

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y
Mecatrónica**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE POSICIÓN
NEUMÁTICA DE UNA CARGA REFERENCIAL DE 5KG MEDIANTE UN
ACTUADOR LINEAL Y TARJETAS PID APLICADO AL LABORATORIO
DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN”**

Tesis Presentada por los bachilleres:

Basurco Valer, Diego Alvaro

Orihuela Quispe, Uziel Disón

Para optar el Título Profesional de Ingeniero
Mecatrónico

Asesores:

Ing. Quispe Ccachuco, Marcelo

Ing. Mestas Ramos, Sergio

AREQUIPA - PERÚ

2019



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

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

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE
POSICION NEUMATICA DE UNA CARGA REFERENCIAL DE 5KG
MEDIANTE UN ACTUADOR LINEAL Y TARJETAS PID APLICADO
AL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACION”**

Presentado por el Bachiller:

ORIHUELA QUISPE, Uziel Dison

BASURCO VALER, Diego Alvaro

Nuestro **DICTAMEN** es:

FAVORABLE

OBSERVACIONES: NINGUNA

Arequipa, 23 de enero del 2019


ING. MARCELO QUISPE CCACHUCO


ING. SERGIO MESTAS RAMOS

DEDICATORIA

“Esta tesis la dedico a la memoria de mi abuela Carmen, porque siempre fue su deseo que logre este paso en mi vida, También agradezco a Dios, a mis Padres y a mi tío Benjamín por su apoyo constante que sin ellos no estaría aquí.”

Diego Alvaro Basurco Valer

“Esta tesis la dedico a dios, a Timoteo y Angelica mis padres, que siempre me guiaron y apoyaron en toda mi carrera académica hasta ahora. También agradezco a mis hermanos Banher y Yanet por su apoyo incondicional, que pese a todas las complicaciones que tuve siempre estuvieron ahí y que sin ellos no estaría aquí.”

Uziel Dison Orihuela Quispe

RESUMEN

Actualmente, en la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica – Eléctrica y Mecatrónica se llevan cursos de control y automatización en su mayoría de manera teórica, el conocimiento teórico requiere una experimentación práctica. Por ello el presente trabajo propone la implementación un módulo educativo neumático, que sea práctico y permita la experimentación del alumnado.

El objetivo es emular un proceso industrial donde se requiere controlar la posición de un actuador neumático por ello se evaluó alternativas que permitan la implementación de un actuador controlado por una electro-válvula proporcional, una tarjeta PID retroalimentada con un sensor de posición lineal y una carga de cinco kilogramos. Para la sintonización del sistema se probaron cinco métodos heurísticos (Ziegler – Nichols método 1 y 2, Cohen y Coon, Gonzales y AMIGO), un método empírico (sintonización Manual) y la respuesta de la planta sin control; para la visualización y comparación de los resultados se utilizó un osciloscopio de marca Tektronix cuyos datos se compararon en la Plataforma MATLAB.

De la comparación técnica y económica de las alternativas se seleccionó la adquisición de la propuesta FESTO. A su vez de las respuestas recibidas en las pruebas de sintonización se realizó un contraste y bajo unos parámetros deseados para un sistema industrial se seleccionó como método de sintonización, al segundo método de Ziegler- Nichols el cual no presento sobre impulso, obtuvo un tiempo de retardo 0.168 segundos, un tiempo de establecimiento de 1.784 segundos y un error de estado estable de 1.6%.

Asimismo, de la experimentación realizada con el modulo implementado, se concluye que el sistema seleccionado permite la experimentación práctica de la teoría del control.

Palabras-Clave: Neumática, Sintonización, PID, Posición, Sistema Educativo.

ABSTRACT

Currently, on the professional school of mechanics, mechanical electrical and mechatronics, automation and control subjects are mostly taught in theory, which also requires an experimental and practicing background. Therefore, the current work purposes to implement a learning pneumatic module, useful and practical to allow students to perform experiments. The target is to emulate an industrial process where the position of a pneumatic actuator is to be controlled, multiple options were evaluated in order to implement the actuator controlled by a proportional electro valve, a PID card with a linear position sensor feedback and a five-kilogram weight load. To achieve system tuning, five different heuristic methods were tested (Ziegler - Nichols methodology 1 and 2, Cohen and Coon, Gonzales and AMIGO), an empirical methodology (manual tuning) and the uncontrolled plant response; for the display and comparison of the results, a Tektronix oscilloscope was used, whose data were compared to the MATLAB platform. With the technical and economical comparison of the options, the acquisition of the Festo purpose was chosen. Likewise, the responses obtained from the tuning tests were used to perform a contrast, and under the wanted parameters for an industrial system, the Ziegler - Nichols tuning methodology was selected, which did not display an over impulse and obtained a delay of 0.168 seconds, a settlement time of 1.784 seconds and a stable state detour of 1.6%. From the experiments perfumed with the implemented module, it can be inferred that the selected system allows practicing and experimentation of the control theory.

