en relación de 0 a 1000 RPM responde de 0 a 10 Voltios de manera proporcional. Este sensor o tacómetro tiene una alimentación de 24 V y tiene como salida de señal un conector negro el cual envía señal hacia el circuito superior para utilizarlo en la parte de control.



Figura Nro. 100. Sensor de Caudal. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon Valdivia Torres, Carlos Alonso		

C. FUNCIONAMIENTO DE LA VALVULA REGULADORA DE PRESION.

Nos permite limitar la presión independientemente de la presión que nos esté suministrando la unidad hidráulica, claro que la presión máxima que vamos a obtener en la reguladora de caudal es siempre la presión máxima que nos va a entregar la unidad hidráulica.

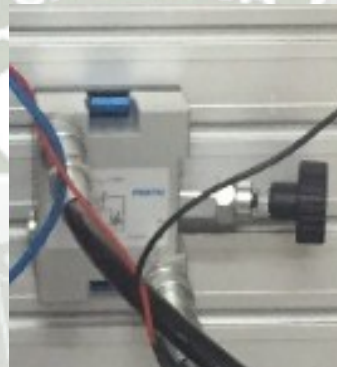



Figura Nro. 101. Válvula Reguladora de Presión. Fuente: Elaboración Propia (2017).
Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

Entonces este es el funcionamiento básico de la parte hidráulica y el objetivo es que, con la ayuda de la válvula proporcional, generar el desplazamiento necesario de la válvula para alcanzar ciertas RPM del motor.

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon Valdivia Torres, Carlos Alonso		

D. FUENTE DE ALIMENTACION.

La Fuente de 24 V es quien suministrará el fluido eléctrico a toda la circuitería.

E. TARJETA AMPLIFICADORA PROPORCIONAL DE 1 CANAL.

Con esta tarjeta podremos adaptar señales de voltaje a señales de corriente magnetizante para la electroválvula proporcional.

Esta tarjeta puede operar de 2 maneras:

- Como una tarjeta amplificadora para una electroválvula de 2 canales o solenoides.

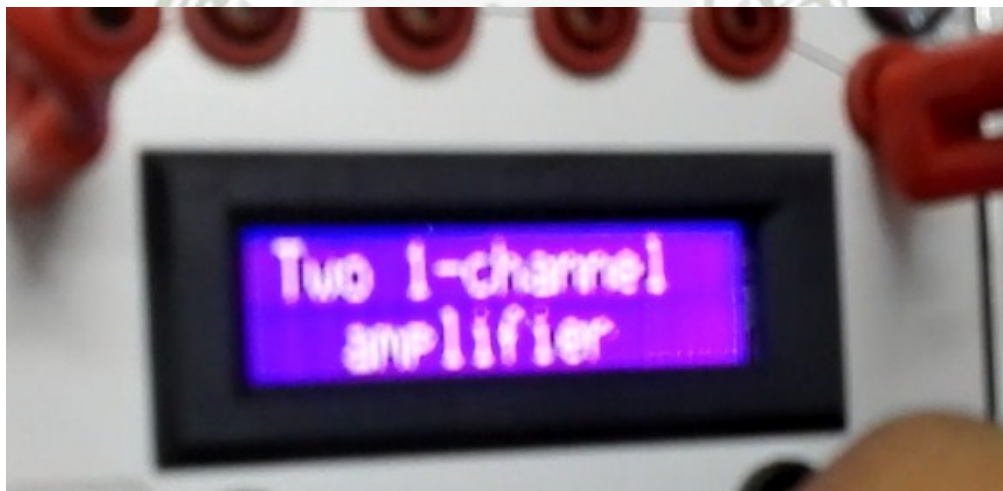



Figura Nro. 102. Modo 1 de operación de la tarjeta amplificadora. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon Valdivia Torres, Carlos Alonso		

- Como una tarjeta amplificadora para dos electroválvulas de 1 solo canal.

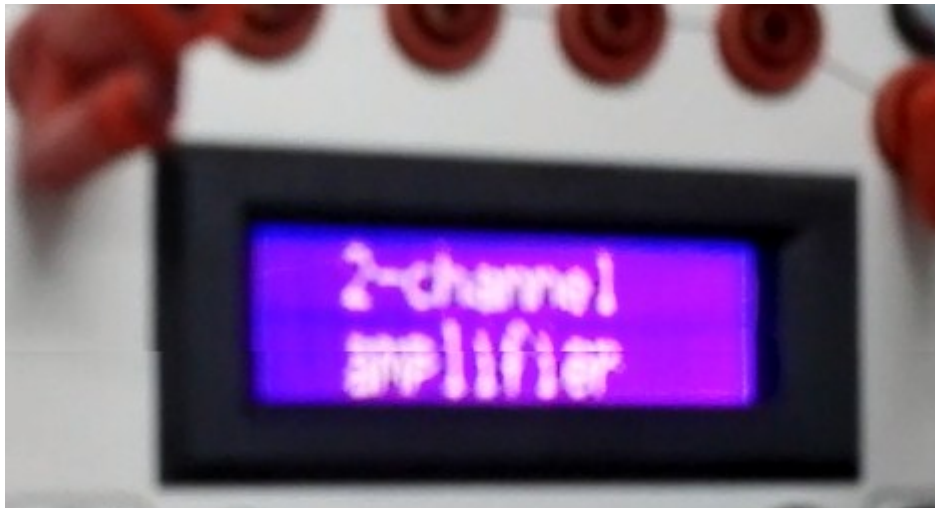


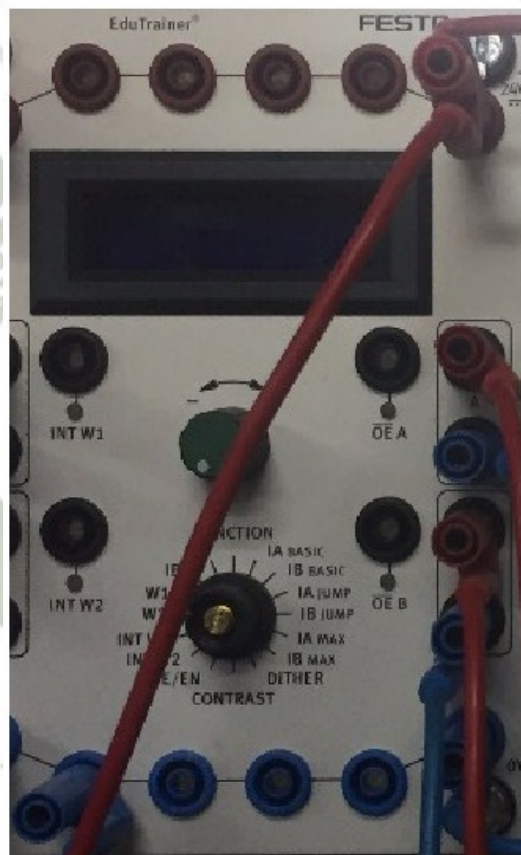
Figura Nro. 103. Modo 2 de operación de la tarjeta amplificadora. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

Para nuestro caso práctico se da para la primera manera de operación.

Entonces como vamos a usar solo 1 electroválvula, la señal que la va a comandar es solo una y tomamos la entrada W1 de la tarjeta amplificadora.

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon		
		Valdivia Torres, Carlos Alonso		

En respuesta a la entrada de voltaje le corresponderá una señal de corriente a la salida y en todo momento podemos ver IA e IB la cuales son las salidas que van conectadas a los solenoides de la electroválvula.



→ IA
→ IB

Figura Nro. 104. Conexión de señales de corriente IA e IB a la salida de la tarjeta amplificadora. Fuente: Elaboración Propia (2017).
Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

Entonces de esta manera podemos decir que esta tarjeta se comporta como un Driver para comandar la electroválvula.


	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon		
		Valdivia Torres, Carlos Alonso		

F. TARJETA REGULADORA PID.

Con esta tarjeta se simula un controlador Proporcional, Integrativo y Derivativo y como vemos en su placa física tiene 2 entradas, una para la señal de Set Point [W] y una entrada para la señal del sensor [X].



Figura Nro. 105. Conexión de Set Point y Sensor al PID. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon Valdivia Torres, Carlos Alonso		


La resta de estas dos señales, tanto para W y X, las podemos leer en estos puntos indicados con negro.

W: Set Point

X: Sensor



Figura Nro. 106. Conexión de resta de las Señales Set Point y Sensor. Fuente: Elaboración Propia (2017).
Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	<p>Universidad Católica de Santa María</p>	<p>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM</p>	<p>Fecha de la Prueba: 16/10/17</p>	
<p>CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS</p>			<p>Prueba N°</p>	<p>1</p>
<p>Apellidos y Nombres:</p>		<p>Morales Vila, Fredy Jhon Valdivia Torres, Carlos Alonso</p>		

Y la salida que está en Y corresponde al error que es la resta de las señales W y X multiplicada por cada uno de los factores P, I, D.

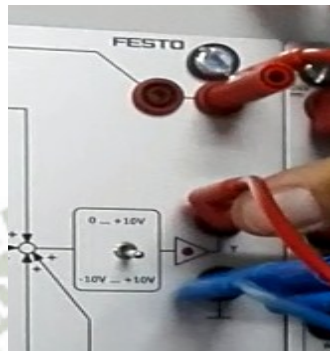


Figura Nro. 107. Salida del PID. Autores: Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

Para poder ajustar o sintonizar la tarjeta PID, tenemos 02 perillas, una perilla multiplicadora con valores de 0, 1, 10, 100 y una perilla de ajuste que nos da valores de 0 a 10.

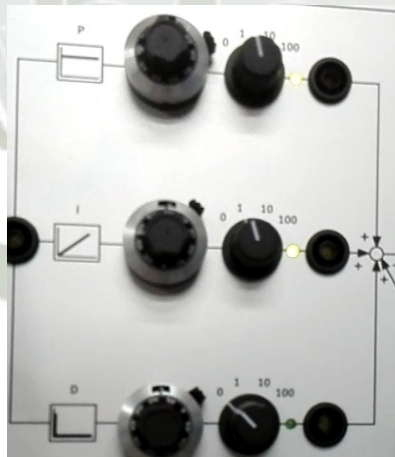



Figura Nro. 108. Perillas multiplicadores de ajuste del PID. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:	Morales Vila, Fredy Jhon Valdivia Torres, Carlos Alonso			

Si tenemos las perillas multiplicadoras en cero, la salida también va a ser cero, si la ponemos en 1, 10 ó 100, el valor de ajuste a la salida si va a ser otro distinto de cero.

A la salida podemos ajustar 2 tipos de valores, podemos manejar entre – 10 a + 10 Voltios y de 0 a 10 Voltios.

Para nuestro caso usaremos de – 10 a + 10 Voltios ya que necesitamos inversión de giro.



Figura Nro. 109. Switch de rango de valores de voltaje. Fuente: Elaboración Propia (2017).
 Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

Los puntos neutrales entre – 10 a + 10 Voltios es 0 y de 0 a 10 Voltios es 5.

También contamos con la perilla de Offset la cual nos permite ajustar señales remanentes ya sean positivas o negativas.



Figura Nro. 110. Perilla de Offset. Fuente: Elaboración Propia (2017).
 Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

Entonces como el PID nos da la señal de corrección, la salida del PID es la que va ir hacia la tarjeta amplificadora, para que esta tarjeta pueda operar la electroválvula y así poder aumentar o disminuir la velocidad del motor.