Keywords: pneumatics, tuning, PID, position, learning system

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, debido al avance tecnológico y crecimiento exponencial que recibió la industria, se generó un claro aumento del uso de sistemas que brindan respuestas precisas, los cuales suelen ser controlados de forma automática. El presente trabajo se refiere a la implementación de un sistema de control neumático que emule a un sistema industrial con fines académicos.

Dado que el ámbito profesional requiere que su personal capacitado mantenga experiencia práctica en el control de plantas, se generó esta propuesta para apalancar los conocimientos teóricos obtenidos por el alumnado de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica – Eléctrica y Mecatrónica. Donde la característica principal de este proyecto es la habilitación de un módulo práctico que permita la experimentación del control, implementado en el laboratorio de Automatización y Control de la escuela.

Como causal de la presente investigación se tiene, al interés de la mejora profesional y la adaptación mediante la práctica; A su vez se consideró a la energía Neumática como la energía a controlar, por las características únicas que presentan los sistemas con dicha energía.

Teniendo en consideración las características de la Neumática como, su compresibilidad, velocidad de respuesta, facilidad de adquisición de aire comprimido se realizó una comparación entre equipos de diferentes marcas que puedan satisfacer la propuesta deseada, así como un peso de cinco kilogramos que genera una variable de error en el sistema debido a la compresibilidad del aire, de lo mencionado anteriormente se seleccionó para este proyecto los componentes de la marca FESTO. Entre las tecnologías para el control utilizadas frecuentemente en la industria se encuentra el Control PID (Proporcional, Integral y Derivativo), el cual cuando la dinámica de la planta lo permite es el que se encarga del control de los procesos, además este tipo de control permite realizar procedimientos de prueba - error para la sintonización de los parámetros que combinan las tres acciones P+D+I por métodos heurísticos o empíricos. Asimismo, se realizó en el presente trabajo un contraste de metodologías de sintonización heurísticas (Ziegler-Nichols sus dos métodos, Cohen y Coon, Gonzáles y el método AMIGO de Aström y Hägglund) y empíricas (Método Manual), con el objetivo de demostrar que la planta se presta para la experimentación de los métodos de control.

Normalmente la implementación del PID se da por medio de Autómatas Programables (PLC), enlace con un computador o como se seleccionó en este proyecto por medio de regulación independiente o Autómata Programable (Tarjeta PID).

Lo expuesto anteriormente establece los criterios de la implementación desarrollada en el presente proyecto.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	IV
ABSTRACT	V
INTRODUCCIÓN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3. ANTECEDENTES	2
1.4. JUSTIFICACIÓN	3
1.4.2. Justificación Económica.....	3
1.4.3. Justificación Social.....	3
1.5. OBJETIVO	4
1.5.1. Objetivo General	4
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES	4
1.6.1. Alcance.....	4
1.6.2. Limitaciones	4
1.6.2.1. Limitaciones técnicas	4
1.6.2.2. Limitaciones académicas.....	5
1.6.2.3. Limitaciones materiales.....	5
1.7. HIPÓTESIS.....	5
1.8. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.9. INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA	6
1.10. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.11. CAMPO, ÁREA, LÍNEA Y ASPECTO DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.12. ARQUITECTURA DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.12.1. Teorías aplicadas	7
1.13. TÉCNICA.....	7
1.13.1. Documental.....	7
1.13.2. Monumental.....	7
1.14. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS	8

VIII

1.15.	UBICACIÓN.....	8
1.15.1.	Ubicación Espacial	8
1.15.2.	Ubicación Temporal	8
1.16.	ESTRATEGIA	9
1.16.1.	Compendio de Información.....	9
1.16.2.	Implementación del Sistema.....	9
1.17.	CRONOGRAMA DE TRABAJO.....	10
1.18.	PRESUPUESTO	11
CAPÍTULO II		12
MARCO TEÓRICO		12
2.1.	FUERZA.....	12
2.1.1.	Sistema neumático.....	12
2.1.1.1.	Introducción.....	12
2.1.1.2.	Energía neumática	13
2.1.1.3.	Aplicación de la energía neumática.....	13
2.1.1.4.	Principio físico de la neumática.....	13
2.1.1.5.	Ventajas del sistema neumático.....	14
2.1.1.6.	Estructura del sistema neumático y flujo de señales	14
2.2.	CONTROL.....	15
2.2.1.	Sistemas de control.....	15
2.2.1.1.	Sistema de control de lazo abierto.....	16
2.2.1.1.1.	Elementos del sistema en lazo abierto	17
2.2.1.2.	Sistema de Control en Lazo Cerrado	17
2.2.1.2.1.	Retroalimentación	18
2.2.1.2.2.	Elementos del sistema de lazo cerrado.	18
2.2.1.3.	Comparación de los sistemas de control.....	19
2.2.2.	Tipos de controladores	19
2.2.2.1.	Control P.....	20
2.2.2.2.	Control I.....	20
2.2.2.3.	Control D	20
2.2.2.4.	Control PI	21
2.2.2.5.	Control PD.....	21
2.2.2.6.	Control PID.....	21
2.2.3.	Sensores.....	22
2.2.3.1.	Sistema de Orden Cero	23