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
	CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS		Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon		
		Valdivia Torres, Carlos Alonso		

G. TARJETA DE PUNTO CONSIGNA.

Resumiendo, el punto anterior, tenemos como entrada del PID el Set Point y el sensor, el sensor es una señal que viene del tacómetro, el cual nos brinda en todo momento las RPM del motor y nuestro set point es alimentado por la tarjeta punto consigna con 8 niveles distintos de Set Point establecidos con los cuales nosotros podemos seleccionarlos de manera interna y externa.



Figura Nro. 111. Niveles de Set Point. Fuente: Elaboración Propia (2017).
 Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

De manera interna se tendría que ajustar unos valores de tiempo y de rampa para que automáticamente nuestra tarjeta punto consigna vaya variando el set point y ver en el osciloscopio la respuesta.

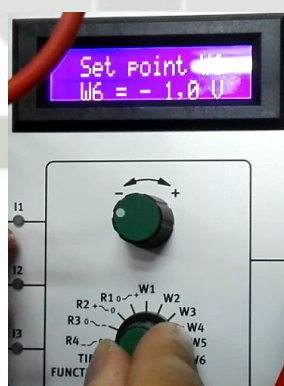




Figura Nro. 112. Ingreso de valores de Set Point a la tarjeta de punto consigna. Fuente: Elaboración Propia (2017).
 Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon		
		Valdivia Torres, Carlos Alonso		

Para este caso hemos configurado la tarjeta de valor de punto consigna de manera externa, usando las entradas I1, I2, I3 en diferentes combinaciones y con la ayuda de los pulsadores podamos usar los distintos niveles de set point que hemos configurado.

		I3	I2	I1	OUT
+	W1	0	0	0	+ 0.5 V
+	W2	0	0	1	+ 1.0 V
+	W3	0	1	0	+ 1.5 V
+	W4	0	1	1	+ 2.0 V
-	W5	1	0	0	- 0.5 V
-	W6	1	0	1	- 1.0 V
-	W7	1	1	0	- 1.5 V
-	W8	1	1	1	- 2.0 V

Tabla Nro. 4. Valores de Set Point. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon Valdivia Torres, Carlos Alonso		

H. ACONDICIONAMIENTO ELECTRICO.

Para lograr la inversión de giro se ha realizado un acondicionamiento eléctrico utilizando una tarjeta de relés y botoneras, como se puede apreciar el cable rojo viene de la salida del sensor y con esto logramos para que cuando el set point sea un valor negativo, nosotros activemos un relé y el relé invierta la señal que nos envía el sensor, ya que el sensor envía señales positivas así gire en un sentido u otro, entonces estamos aprovechando que podemos escoger si es positiva o negativa la señal para poder invertir la polaridad de la señal de salida del sensor, entonces la tarjeta PID también pueda responder con valores positivos y negativos.

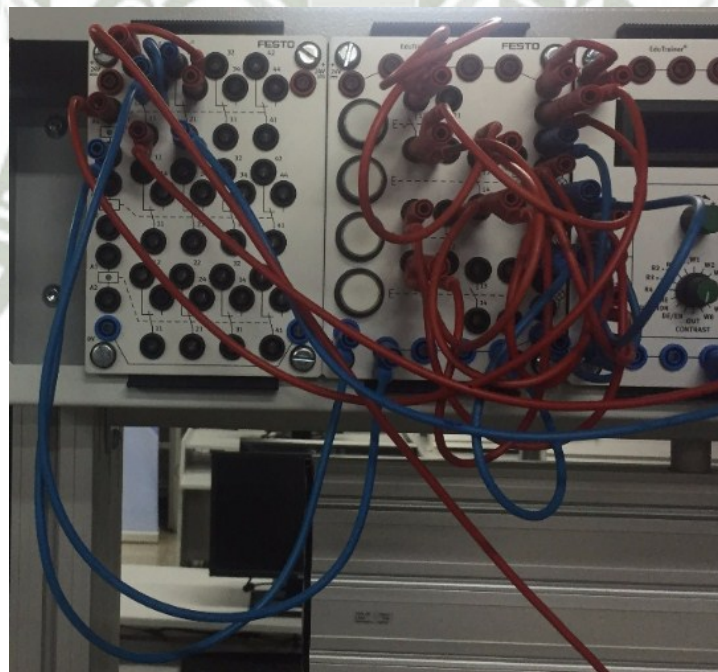


Figura Nro. 113. Acondicionamiento eléctrico con pulsadores para giro horario y anti horario del motor.
Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	<p>Universidad Católica de Santa María</p>	<p>IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM</p>	<p>Fecha de la Prueba: 16/10/17</p>	
<p>CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS</p>			<p>Prueba N°</p>	<p>1</p>
<p>Apellidos y Nombres:</p>		<p>Morales Vila, Fredy Jhon Valdivia Torres, Carlos Alonso</p>		

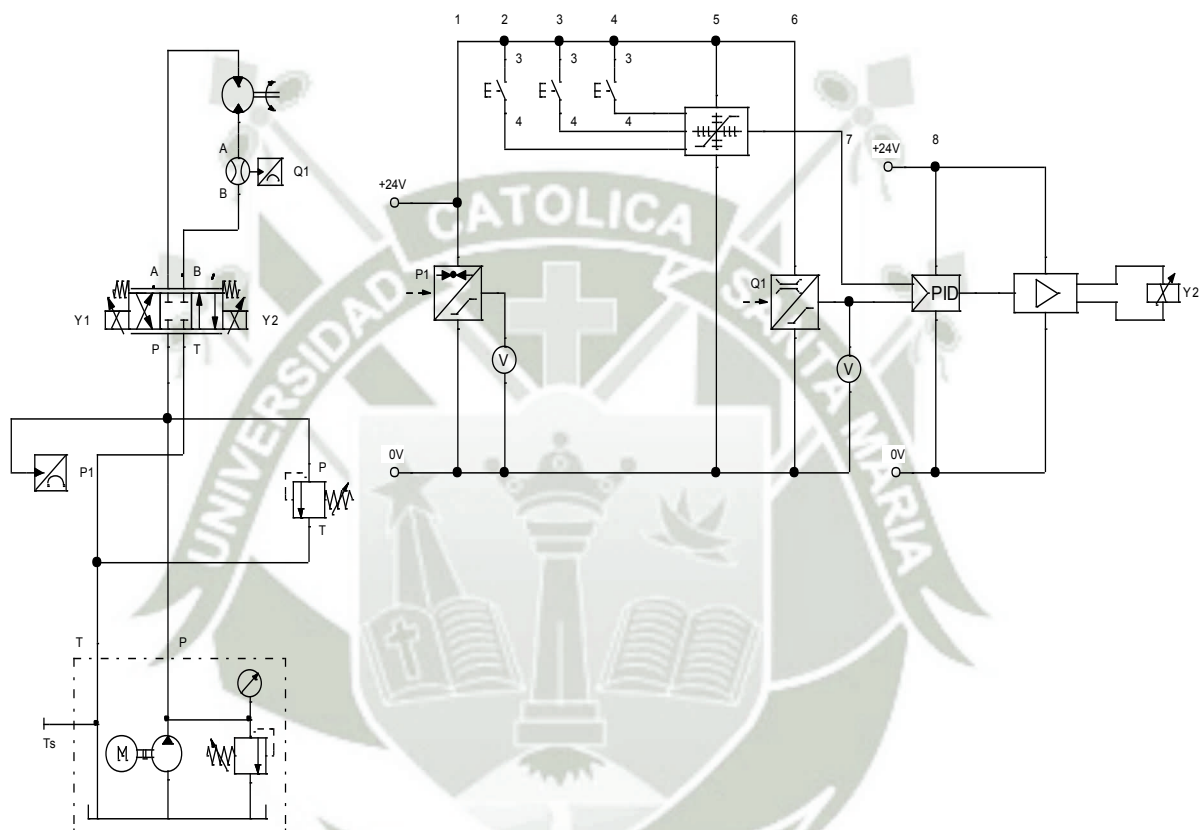


Figura Nro. 114 Circuito Fluid Sim PID completo. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

I. SIMULACIONES EN FLUID SIM.

Con la ayuda del software Fluid Sim se realizará la simulación del circuito.

Daremos los valores de tarjeta punto consigna según valor:

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon		
		Valdivia Torres, Carlos Alonso		

Tarjeta de valor de consigna

Puntos de consigna		Rampas	
W1	0 (-10..10 V) <input checked="" type="checkbox"/>	R1	0 (0..10 s / V)
W2	2 (-10..10 V) <input checked="" type="checkbox"/>	R2	0 (0..10 s / V)
W3	4 (-10..10 V) <input checked="" type="checkbox"/>	R3	0 (0..10 s / V)
W4	6 (-10..10 V) <input checked="" type="checkbox"/>	R4	0 (0..10 s / V)
W5	0 (-10..10 V) <input type="checkbox"/>	Modo de funcionamiento	
W6	0 (-10..10 V) <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> Esperar tiempo de conmutación <input type="text" value="1"/> (0.01..100 s)	
W7	0 (-10..10 V) <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> Avanzar puntos de consigna	
W8	0 (-10..10 V) <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> Control externo	

Figura No. 115. Valores tarjeta punto consigna. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

Una vez que contamos con los valores de la tarjeta punto consigna se verificara el comportamiento según el accionamiento de los pulsadores

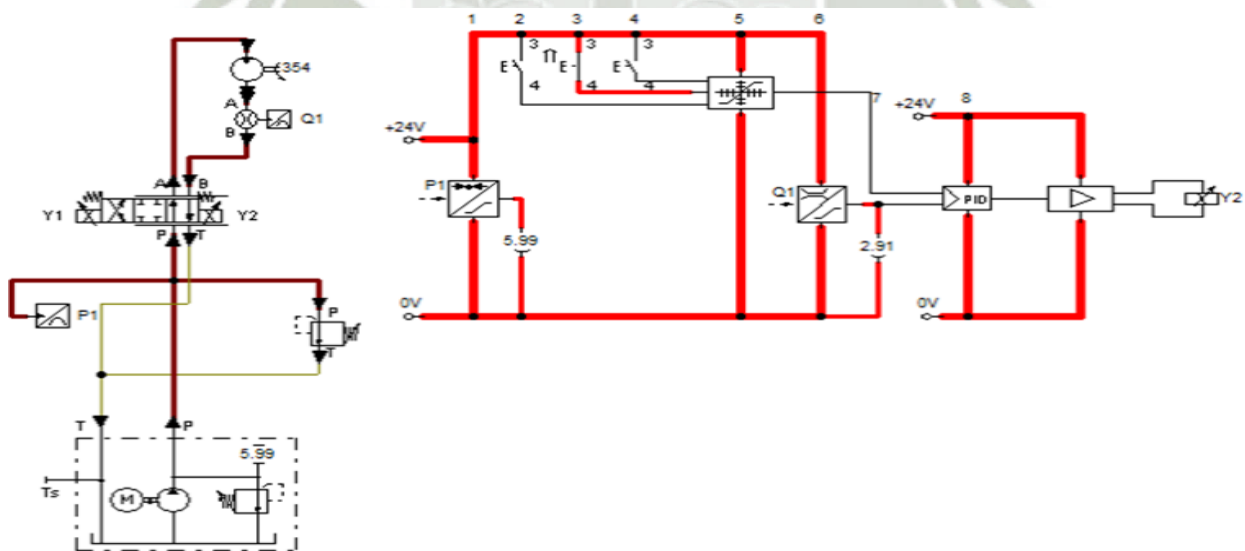


Figura No. 116. Accionamiento pulsador 1 tarjeta punto consigna. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
	CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS		Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon		
		Valdivia Torres, Carlos Alonso		

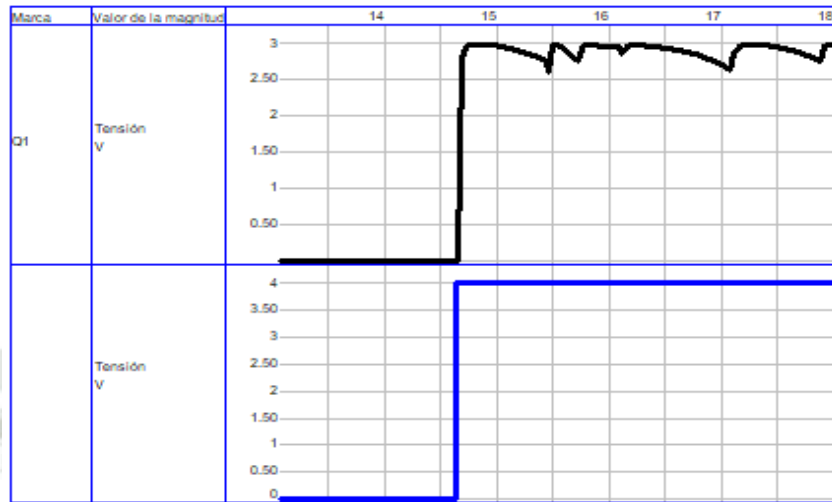


Figura Nro. 117. Tensión de sistema con 1 pulsador Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

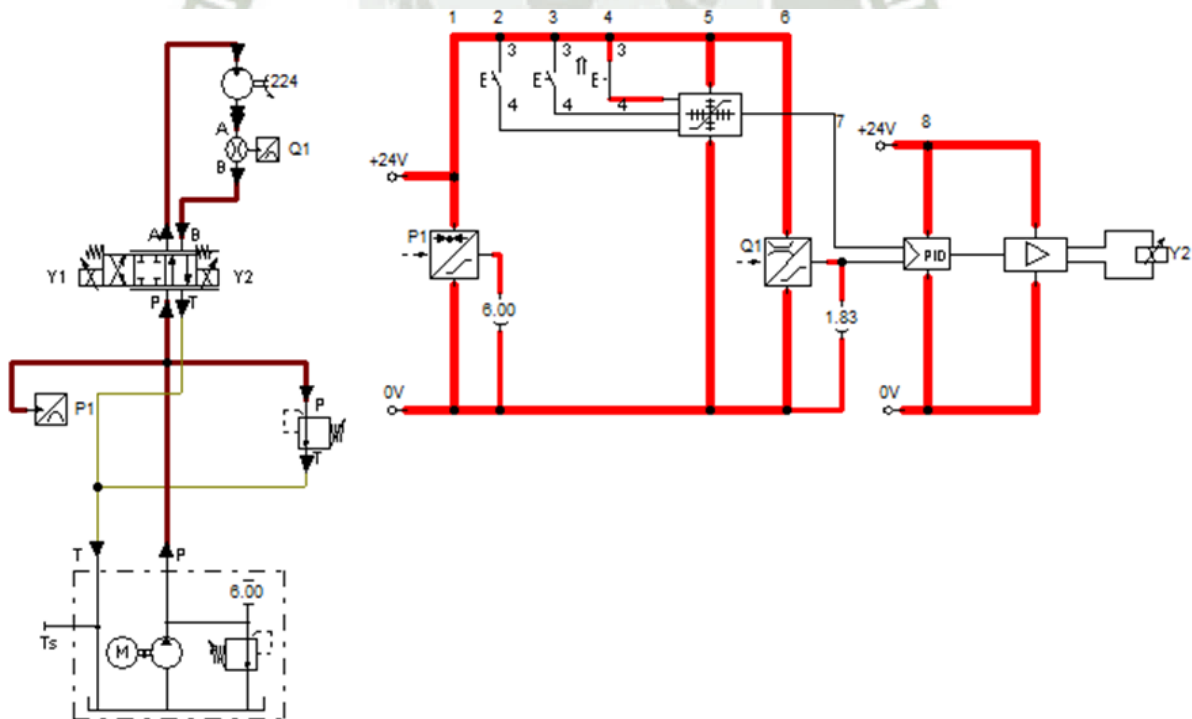


Figura Nro. 118. Accionamiento pulsador 2 tarjeta punto consigna. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
	CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon		
		Valdivia Torres, Carlos Alonso		

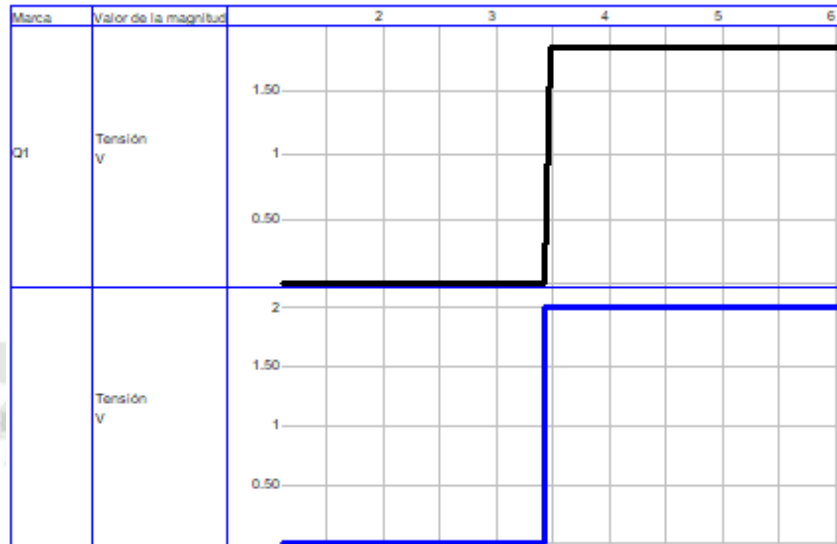


Figura No. 119. Tensión de sistema con 2 pulsadores. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

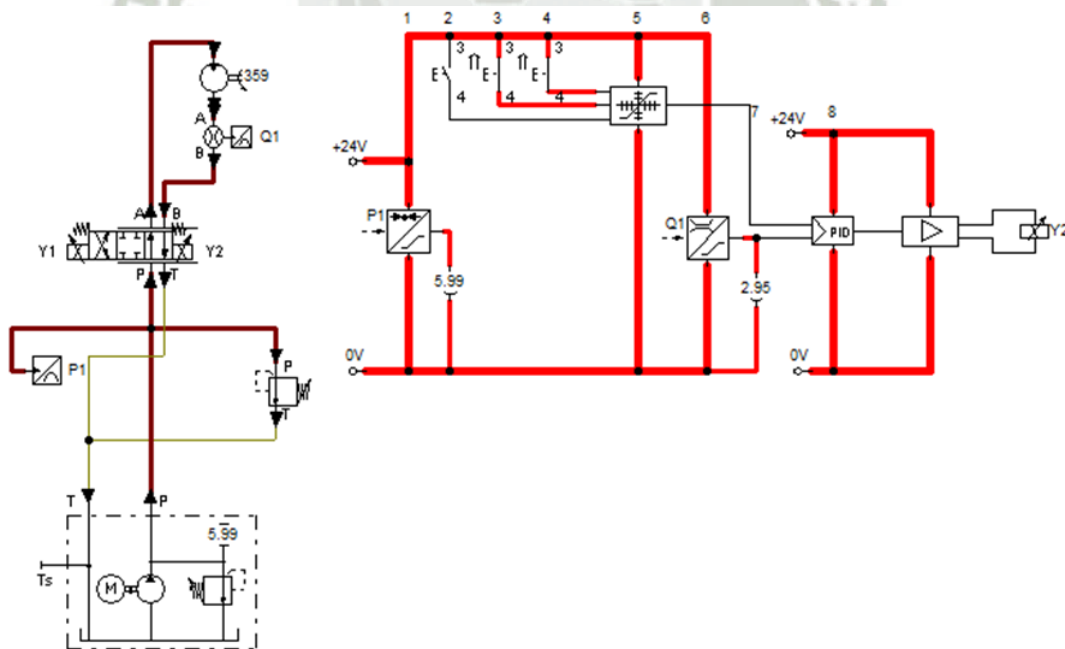


Figura No. 120. Accionamiento de 2 pulsadores tarjeta punto consigna. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon		
		Valdivia Torres, Carlos Alonso		

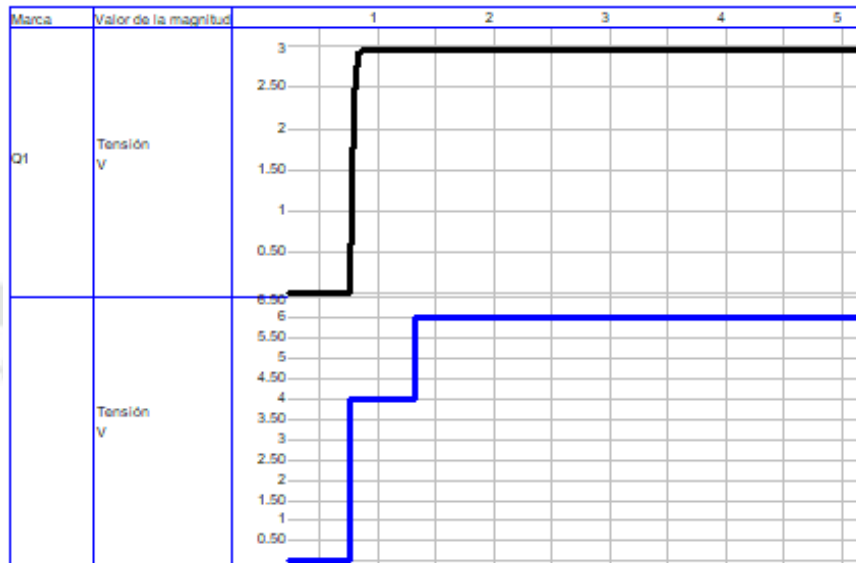


Figura Nro. 121. Tensión de sistema con 2 pulsadores activados Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