2.2.4.	Válvulas de control.....	24
2.2.4.1.	Representación esquemática de Válvulas.....	24
2.2.4.2.	Tipos de Válvulas	26
2.2.4.2.1.	Forma Constructiva:.....	26
2.2.4.2.1.1.	Válvulas de Asiento	26
2.2.4.2.1.2.	Válvulas de Corredera.....	27
2.2.4.2.2.	Función que cumple	27
2.2.4.2.3.	Tipo de Mando.....	29
2.2.4.2.3.1.	Manual	29
2.2.4.2.3.2.	Mecánico.....	30
2.2.4.2.3.3.	Neumático	31
2.2.4.2.3.4.	Electro-Válvulas	33
2.2.4.3.	Válvula Proporcional Reguladora	34
2.2.5.	Variables.....	34
2.2.5.1.	La Máquina.....	34
2.2.5.2.	El Controlador	35
2.2.5.3.	Exactitud.....	35
2.2.5.4.	Precisión	36
2.2.5.5.	Estabilidad	37
2.2.5.6.	Sensibilidad	37
2.2.5.7.	Linealidad	37
2.2.6.	Variables de Interferencia	38
2.2.6.1.	Error.....	38
	Histéresis.....	39
2.2.6.2.	Ruido	39
2.2.6.3.	Zona Muerta	39
2.2.6.4.	Error de Estado Estable	40
2.2.7.	Sintonización en Control PID	40
2.2.7.1.	Modelos de Sintonización Heurística	40
2.2.7.1.1.	Ziegler – Nichols Primer Método (1942).....	41
2.2.7.1.2.	Ziegler – Nichols Segundo Método (1942)	42
2.2.7.1.3.	Cohen y Coon Método de la curva de reacción (1953)	43
2.2.7.1.4.	Gonzáles (1994)	44
2.2.7.1.5.	Aström y Hägglund Método AMIGO (2004)	45
2.2.8.	Normatividad.....	46

CAPÍTULO III	49
ESTUDIO DEL DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	49
3.1. PARTES DEL SISTEMA.....	49
3.1.1. Referencia Industrial del Sistema.....	50
3.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	52
3.2.1. Lista de Exigencias.....	53
3.2.2. Propuesta de adquisición (Fuerza)	53
3.2.2.1. Actuador Lineal	53
3.2.2.2. Amortiguador.....	55
3.2.2.3. Peso.....	57
3.2.2.4. Regla.....	57
3.2.3. Propuesta adquisición (Control).....	59
3.2.3.1. Válvula Proporcional Neumática.....	59
3.2.3.2. Potenciómetro Lineal.....	60
3.2.4. Cuadro Morfológico	62
3.2.5. Descripción de las propuestas	63
3.2.5.1. Propuesta 1	63
3.2.5.2. Propuesta 2	63
3.2.5.3. Propuesta 3	63
3.2.5.4. Propuesta 4	64
3.2.6. Selección de la Propuesta.....	64
3.2.6.1. Valoración técnica	64
3.2.6.2. Valoración Económica	65
3.2.6.3. Matriz de Selección	66
3.3. CIRCUITOS DEL SISTEMA.....	67
3.3.1. Circuito de Fuerza	67
3.3.2. Circuito de Control.....	68
3.4. DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES.....	68
3.4.1. Componentes de Fuerza	68
3.4.1.1. Compresor	68
3.4.1.2. Unidad de mantenimiento con Válvula de cierre	69
3.4.1.3. Distribuidor.....	71
3.4.1.4. Válvula Biestable 5/2.....	72
3.4.1.5. Válvula reguladora de caudal unidireccional	73
3.4.1.6. Actuador Neumático lineal sin vástago	74

	XI
3.4.1.7. Peso.....	75
3.4.1.8. Mangueras Neumáticas.....	76
3.4.1.9. Regla.....	76
3.4.2. Componentes de Control.....	77
3.4.2.1. Fuente de alimentación 24 V.....	77
3.4.2.2. Tarjeta de Señales Eléctricas.....	78
3.4.2.3. Tarjeta de Punto Consigna.....	79
3.4.2.4. Tarjeta Reguladora PID.....	81
3.4.2.5. Válvula Proporcional Electro – Neumática.....	82
3.4.2.6. Potenciómetro Lineal.....	86
3.4.2.7. Cables Eléctricos.....	87
3.5. Simulación del sistema Electro Neumático de la planta en la plataforma FluidSIM-FESTO.	88
CAPÍTULO IV.....	93
EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS.....	93
4.1. PROCEDIMIENTO DE SISTEMA ELECTRICO.....	94
4.2. PROCEDIMIENTO DE SISTEMA NEUMÁTICO.....	104
4.3. EXPERIMENTACIÓN.....	115
4.3.3. Prueba de respuesta de la planta con ganancia proporcional 1.....	115
4.3.4. Sintonización Manual.....	118
4.3.5. Sintonización Ziegler – Nichols Primer Método.....	121
4.3.6. Sintonización Ziegler – Nichols Segundo Método.....	123
4.3.7. Sintonización Cohen y Coon.....	126
4.3.8. Sintonización Gonzáles.....	128
4.3.9. Sintonización Aström y Hägglund Método Amigo.....	130
4.3.10. Comparación de Métodos de Sintonización y selección para un caso industrial 132	
4.3.11. Sintonización sin peso por el Segundo Método Ziegler – Nichols.....	134
4.4. CONCLUSIONES.....	138
4.5. RECOMENDACIONES.....	138
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	139
BIBLIOGRAFÍA.....	139
ANEXOS.....	141
ANEXO 1.....	142
ADQUISICION DE DATOS.....	142
ANEXO 2.....	171