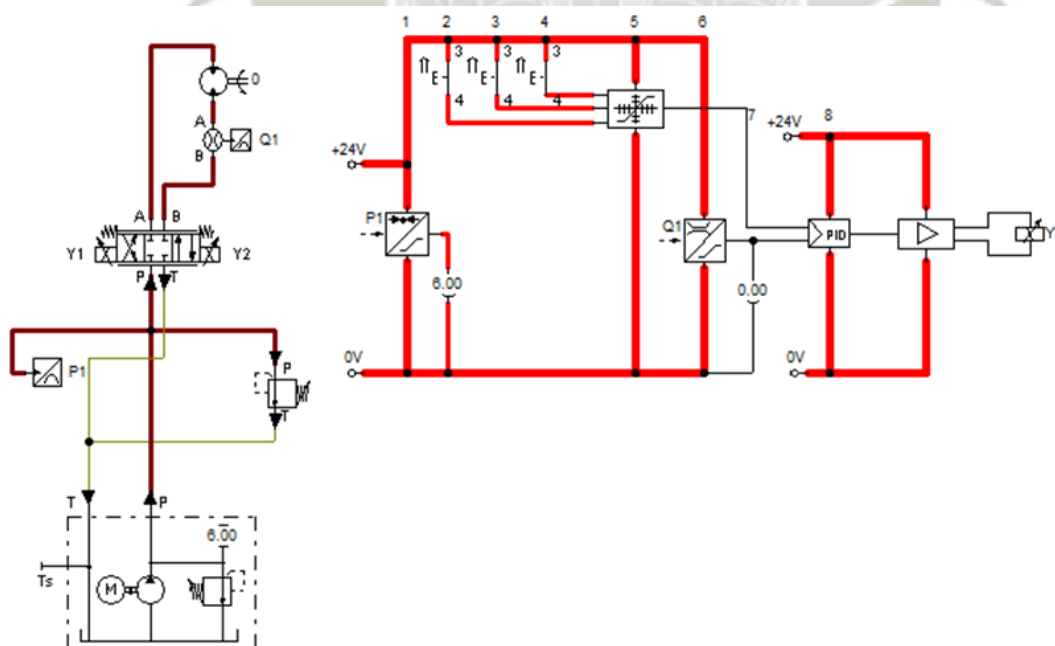


Figura Nro. 122. Accionamiento de 3 pulsadores tarjeta punto consigna. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17		
	CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N° 1	
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon			
		Valdivia Torres, Carlos Alonso			

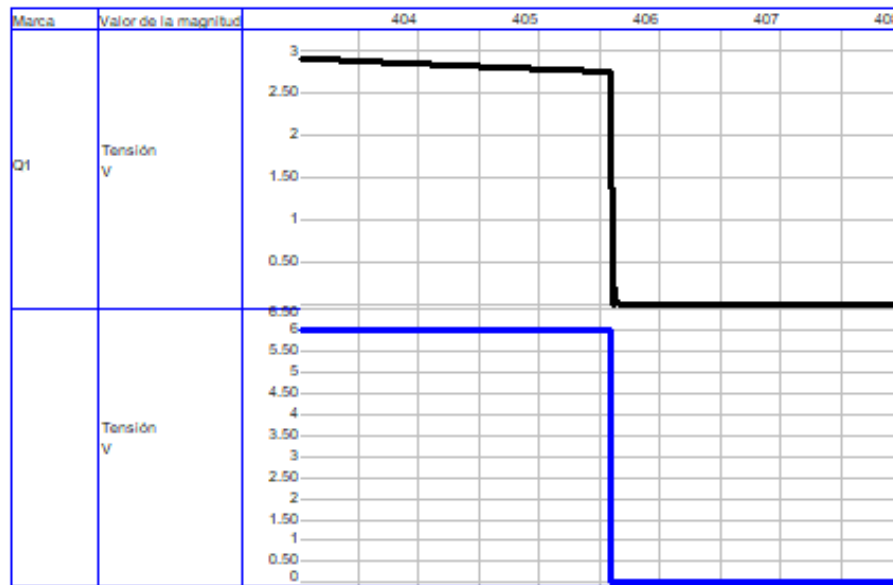


Figura Nro. 123. Tensión de sistema con 3 pulsadores activados Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

Según los valores vistos en la tarjeta punto consigna el valor asignado como W1 es cero por lo que se ve que cuando se pulsa el pulsador 1 el voltaje de salida es igual a cero voltios.

Después de verificar los valores de la tarjeta punto consigna pasaremos a los valores de la tarjeta PID

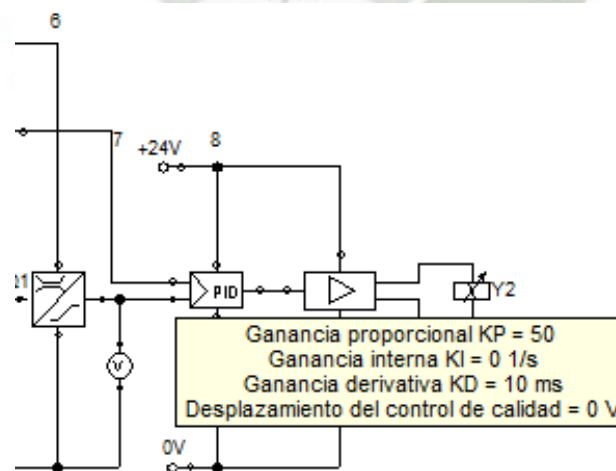


Figura Nro. 124. Valores de tarjeta PID Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

	Universidad Católica de Santa María	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS PID PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA EPIMMEM DE LA UCSM	Fecha de la Prueba: 16/10/17	
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR HIDRÁULICO CON TARJETAS ELECTRONICAS			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Morales Vila, Fredy Jhon		
		Valdivia Torres, Carlos Alonso		

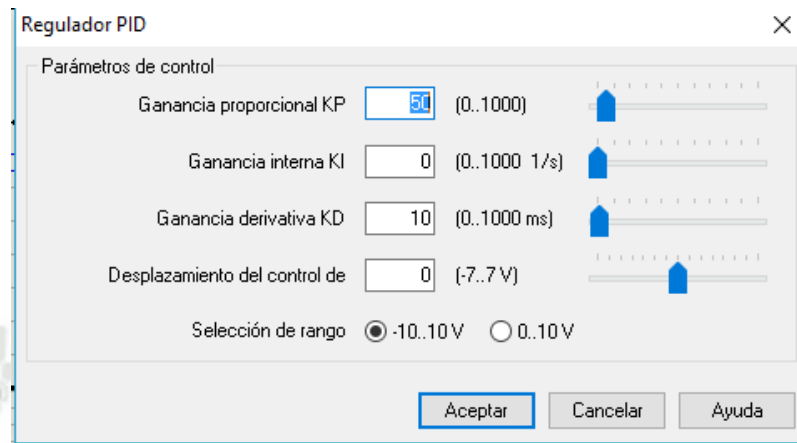


Figura Nro. 125. Modificación de valores tarjeta PID Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

Después de realizar la regulación de los valores K_p (ganancia proporcional), K_i (ganancia integrativa) y K_d (Ganancia derivativa) se tiene un sistema sintonizado completamente

J. OSCILOSCOPIO.

Con ayuda del osciloscopio en todo momento estamos haciendo lectura de 2 valores muy importantes, en el canal 2 está conectado el sensor y en el canal 1 está conectado a la salida del set point.

Entonces lo que vamos a visualizar en el osciloscopio es ver el comportamiento del Set Point versus la variable del proceso, que es el caudal que nos entrega el sensor y así también poder ver a distintas sintonizaciones de nuestro PID como es que responde los picos, sobre picos, tiempo de respuesta, tiempo de estabilización, si es que es una respuesta amortiguada, sobre amortiguada.



Figura Nro. 126. Comportamiento de curvas set point versus caudal. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

4.2. SINTONIZACION

La sintonización de los controladores Proporcional – Integral – Derivativo o simplemente controladores PID, consiste en la determinación del ajuste de sus parámetros (K_c , T_i , T_d), para lograr un comportamiento del sistema de control aceptable y robusto de conformidad con algún criterio de desempeño establecido. Para poder realizar la sintonización de los controladores, primero debe identificarse la dinámica del proceso, y a partir de ésta determinar los parámetros del controlador utilizando el método de sintonización seleccionado. Antes de revisar algunas de las técnicas de sintonización disponibles, se establecerán los diferentes tipos de funcionamiento que pueden presentarse en un lazo de control realimentado, en el cual hay dos entradas -el valor deseado $r(t)$ y la perturbación $z(t)$ -y una salida -la señal realimentada $y(t)$. Si se considera las variables en el dominio de la variable compleja s y se define $G_c(s)$ y $G_p(s)$ como las funciones de transferencia del controlador y de la planta respectivamente, a partir del diagrama de bloques del sistema de control de lazo cerrado, se obtiene que la señal realimentada, representación de la variable controlada.

En el siguiente grafico se ve el comportamiento de la sintonización de un sistema

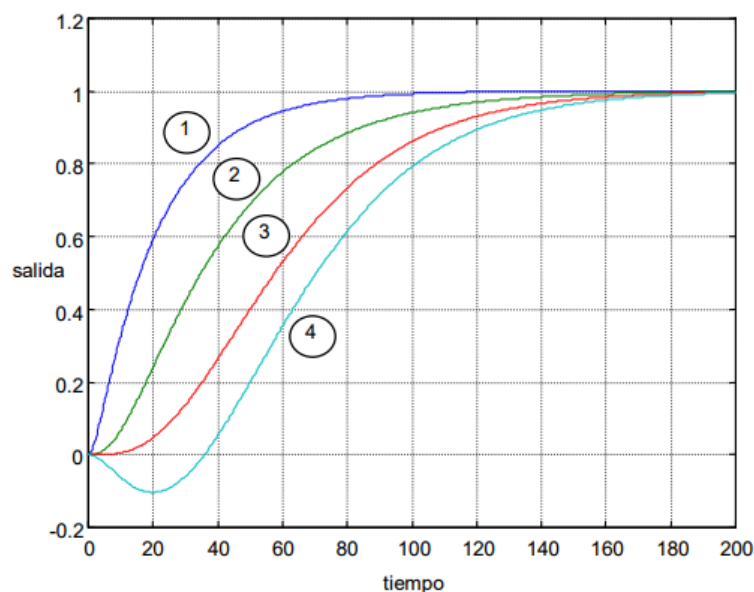


Figura Nro. 127. Sintonización de un sistema PID Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

¿Qué se entiende por ajuste (sintonía)?

Determinación de los parámetros de control, de acuerdo con algún conjunto de especificaciones (criterio de sintonía).

¿Cuándo es necesaria la sintonía?

En la puesta en marcha de un sistema de control (1ª sintonía o presintonía presintonía).

Cuando el usuario observa un deterioro del comportamiento del sistema de (supervisión + sintonía).

¿Por qué es difícil el ajuste?

Dado el conjunto de especificaciones, es posible que:

- 1) Exista un único juego de parámetros de control tal que se cumplan estas especificaciones (Caso más favorable)
- 2) Existan varios juegos de parámetros de control tal que se cumplan estas especificaciones (¿Cuál es el mejor?)
- 3) No exista un juego de parámetros de control tal que se cumplan estas especificaciones (Caso peor)

4.2.1. ESTIMACION EN LAZO CERRADO

La mayoría de los procesos pueden oscilar de forma mantenida oscilar de forma mantenida bajo control proporcional con una ganancia adecuada:

- Ganancia crítica (K_c)
- Período de oscilación mantenida (t_c)

4.2.2. METODO DE LA OSCILACIÓN MANTENIDA (ZIEGLER Y NICHOLS, 1942)

El método Ziegler y Nichols se basa en:

- Control proporcional.
- Provocar salto en la variable de consigna.
- Aumentar o disminuir la ganancia proporcional hasta que se observe la oscilación mantenida en la salida (variable controlada).
- Anotar la ganancia proporcional como K_c y el período de la y el período de la oscilación mantenida como t_c .

4.2.3. CRITERIOS DE SINTONIA

Tres tipos de criterios, basados en:

- Características de la respuesta temporal
- Integrales de la señal de error
- Características de la respuesta en frecuencia.