HOJA DE DATOS FESTO	171
---------------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I.....	1
Tabla. 1.....	7
<i>Cuadro de aspectos de la investigación</i>	7
Tabla. 2.....	8
<i>Cuadro de Instrumentos y Equipos.</i>	8
Tabla. 3.....	10
<i>Diagrama de Gant de desarrollo de tesis.</i>	10
Tabla. 4.....	11
Presupuesto.....	11
CAPÍTULO II	12
Tabla. 5.....	42
<i>Formulas Primer Método Ziegler – Nichols.</i>	42
Tabla. 6.....	43
<i>Formulas Segundo Método Ziegler – Nichols</i>	43
Tabla. 7.....	44
<i>Formulas Método Cohen y Coon.</i>	44
Tabla. 8.....	46
<i>Normatividad.</i>	46
CAPÍTULO III.....	49
Tabla. 9.....	53
Lista de exigencias	53
Tabla. 10.....	62
Cuadro de propuestas	62
Tabla. 11.....	65
<i>Valoración Técnica.</i>	65
Tabla. 12.....	66
<i>Valoración Económica.</i>	66
Tabla. 13.....	66
Criterio Xi y Yi.	66
CAPÍTULO IV	93
Tabla. 14.....	132

<i>Contraste de métodos de Sintonización.</i>	133
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I.....	1
<i>Fig. 1. Secuencia de la Investigación</i>	6
CAPÍTULO II	12
<i>Fig. 2. Señales de mando</i>	14
<i>Fig. 3. Mando neumático</i>	15
<i>Fig. 4. Sistema de control</i>	16
<i>Fig. 5. Sistema de lazo abierto</i>	17
<i>Fig. 6. Sistema de lazo cerrado</i>	18
<i>Fig. 7. Sensores y métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes</i> ..	23
<i>Fig. 8. Representación de las posiciones de una válvula.</i>	24
<i>Fig. 9. Vías y tipos de conexiones de una válvula</i>	25
<i>Fig. 10. Representación de las líneas de flujo de una válvula.</i>	25
<i>Fig. 11. Tipos de Válvula</i>	26
<i>Fig. 12. Válvulas de asiento</i>	27
<i>Fig. 13. Funcionamiento de una válvula de corredera.</i>	27
<i>Fig. 14. Válvulas con distintas funciones.</i>	28
<i>Fig. 15. Válvulas manuales</i>	30
<i>Fig. 16. Diferentes formas de mando Mecánico</i>	31
<i>Fig. 17. Válvulas pilotadas con retorno por muelle.</i>	33
<i>Fig. 18. Electroválvula de accionamiento directo</i>	34
<i>Fig. 19. Exactitud y Precisión</i>	36
<i>Fig. 20. Histéresis</i>	39
<i>Fig. 21. Primer Método Ziegler - Nichols</i>	41
<i>Fig. 22. Fórmulas de ajuste Gonzáles en bucle abierto</i>	45
<i>Fig. 23. Fórmulas de AMIGO</i>	46
CAPÍTULO III	49
<i>Fig. 24. Diagrama de partes del sistema.</i>	50
<i>Fig. 25. Posicionamiento Neumático de Polipasto en zona de descarga de material de minera de cobre.</i>	51
<i>Fig. 26. Posicionamiento Neumático de Polipasto en instalación Temporal</i>	51
<i>Fig. 27. Esquema de sistema a implementar</i>	52
<i>Fig. 28. Actuador Lineal sin Vástago STBN - 448</i>	54