4.3. RESULTADOS DE VELOCIDAD DE MOTOR

Haciendo las pruebas con el sensor del motor se tendrá el siguiente cuadro:

P (bar)	I (A)	Q (lt/min)
50	0.6	0.6
45	3.15	3.15
40	4.6	4.6
35	4.66	4.66
30	4.67	4.67
25	4.68	4.68
20	4.69	4.69
15	4.7	4.7

Tabla Nro. 5. Valores de corriente versus caudal. Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

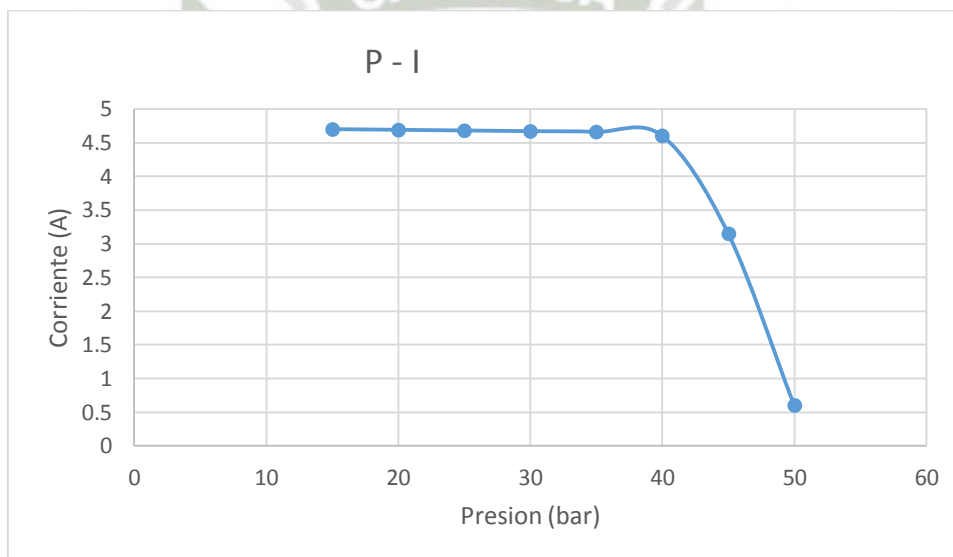


Figura Nro. 128. Curva del sistema P - I Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

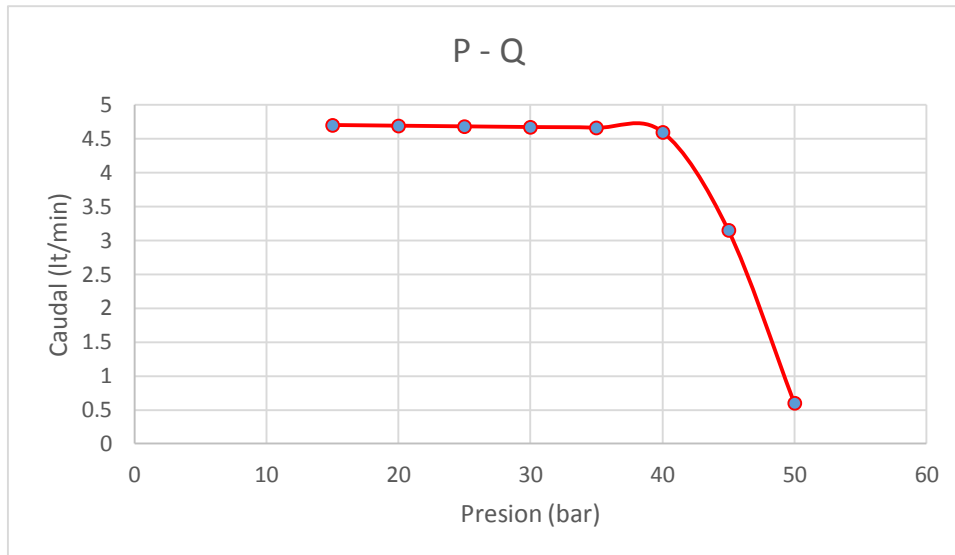


Figura Nro. 129. Curva del sistema P - Q Fuente: Elaboración Propia (2017). Autores: Fredy Morales; Carlos Valdivia

4.4. CONCLUSIONES

- Se logró implementar el Control de Velocidad del Motor Hidráulico gracias al uso de la Tarjeta PID según la sintonización se obtuvieron los valores $K_p=50$, $K_i=0$ y $K_d=10$.
- Se trató la base teórica de control.
- Se trató la base teórica de control hidráulico con los conocimientos adquiridos en el transcurso de la realización de la tesis.
- Se implementó el bloque de control del motor hidráulico mediante el uso de la tarjeta PID.
- Se logró sintonizar el sistema de control utilizado en el proceso.
- Se realizaron distintas pruebas y pudieron conocer el comportamiento del circuito en la parte Proporcional, Integral y Derivativa.
- Se realizó la guía de práctica indicando el uso de la tarjeta PID.

4.5. RECOMENDACIONES

- Antes de empezar a usar el módulo se recomienda leer el manual de operación de cada componente que conforman los sistemas a fin de evitar problemas y/o daños materiales.
- La conexión de mangueras hidráulicas a veces se dificulta por estar obstruidas con fluido en sus acoples, se recomienda hacer purga del fluido usando la herramienta adecuada.
- Se recomienda verificar los cables eléctricos que estén en buen estado, ya que un defecto de ellos puede generar el no funcionamiento del sistema y tener que verificar nuevamente punto a punto de conexión.
- Se recomienda revisar los niveles de fluido y presión de la unidad hidráulica a fin de no dañar sus elementos internos por falta de lubricación.
- Se recomienda fijar correctamente todos los componentes y así evitar caídas y posibles daños a los equipos.
- Se recomienda siempre validar información que se consulte en la WEB con la data de los manuales originales de la marca, en este caso FESTO.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anaya, M., Benítez, V., Pacheco, J. y Montaña, F. (2014). Diseño de Controladores P, PI y PID para el Comportamiento Dinámico de un Servo Sistema Hidráulico, basado en Desarrollo Experimental. EPISTEMUS 16(8), págs.13-21.
- Almandóiz, A., Mongelos, B., Pellejero, I. (2007). *Sistemas Neumáticos y Oleohidráulicos*. Bilbao, España: Repositorio de la Universidad del País Vasco.
- Cañón, J. (2007). *Diseño detallado de Banco Didáctico del Sistema Hidráulico del Helicóptero Bell 212 /412 (Tesis de Título Profesional)*. Universidad de San Buenaventura, Bogotá, Colombia.
- Cengel, Y., Cimbala, J. (2006). *Mecánica de Fluidos, Fundamentos y Aplicaciones*. México DF, México: McGrall-Hill Interamericana.
- Creus, A. (2007). *Neumática e Hidráulica*. Madrid, España: Editorial Marcombo.
- Cruz, D. y Proaño, S.(2009). *Diseño, programación y construcción del control de un sistema hidráulico de nivel empleando un autómata programable (PLC) cumpliendo con la norma IEC 1131 (Tesis de Título Profesional)*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Díaz, E y Saldaña, P. (2011). *Propuesta del Sistema de Control para una Máquina de Inyección de Plástico (Tesis de Título Profesional)*. Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México.
- Dorf, R. y Bishop, R. (2005). *Sistemas de Control Moderno* .Madrid, España: Pearson Education.
- Festo (1996). *Manual de Hidráulica Proporcional*. México DF, México: Festo Didactic.
- Gil, L. y Rincón, J. (2014). *Control PID para el Control de Velocidad de un Motor DC (Tesis de Título Profesional)*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

- Giles, R. (2005). *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica*. Madrid, España: McGrall-Hill Interamericana.
- Jaén. y Alarcón. (2009). *Rediseño e Implementación de un Proceso Electro-Hidráulico, usado en el Laboratorio de Control Automático de la ESPOL, para controlar Velocidad y Presión mediante Matlab-Simulink y/o Labview* (Tesis de Título Profesional). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Jaime, A. y Hernández.(2008). *Control PID de la Velocidad de una Banda transportadora para la Clasificación de Objetos* (Tesis de Título Profesional).Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México.
- Jardon, A., Marini, S., Oliva, A. (2016). *Hidrostatica e Hidrodinámica*. Rosario, Argentina: Repositorio de la Universidad Nacional de Rosario.
- Kuo, B. (1996). *Sistemas de Control Automático*. Mexico D.C., México: Prentice Hall
- Loli, J. (2012) *Modelación y Simulación de un Actuador Hidráulico para un Simulador de Marcha Normal* (Tesis de Título Profesional). Pontificia Universidad Católica de Perú, Lima, Perú.
- Mandado, E., Acevedo, J. Fernández, C. (2009). *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*. Barcelona, España: Marcombo.
- Mejía, L., Monroy, M., Díaz, A., Henao, E. y Hoyos, M. (2003). *Modelado y Simulación del Control de Velocidad de un Motor Hidráulico*. Scientia et Technica 9(22), págs.1-3.
- Meneses, J.(2006). *Diseño, programación y construcción del control de un sistema hidráulico de nivel empleando un autómata programable (PLC) cumpliendo con la norma IEC 1131*(Tesis de Título Profesional).Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca de Soto, México.
- Merriam Webster. (1828). *Diccionario*. Massachusetts, Estados Unidos: Merriam -Webster Inc.

- Morales, L. (2007) .*Diseño de Control Automático del Proceso de Producción de Tortillas de Harina* (Tesis de Título Profesional).Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Noriega, M. (2011). *Implementación de un Sistema de Control Digital de la Velocidad de un Motor DC utilizando Redes Inalámbricas*. (Tesis de Título Profesional). Pontificia Universidad Católica de Perú, Lima, Perú.
- Ogata, K. (2010).*Ingeniería de Control Moderna*. Madrid, España: Pearson Education.
- Ordoñez, F. (2014). *Diseño de una Maquina para Flushing y Microfiltrado de Sistemas Hidráulicos* (Tesis de Título Profesional). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Quispe, H. (2008). *Diseño del Sistema de Transmisión de Potencia Hidráulica de un Alimentador de Mineral de 150 HP* (Tesis de Título Profesional). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Roca, F. (1998). *Oleohidráulica Básica y Diseño de Circuitos*. Catalunya, España: Ediciones UPC.
- Serrano, A. (2002).*Oleohidráulica*. Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana.
- Shames, I. (1995). *Oleohidráulica*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.
- Siles, F. y Chacca, E. (2012) *Diseño e Implementación de un Módulo de Control de Cauda Controlado por PLC y Supervisión de Proceso mediante Scada* (Tesis de Título Profesional).Universidad Católica de Santa María , Arequipa, Perú.
- Sotelo, G. (1997). *Hidráulica General*. México DF, México: Editorial Limusa.
- Vickers. (2007). *Manual de Oleohidráulica Industrial*. México DF, México: Editorial Blume S.A.