<i>Fig. 29. Actuador Lineal sin Vástago 192501.</i>	54
<i>Fig. 30. Actuador Lineal sin Vástago MY1B-Z.</i>	54
<i>Fig. 31. Actuador Lineal sin Vástago STM Serie 2.</i>	55
<i>Fig. 32. Amortiguador 34572.</i>	55
<i>Fig. 33. Amortiguador de Choque.</i>	56
<i>Fig. 34. Amortiguador AACJ1210-F.</i>	56
<i>Fig. 35. Amortiguador AD-2540.</i>	56
<i>Fig. 36. Adquirir una barra de acero y adaptarlo al actuador.</i>	57
<i>Fig. 37. Peso de 5Kg 34065.</i>	57
<i>Fig. 38. Regla Aluminio para módulos.</i>	58
<i>Fig. 39. Regla Espigada de Aluminio.</i>	58
<i>Fig. 40. Regla de Aluminio 525927.</i>	58
<i>Fig. 41. Válvula proporcional Sentronic Plus Serie 614.</i>	59
<i>Fig. 42. Válvula proporcional Servotronic 615.</i>	59
<i>Fig. 43. Válvula proporcional 167078.</i>	60
<i>Fig. 44. Encoder lineal LWH.</i>	60
<i>Fig. 45. Potenciómetro Lineal 152628.</i>	61
<i>Fig. 46. Transductor de posición KTC.</i>	61
<i>Fig. 47. Potenciómetro RSA0N12M9A04.</i>	61
<i>Fig. 48. Matriz de Selección.</i>	67
<i>Fig. 49. Compresor.</i>	68
<i>Fig. 50. Símbolo Compresor.</i>	69
<i>Fig. 51. Unidad de mantenimiento.</i>	70
<i>Fig. 52. Unidad Mantenimiento.</i>	71
<i>Fig. 53. Compresor.</i>	71
<i>Fig. 54. Distribuidor.</i>	72
<i>Fig. 55. Válvula Biestable 5/2.</i>	72
<i>Fig. 56. Símbolo Válvula 5/2.</i>	73
<i>Fig. 57. Regulador de caudal unidireccional.</i>	73
<i>Fig. 58. Símbolo Reguladora.</i>	74
<i>Fig. 59. Actuador lineal neumático sin vástago.</i>	74
<i>Fig. 60. Símbolo Compresor.</i>	75
<i>Fig. 61. Peso.</i>	75
<i>Fig. 62. Compresor.</i>	76
<i>Fig. 63. Regla.</i>	76

<i>Fig. 64.</i> Fuente 24 V.....	77
<i>Fig. 65.</i> Fuente.	78
<i>Fig. 66.</i> Tarjeta de señales eléctricas.....	78
<i>Fig. 67.</i> Fuente.	79
<i>Fig. 68.</i> Tarjeta de punto consigna.	80
<i>Fig. 69.</i> Tarjeta de señales eléctricas.....	81
<i>Fig. 70.</i> Tarjeta Reguladora PID.	82
<i>Fig. 71.</i> Válvula Proporcional 5/3.....	83
<i>Fig. 72.</i> Representación Válvula Proporcional.	85
<i>Fig. 73.</i> Potenciómetro Lineal.....	86
<i>Fig. 74.</i> Fuente.	87
<i>Fig. 75.</i> Cables eléctricos.....	88
<i>Fig. 76.</i> Entorno del FluidSIM.	88
<i>Fig. 77.</i> Sistema Electro Neumático de la planta.	89
<i>Fig. 78.</i> Sistema eléctrico de la planta.	89
<i>Fig. 79.</i> Instalación Neumática de la planta.	90
<i>Fig. 80.</i> Puesta en Marcha del sistema.....	90
<i>Fig. 81.</i> Acción del Actuador lineal.	91
<i>Fig. 82.</i> Desplazamiento del Actuador lineal.....	91
<i>Fig. 83.</i> Puesta en Marcha con una señal consiga.....	92
<i>Fig. 84.</i> Respuesta del sistema.	92
CAPÍTULO IV	93
<i>Fig. 85.</i> Circuito de control el actuador lineal con una carga referencial de 5kg con una tarjeta PID.	93
<i>Fig. 86.</i> Circuito de control eléctrico.....	94
<i>Fig. 87.</i> Fuente de alimentación de 24V dc.....	94
<i>Fig. 88.</i> Entrada de señales eléctricas.....	95
<i>Fig. 89.</i> Cables de seguridad de conexión.....	95
<i>Fig. 90.</i> Tarjeta de señales eléctricas y tarjeta comparadora	96
<i>Fig. 91.</i> Selección de valores consigna	97
<i>Fig. 92.</i> Regulador PID	98
<i>Fig. 93.</i> Bloques variables.....	98
<i>Fig. 94.</i> Entrada de consigna y entrada de valor actual.....	99
<i>Fig. 95.</i> Comparador de las señales de entrada en el regulador	99
<i>Fig. 96.</i> Montaje del actuador lineal, potenciómetro y regla para un mismo trabajo.....	100
<i>Fig. 97.</i> Señal de valor real diferencial.....	101

Fig. 98. Componentes P, I y D del regulador.....	102
Fig. 99. Componentes P, I y D determinados.....	102
Fig. 100. Summation pint y limitador de variable de corrección.....	103
Fig. 101. Salida de la variable de corrección.	103
Fig. 102. Señal de corrección conectada a la válvula proporcional.	104
Fig. 103. Conexión de la válvula proporcional como elemento final de control.	104
Fig. 104. Sistema de aire comprimido.....	105
Fig. 105. Manguera de aire.....	105
Fig. 106. Sistema de distribución neumática.....	106
Fig. 107. Alimentación de la válvula proporcional.....	106
Fig. 108. Conmutación de la válvula proporcional en función de la señal de corrección del regulador PID.	107
Fig. 109. Conmutación del actuador y conversión de energía.	108
Fig. 110. Parada de emergencia.	109
Fig. 111. Componentes de la parada de emergencia.	110
Fig. 112. Instalación del paro de emergencia.....	111
Fig. 113. Configuración del pulsador y alimentación de la válvula proporcional.	111
Fig. 114. Configuración del sistema de paro de emergencia.	112
Fig. 115. Conmutación del actuador.	113
Fig. 116. Configuración del regulador de caudal unidireccional.	114
Fig. 117. Control Neumático con paro de emergencia.....	114
Fig. 118. Señal de Prueba 1.....	116
Fig. 119. Código del sintonizador sin control.....	117
Fig. 120. Señal de Prueba 1.....	117
Fig. 121. Posición de 3 cm en Prueba 1.....	118
Fig. 122. Aumento de ganancia Proporcional Prueba 2.....	118
Fig. 123. Aumento de la ganancia derivativa Prueba 2.....	119
Fig. 124. Señal de Prueba 2.....	120
Fig. 125. Código de sintonización Manual.	120
Fig. 126. Señal de Prueba 2.....	121
Fig. 127. Respuesta en lazo abierto prueba 3.....	121
Fig. 128. Respuesta del sistema Prueba 3.	122
Fig. 129. Código de sintonización Ziegler y Nichols. Método 1.	123
Fig. 130. Respuesta del sistema Prueba 3.	123
Fig. 131. Respuesta inestable Prueba 4.....	124
Fig. 132. Respuesta del sistema Prueba 4.	125

Fig. 133. Código de sintonización Ziegler y Nichols. Método 2.	125
Fig. 134. Respuesta del sistema Prueba 4.	126
Fig. 135. Respuesta del sistema Prueba 5.	127
Fig. 136. Código de sintonización Cohen y Coon.....	127
Fig. 137. Respuesta del sistema Prueba 5.	128
Fig. 138. Respuesta del sistema Prueba 6.	129
Fig. 139. Código de sintonización Gonzales.....	129
Fig. 140. Respuesta del sistema Prueba 6.	130
Fig. 141. Respuesta del sistema Prueba 7.	131
Fig. 142. Código de sintonización Amigo.....	131
Fig. 143. Respuesta del sistema Prueba 7.	132
Fig. 144. Comparación de los métodos de sintonización.....	133
Fig. 145. Determinación del Kc, por el segundo método Ziegler y Nichols.....	135
Fig. 146. Ajuste del KC, por el método Ziegler y Nichols.	135
Fig. 147. Respuesta del sistema.	136
Fig. 148. Respuesta del sistema sin peso.	137
Fig.149. Respuesta del sistema aumentada.	137

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La industria requiere personal calificado que pueda manipular, modificar o mejorar el sistema de control de su planta, para esto durante la capacitación del alumnado se debe hacer un fortalecimiento tanto teórico como práctico, por ello el alumnado de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica – Eléctrica y Mecatrónica, requiere poder realizar la identificación de los elementos físicos que intervienen, así como de los parámetros óptimos solicitados para el control de distintas plantas. Para saber que hechos y circunstancias rodean al problema de cada planta se debe poder experimentar con ello, el laboratorio de control y automatización, presenta módulos eléctricos e hidráulicos, sin embargo, carece de un módulo neumático que permita al alumno estudiar las interrelaciones de las diferentes energías y que también le permita hacer pruebas de sintonización de manera sencilla y práctica.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Hoy en día en el país se ha observado un considerable crecimiento en la pequeña y mediana industria, debido a este crecimiento la tecnología aplicada para ello requiere cada vez más herramientas de control que se encarguen de administrar, dirigir, ordenar o regular el comportamiento de un sistema.

Debido a su menor costo comparado con otras energías, los sistemas neumáticos se presentan con mayor frecuencia en la industria para trabajos de precisión, desplazamiento de productos, colocación de envases, entre otros. La mayoría de sistemas neumáticos en una industria, presentan el desplazamiento de una carga y el posicionamiento preciso de ello de manera continua y rápida.

Para optimizar la producción de estos sistemas se busca la automatización de los procesos, sin embargo, actualmente se están usando controladores con requerimientos de sintonización específicos, como es el caso de los controladores tipo PID los cuales cuentan con autoajuste, para ello se debe adquirir un conocimiento de la teoría de control para la sintonización de los parámetros y realizar pruebas de su comportamiento y así poder determinar dichos parámetros que faciliten el correcto funcionamiento del proceso en cuestión.