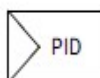


ANEXOS



162254

PID controller



Design

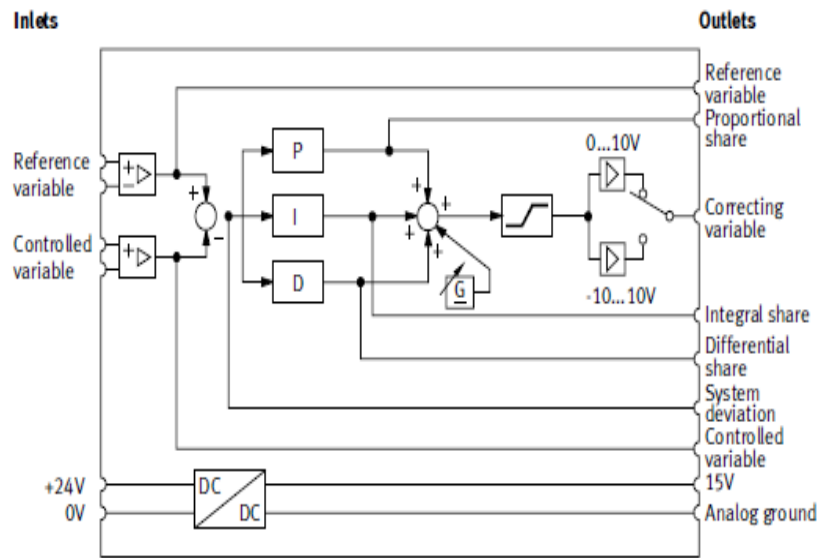
The PID controller is made up of the following function areas:

- Power supply
- Differential inputs
- Comparator
- Controller components: Proportional component, Integral component, Differential component
- Correcting variable offset
- Summation point
- Limiter
- Output



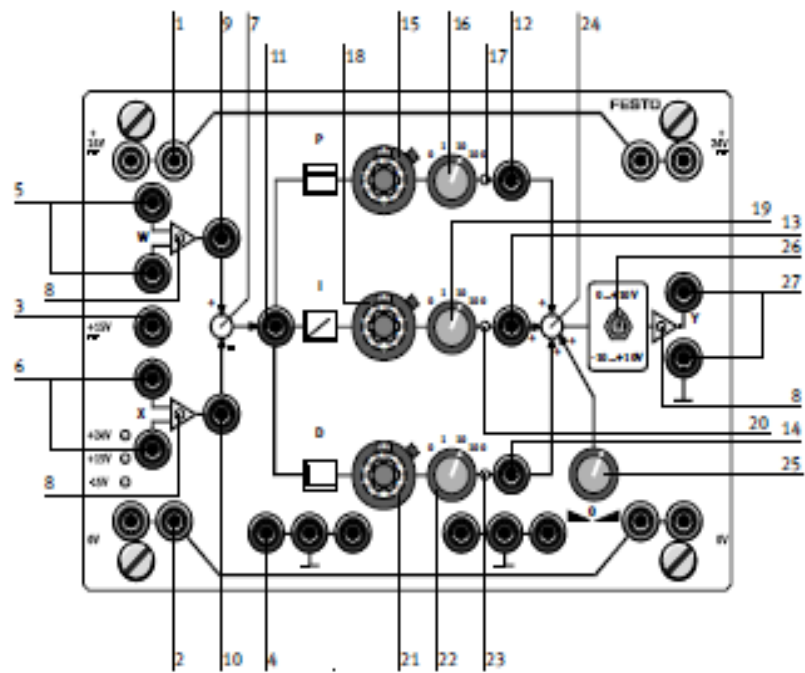
Function

This PID controller can be used, among other things, as a controller for closed-loop pneumatic and hydraulic control circuits.



Representation in circuit diagram





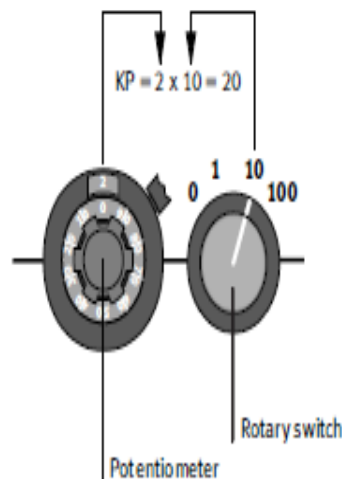
Key to operator facilities

- | | |
|----|---|
| 1 | Power supply + 24 V |
| 2 | Power supply ground 0 V |
| 3 | Sensor power supply + 15 V |
| 4 | Sensor ground or analogue ground |
| 5 | Differential setpoint input |
| 6 | Differential actual-value input |
| 7 | Comparator |
| 8 | Overmodulation indicator |
| 9 | Test socket Setpoint |
| 10 | Test socket Actual value |
| 11 | Test socket System deviation |
| 12 | Test socket Proportional gain |
| 13 | Test socket Integral gain |
| 14 | Test socket Differential gain |
| 15 | Rotary potentiometer P component |
| 16 | Rotary switch P component |
| 17 | Power-on indicator P component |
| 18 | Rotary potentiometer I component |
| 19 | Rotary switch I component |
| 20 | Power-on indicator I component |
| 21 | Rotary potentiometer D component |
| 22 | Rotary switch D component |
| 23 | Power-on indicator D component |
| 24 | Summation point |
| 25 | Rotary potentiometer for correcting variable offset |
| 26 | Range selector switch |
| 27 | Correcting variable output |


Power supply	The PID controller requires a power supply of 24 V. This voltage is converted internally to +/- 15 V and fed to the controller electronics. The voltages are electrically isolated from each other, i.e. the controller card has two zero potentials (analogue ground and power-supply ground (0V)).
Note	The analogue ground and power-supply ground should never be connected together, since this may cause interference to signals. The 15 V should be used in conjunction with the analogue ground as the power supply for sensors in order to ensure that noise signals are kept to a minimum.
Differential inputs	A differential input is provided in each case on the PID controller for the setpoint and actual-value signals. The differential signal can be measured against analogue ground. The differential inputs are fitted with low-pass filters to suppress interference. Overmodulation of below -10 V or above +10 V is indicated by LEDs.
Comparator	The comparator is connected in series with the signal inputs and calculates the system deviation between the setpoint and actual value.
Controller components	The three controller components (P, I and D components) can be switched on and off separately, allowing different combinations to be used. The individual controller parameters are adjusted with the aid of potentiometers and rotary switches.
Correcting variable offset	The correcting variable offset can be used to impose constant voltages on the control signal in order, for example, to compensate for the zero-point shift of actuators.
Correcting-variable limiter	The correcting-variable limiter converts the controller signals to the working range required by the actuators. Any overmodulation of the output signal is indicated by an LED.
Output	The correcting variable can be tapped against analogue ground at the output.
Test sockets	Various test sockets allow signal voltages to be measured against analogue ground.

Setting the coefficients

The coefficients K_P , K_I and K_D of the controller components are the product of the values set on the rotary potentiometer and rotary switch.

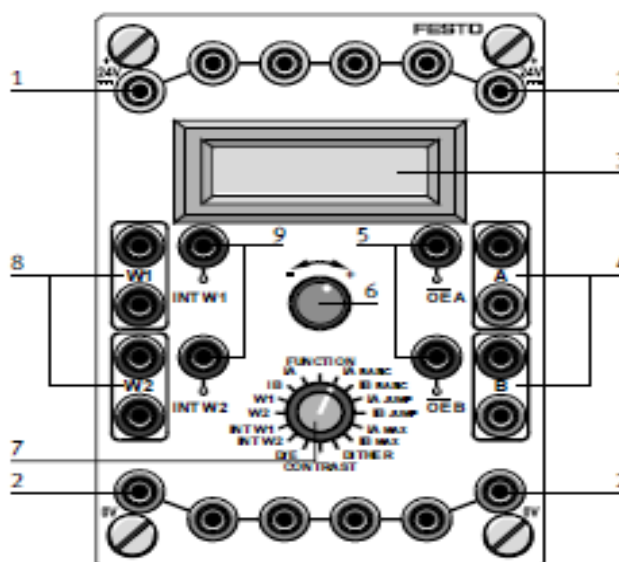


Technical data

Electrical	
Power supply	24 V DC +/-10 %
Overmodulation indicator	$-10 > U_e > +10$ V
Input voltage range	-13 V – +13 V
Position coefficient K_x	0 – 10
Speed coefficient $K_{\dot{x}}$	0 – 100 ms
Acceleration coefficient $K_{\ddot{x}}$	0 – 10 ms ²
Overall gain P	0 – 1000
Output voltage limitation	[0 V – +10 V] [-10 V – +10 V]
Correcting variable offset	5 V ±3,5 V bei [0 V – +10 V] 0 V ±7 V bei [-10 V – +10 V]
Connection	for 4 mm safety connector plug
Electromagnetic compatibility	
Emitted interference	tested to EN 500 81-1
Noise immunity	tested to EN 500 81-1

ANEXO 2

TARJETA AMPLIFICADORA



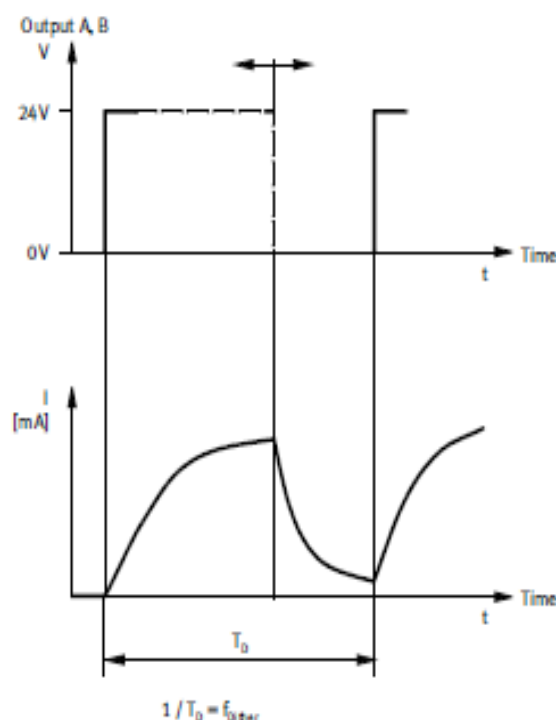
Control elements

- 1 Supply voltage +24 V DC
- 2 Supply voltage 0V
- 3 Display
- 4 Outputs A and B
- 5 Release of outputs A and B (output enable)
- 6 Rotary knob
- 7 Selector switch
- 8 Inputs for external setpoint values
- 9 Internal setpoint values

Design The card of the proportional amplifier is housed inside a small electronic unit. The electrical connections are effected in the form of 4 mm safety connectors. The unit is mounted in the cabinet frame of the laboratory workstation or on the profile plate by means of four plug-in adapters

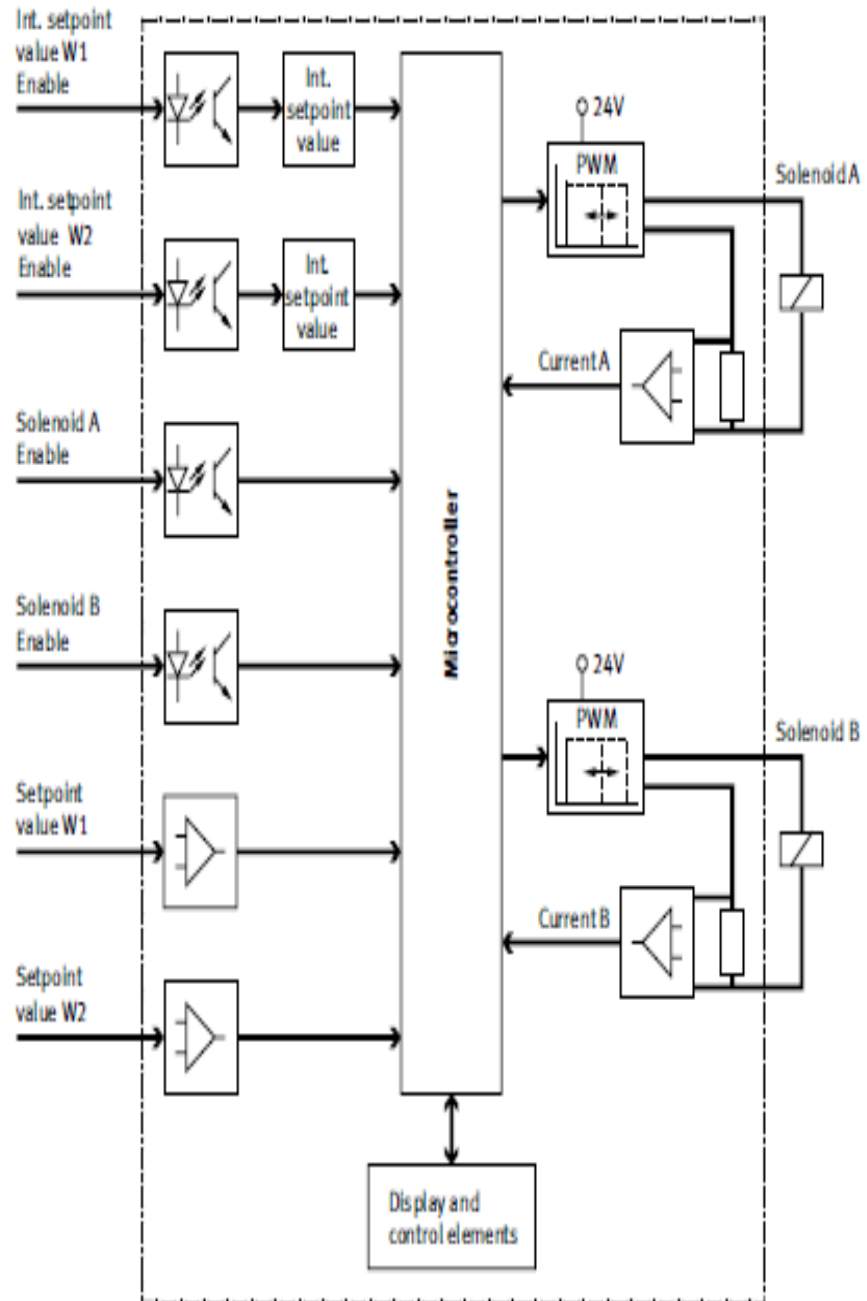
Function The amplifier card is used for the actuation of proportional valves. The amplifier is designed in such a way that either two independent solenoids (1-channel) or one valve with two solenoids (2-channel), e.g. a 4/3-way proportional valve, can be actuated. The card operates optionally either in the same way as two 1-channel amplifiers or as a 2-channel amplifier.

For this purpose, setpoint values (voltage signals) are converted into the magnetizing current required for the proportional valves. This task is performed by two pulse-width modulated end stages. The function of the end stages may be compared to that of a switch. This is switched on for a period and switched off for a period. The sum total of the two periods remains the same. The ratio between On and Off is changed in relation to the setpoint value. The switch can remain switched on from zero time for the entire period. The longer the switch is set at On, the longer a current passes through the proportional solenoid. In the solenoid, the current rises according to the charge curve of a coil up to the maximum of the value specified by the voltage applied and the ohmic resistance, or limited by the time-related end. When switched to Off, the current drops according to the discharge curve. This results in a current pattern similar to a saw tooth.



Current flow

Since the resistance of the proportional solenoid coil changes with the temperature, the current is controlled. To do this, the current is conducted via a very small ohmic resistor. The voltage drop via this resistor is conducted toward the current controller. The end stages are fitted with an automatic fuse against overload.



Block diagram

Settings

All inputs are made via a selector switch and a rotary knob at the front of the card. Storage is effected by further switching of the selector switch. The variable data is shown on the display and secured against power failure.

FUNCTION	Two 1-channel amplifiers or one 2-channel amplifier
IA BASIC, IB BASIC	Basic current for output A, B
IA JUMP, IB JUMP	Jump current for output A, B
IA MAX, IB MAX	Maximum current for output A, B
DITHERFREQ.	Dither frequency
CONTRAST	Display contrast
D/E	Language options: German, English
INT W1, INT W2	Internal setpoint value W1, W2
W1, W2	Displays of external setpoint value W1, W2
IA, IB	Displays of magnetizing current at output A, B

The setpoint values can be specified externally or internally. The internal setpoint values are activated via the inputs INT W1 and INT W2. The active status is displayed via the LEDs next to the inputs.

Magnetizing current

There are three different magnetizing currents. The basic current, the jump current and the current dependent on the setpoint value.

The basic current is dependent on the setting at I Basic and not on the setpoint value.

The jump current is dependent on the polarity of the setpoint value. As far as the 2-channel amplifier is concerned, this means that a change of the positive setpoint value at output A leads to an abrupt rise in the current by the value set. Accordingly, a change to negative setpoint values leads to a jump current to channel B. The level of the setpoint value does not have any effect on the value of the jump current. The correlation between setpoint value and magnetizing current depends on a number of factors. These factors are the maximum current I Max, the quiescent current I Basic, jump current I Jump and setpoint value.

The value of I Max refers to a setpoint value of 10 V. If no basic current and jump current is set, the amplification (V) is at:

$$V = \frac{\text{Value of I Max}}{10V}$$

Example

I Max = 800 mA

$$V = \frac{800 \text{ mA}}{10V} = 80 \text{ mA/V}$$

If a jump current or also a basic current is set, the amplification (V) is reduced. However, the maximum current remains at the value set with I Max.

$$V = \frac{(I \text{ Max} - I \text{ Basic} - I \text{ Jump})}{10V}$$

Example

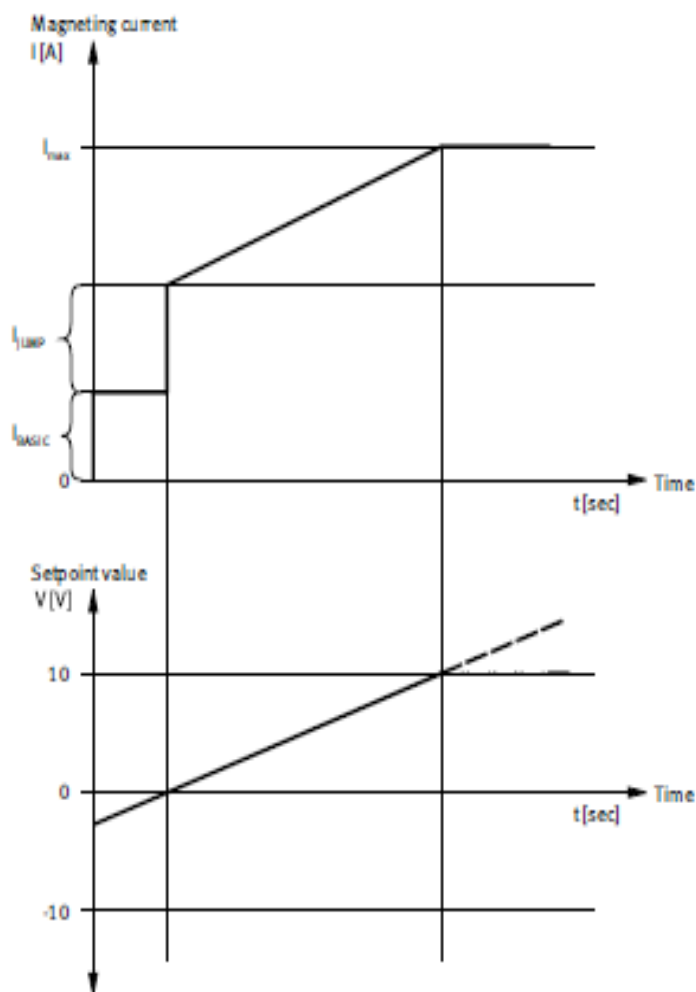
I Basic = 100 mA

I Jump = 200 mA

I Max = 800 mA

$$V = \frac{(800 \text{ mA} - 100 \text{ mA} - 200 \text{ mA})}{10V} = \frac{500 \text{ mA}}{10V} = 50 \text{ mA/V}$$

Since the quiescent current and the jump current does not have to be set identically on both channels, this may result in a different amplification for channel A and channel B.



Magnetizing current settings

In addition, an enable may be switched via two PLC inputs. One enable signal each is available for the solenoid output A and B. One output is closed, if 24 V DC is applied at input OE A or OE B. The status is displayed via the LEDs next to the inputs.

Dither

In order to overcome the static friction of the valve spool, a frequency signal is superimposed on the magnetizing current. This is known as dither. This frequency is known at the same time as a pulse frequency for the end stages. The effect of the dither is greater with small frequencies. The choice of frequency is dependent on the hysteresis of the actuated valve and actuator and the acoustic interference. The set frequency applies to both solenoid outputs.


Setpoint specification

Setpoint values can be specified externally via two inputs or internally. If 24 V DC is applied to a control input INT W1 or INT W2, the internally set setpoint value applies and the LED is illuminated. The following applies for setpoint values W1 and W2:

1- channel-amplifier: Setpoint value W1, 0 – +10 V Output A
 Setpoint value W2, 0 – +10 V Output B

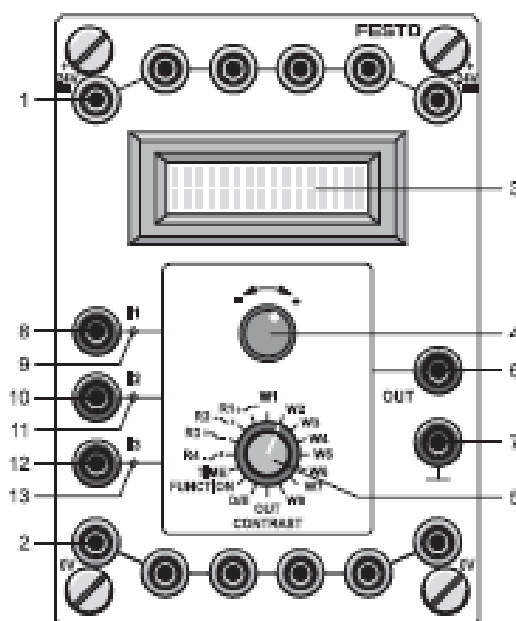
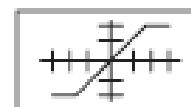
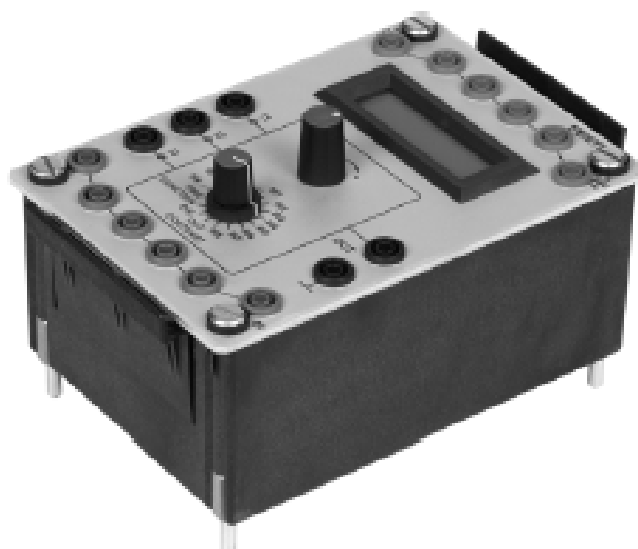
2- channel-amplifier: Setpoint value W1, 0 – +10 V Output A
 Setpoint value W1, 0 – -10 V Output B
 Setpoint value W2 is not taken into consideration