Los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Católica de Santa María cursan materias como Control Mecatrónico, Electrónica, Neumática y Automatización, en las que forman conocimientos de los temas de controladores PID para los procesos automáticos, así como de los distintos actuadores y sensores neumáticos; sin embargo, los conocimientos teóricos deben estar de la mano con la

experimentación práctica, por ello en el laboratorio de control y automatización se debe contar con un módulo que permita la experimentación de la sintonización PID y que permita la expansión del conocimiento de la interrelación entre los componentes neumáticos y su control.

1.3. ANTECEDENTES

Como antecedentes de la presente investigación se tiene:

- Cavada (1998) el cual propone y explica los tipos de controladores desde el todo o nada hasta los controladores PID, su aplicación y variables. El cual se utilizó para el afianzamiento de las ideas recopiladas sobre el mismo tema con otros autores.
- Burbano, Bacca y Hoyos (2003) donde controlaron la posición de objetos por medio de un pistón neumático dirigido por un actuador lineal eléctrico servo controlado, trabajo que se utilizó para la comparación de los sistemas neumáticos con el control PID.
- Anaya, Benitez, Pacheco y Montaña (2014) donde evaluaron los controladores P, PI y PID con el método de Ziegler y Nichols aplicándolo en un sistema Servo – Hidráulico, del cual nos basamos para ver las diferencias y las aptitudes de la sintonización experimental y aplicarlo a nuestro sistema neumático.
- Leal de la Cruz (2011) el cual realiza un estudio del control aplicado a la energía neumática, donde explica su experiencia de los sistemas, sensores y actuadores neumáticos con un control eléctrico. Se utilizó esta información como referencia para la selección de los tipos de actuadores a utilizar y como base para el planteamiento del sistema de fuerza.
- Zhimnaycela y Camposano (2011) los cuales realizaron un diseño e implementación de un sistema Neumático, por lo que realizaron un estudio de selección en base a parámetro, fijadores accesorios y seguridad industrial, del cual nos basamos para contemplar el sistema de paro de emergencia y la mejora del concepto de la neumática aplicada.
- Rodríguez y Zárate (2015) los cuales realizaron una clasificación por servo posicionamiento lineal industrial a partir de visión artificial con un control de redes neuronales, del que nos basamos en su método de selección de componentes para encontrar la vía óptima de la planta que se requirió implementar.
- Morales y Valdivia (2018) los cuales realizaron una implementación de un motor hidráulico por medio de un regulador PID, del que nos basamos para el aprendizaje de la utilización de los reguladores externos tipo tarjeta para el control PID.
- Agramonte (2019), realizó un control de posición de cilindro hidráulico utilizando como referencia a Morales y Valdivia (2018), el cual nos brindó referencia de la respuesta del posicionamiento con energía oleo-hidráulica con una sintonización con el primer método de Ziegler – Nichols.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación Técnica

- Generar mediante el análisis comparativo de diversas marcas, una propuesta de planta neumática, que sea compatible con los módulos del laboratorio de control y automatización, tanto de manera física como de su alimentación eléctrica y neumática.
- Emular un proceso industrial de posicionamiento lineal neumático, basado en nuestras experiencias profesionales y que de manera compacta y practica permita la experimentación.
- Implementar un módulo que permita la experimentación de los métodos de sintonización, tanto teóricos, heurísticos o empíricos.

1.4.2. Justificación Económica

- La implementación de un módulo didáctico requiere una considerable inversión por parte de la universidad, por ello los alumnos de la Escuela deben solicitar y esperar a que se pueda disponer e implementar más módulos didácticos, por ello el proyecto busca realizar una implementación de un sistema que no se encuentra actualmente en la universidad.
- La utilización de la neumática en la industria es precisa y su velocidad depende de la carga a la que esté sometida, y dado que la mayoría de procesos industriales están sometidos a una carga, por ello se contempló que la implementación sea un sistema neumático.
- De la evaluación de componentes disponibles en el laboratorio la implementación debe ser compatible con los componentes y estructura existente.

1.4.3. Justificación Social

- El control PID, por sus ventajas es utilizado en la mayoría de procesos industriales del ámbito industrial peruano.
- En la sociedad peruana, los sistemas Neumáticos se encuentran en una amplia gama de procesos industriales, debido a su costo y a que es un recurso limpio.
- Mejorando la capacitación del alumnado, se eleva el nivel profesional de los egresados de la Universidad Católica de Santa María.

1.5.OBJETIVO

1.5.1. Objetivo General

Implementar un sistema Neumático de posicionamiento lineal con una carga de trabajo para el laboratorio de Control y Automatización.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar el conjunto de elementos con la mayor compatibilidad con el laboratorio de Control y Automatización.
- Implementar el sistema neumático emulando un proceso industrial.
- Comprobar que el sistema sin controlador no tenga integradores ni polos complejos conjugados, permitiendo un comportamiento estable.
- Generar pruebas de sintonización, emitir un gráfico comparativo y realizar una contrastación con parámetros para un caso industrial.