Technical data

Electrical	
Supply voltage	24 V DC ±10 V, Residual ripple < 10 %
Setpoint values	±10 V DC, in steps of 100 mV
Switching signal for internal setpoint values	15 – 30 VDC
Solenoid outputs	PWM signal, 24 V, maximal 1 A
Enabling switching signal	15 – 30 VDC
Basic current	0 – 250 mA, in steps of 1 mA
Jump current	0 – 250 mA, in steps of 1 mA
Maximum current	100 mA – 1 A, in steps of 5 mA
Dither frequency	100 – 250 Hz, in steps of 1 Hz
Connections	For 4 mm safety connector plug
Electromagnetic compatibility	
Emitted interference	tested to EN 500 81-1
Noise immunity	tested to EN 500 82-1

ANEXO 3

TARJETA PUNTO CONSIGNA



Front view

Control elements

- | | | | |
|---|------------------------|----|--------------------------|
| 1 | Supply voltage: 24 VDC | 8 | External binary input I1 |
| 2 | Supply voltage: 0 VDC | 9 | LED |
| 3 | Display | 10 | External binary input I2 |
| 4 | Turning knob | 11 | LED I2 |
| 5 | Selector switch | 12 | External binary input I3 |
| 6 | Setpoint signal + | 13 | LED I3 |
| 7 | Setpoint signal - | | |

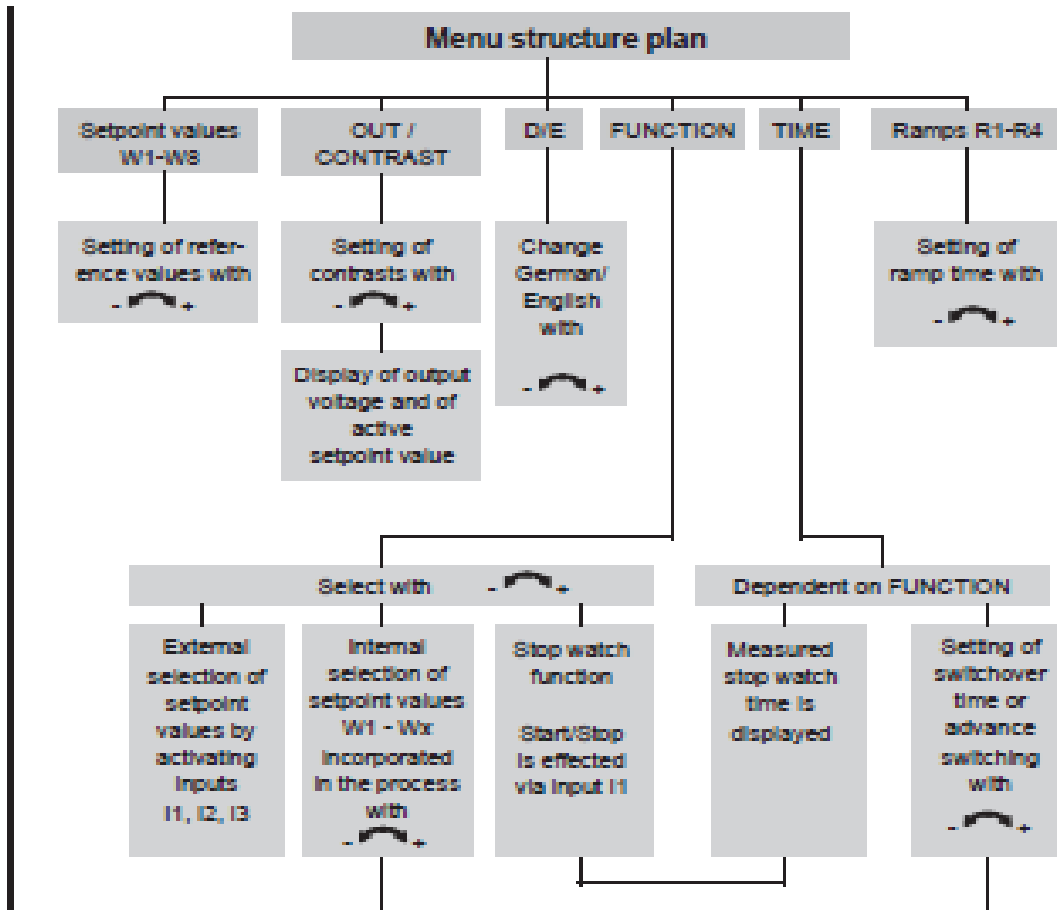
Design

The setpoint value card is housed inside a small ER unit. The signals and voltages can be accessed via 4 mm safety connectors. The unit is mounted in the cabinet frame of the laboratory workstation or on the profile plate by means of four plug-in adapters.

Function

The functions of the setpoint value card are as follows:

- programmable setpoint value generation
- programmable ramp generation
- cyclical sequence of setpoint values and ramps
- Stop watch



Storing

The set values are stored by means of further detenting of the selector switch.

Stop watch

The stop watch function is selected via the menu item "FUNCTION". The measured time is displayed under the menu item "TIME". The stop watch is started and stopped by means of setting at Input I1. The maximum measuring time is 100 hours.

Setpoint values

Up to 8 setpoint values can be set between the voltage range of -10 V to +10 V. These can be activated internally or externally.

Internal activation is effected sequentially within the adjustable reversing time (0.01...50 sec.). The reversing time is identical for all setpoint values. The external control inputs I1, I2 and I3 are inactive.

With switchover times of less than 0.01 sec. or more than 50.0 sec., the operating mode "Advance switching setpoint values" is selected, where the internally selected setpoint values W1...Wx are continually advanced, once the activated setpoint value has reached its value.

Bit table of Inputs			
I3	I2	I1	Setpoint value
0	0	0	W1
0	0	1	W2
0	1	0	W3
0	1	1	W4
1	0	0	W5
1	0	1	W6
1	1	0	W7
1	1	1	W8

Bit table

External activation is effected in any order according to the bit table via activation of the Inputs I1, I2 and I3. The internal reversing time is inactive.

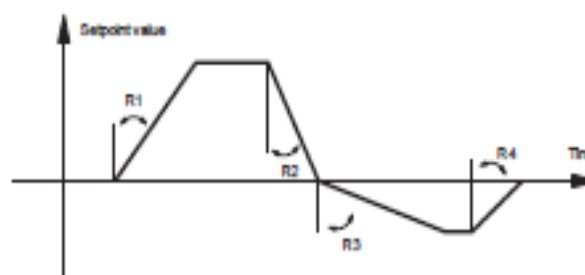
Ramps

The ramps are set as slope parameters (seconds / Volt), i.e.:

- low ramp value = large slope
- high ramp value = small slope

The ramps in the quadrants of the cartesian coordinate system are defined as follows:

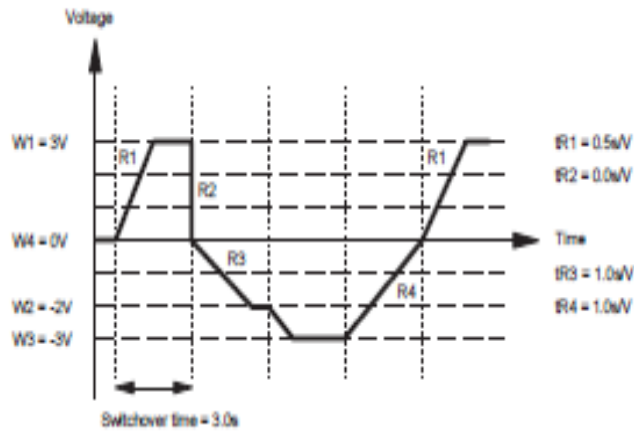
1. Quadrant: positive slope of 0 V
2. Quadrant: negative slope up to 0 V
3. Quadrant: negative slope of 0 V
4. Quadrant: positive slope up to 0 V



Supply voltage	24 V DC +/- 10%
Number of setpoint values	8
Output voltage range	-10V...+10V Tol. ± 5 mV (adjustable in steps of 0.1 V)
Number of ramps	4
Ramp times	0...10.0 s / 1V (adjustable in steps of 50 ms / 1V)
Activating voltage of inputs	min. 15 V
Output rate	1 kHz
Stop watch	Input I1 Measuring time 0...100 Std.
Connections	For 4 mm safety connector plug
Electromagnetic compatibility	
Emitted interference	tested to EN 500 81-1
Noise Immunity	tested to EN 500 82-1
Subject to change	



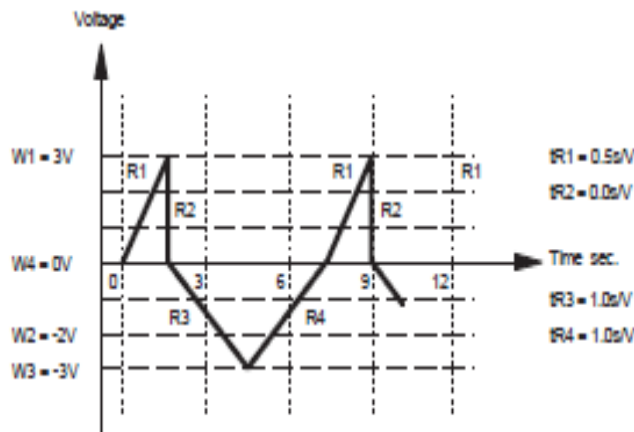
Technical data



Example 1

Settings at setpoint value card:

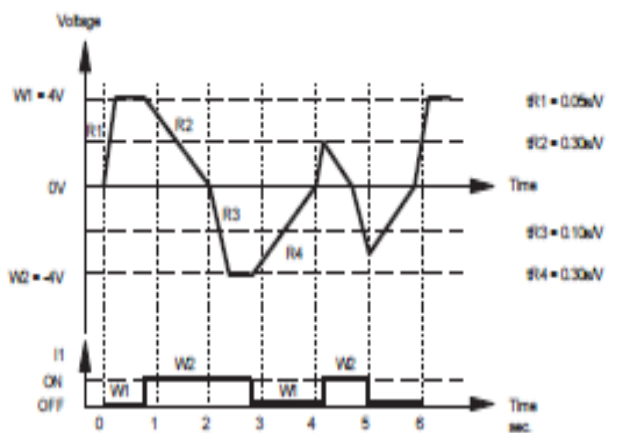
Function: Internal selection
 Setpoint values 1-4
 Time: Switchover time $t = 3.0s$
 Ramp times: $tR1 = 0.5s/V$
 $tR2 = 0.0s/V$
 $tR3 = 1.0s/V$
 $tR4 = 1.0s/V$
 Setpoint values: $W1 = 3.0V$
 $W2 = -2.0V$
 $W3 = -3.0V$
 $W4 = 0.0V$



Example 2

Settings at setpoint value card:

Time: Advance switching setpoint values
 All other settings identical to example 1.



Example 3

External activation via input I1

Function: Select setpoint values with I1, I2, I3
 Ramp times: $tR1 = 0.05s/V$
 $tR2 = 0.30s/V$
 $tR3 = 0.10s/V$
 $tR4 = 0.30s/V$
 Setpoint values: $W1 = 4.0V$
 $W2 = -4.0V$