1.6.ALCANCES Y LIMITACIONES

1.6.1. Alcance

El presente proyecto tiene como alcance implementar un sistema educativo neumático de posicionamiento lineal con el uso de tarjetas PID al laboratorio de Neumática del Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica de la Universidad Católica de Santa María, donde el actuador neumático es la planta a controlar, dado que se busca emular un proceso industrial, se dispondrá de un peso referencial, este módulo debe permitir la experimentación de distintos métodos de sintonización de manera cómoda.

Debido a que este es un módulo didáctico para la Universidad Católica de Santa María, el sistema debe contar con todos los accesorios de montaje, a su vez se mostrara el paso a paso del proceso de funcionamiento, tanto del sistema de fuerza como el de control enfocado para la enseñanza del proyecto.

1.6.2. Limitaciones

1.6.2.1. Limitaciones técnicas

- Los componentes del sistema deben ser compatibles con los módulos del laboratorio de automatización y control.
- La carrera del actuador no puede ser mayor a 50 cm.
- Los componentes neumáticos deben poder trabajar en una presión entre 1-16 bar.

- Los componentes eléctricos tienen que estar adaptados para una alimentación de 24V DC.

1.6.2.2. Limitaciones académicas

- La planta neumática debe tener una respuesta estable sin oscilación al no tener controlador, para facilitar su utilización durante la experimentación de la sintonización.
- La experimentación de la sintonización, no debe requerir agregar más componentes al sistema.
- La implementación del módulo debe ser sencilla para el alumnado, sin exigir personal técnico adicional.

1.6.2.3. Limitaciones materiales

- El módulo no debe requerir herramientas especiales para su montaje, en caso contrario se debe suministrar un juego de herramientas.
- Para subsistemas adicionales, ya sean paro de emergencia entre otros, que se desee agregar, el módulo debe poder aceptar los componentes del laboratorio.

1.7. HIPÓTESIS

De la observación del laboratorio de automatización y control nos consultamos:

“¿Se puede realizar una implementación de un sistema neumático que facilite el aprendizaje al alumno?”

Cuanto mayor sea el nivel educativo de un alumno, el profesional generado podrá dar mejores soluciones en el rubro que se desarrolle, para el caso de control y automatización el conocimiento teórico debe estar de la mano con la experimentación práctica. Por ello nos preguntamos:

“¿Controlar de manera experimental la posición lineal de un actuador neumático influenciado por una carga referencial de cinco kilogramos, mejorara la capacitación del alumnado de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica – Eléctrica y Mecatrónica?”

El método industrial utilizado comúnmente para encontrar la solución óptima de un problema dado, es una evaluación de costo y rendimiento. Debido a que la supervisión de cada paso de un sistema por parte de un personal perenne genera un mayor costo; la industria suele trabajar con controladores que releven al personal, el

método común más utilizado es el control PID, sin embargo, se necesita personal capacitado que pueda diseñar y programar dichos controladores. De lo mencionado, y a partir de las preguntas realizadas, se evaluara y se buscara el desarrollo de la implementación deseada.

1.8. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para la presente investigación se utilizará el método científico, con el fin de obtener las conclusiones del trabajo:



*Fig. 1. Secuencia de la Investigación. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela*

1.9. INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA

Durante la investigación cuantitativa, se realizará la observación de las variables y sus respectivos indicadores e índices durante la implementación del sistema de control de posición neumática de una carga referencial de cinco kilogramos mediante un actuador lineal y tarjetas PID.

1.10. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la investigación se realizará una búsqueda de información clasificada tanto de textos especializados como: libros, artículos científicos, investigaciones pregrado. Sobre la materia en cuestión.

1.11. CAMPO, ÁREA, LÍNEA Y ASPECTO DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla. 1

Cuadro de aspectos de la investigación

ITEM	DESCRIPCIÓN
CAMPO	Ingeniería
ÁREA	Mecatrónica
LÍNEA	Automatización y Control
ASPECTOS	Control proporcional de Planta Neumática

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

1.12. ARQUITECTURA DE LA INVESTIGACIÓN

1.12.1. Teorías aplicadas

- Teoría de la Neumática.
- Teoría del Control PID.

1.13. TÉCNICA

La Presente investigación utiliza la técnica de la Observación de Campo o Laboratorio, dado que la observación se realizará en el lugar donde se realizan los hechos o fenómenos investigativos.

1.13.1. Documental

Se extraerá información de textos, revistas y estudios realizados sobre la materia expuesta en esta investigación utilizando las normas APA para su desarrollo.

1.13.2. Monumental

Se realizará la observación en el laboratorio de Automatización de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Mecánica - Eléctrica y Mecatrónica.

1.14. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

Tabla. 2.

Cuadro de Instrumentos y Equipos.

ÍTEM	TIPO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	FUERZA	1	Filtro Regulador con Manómetro
2	FUERZA	1	Distribuidor de Aire
3	FUERZA	2	Válvula de 3/2 Vías para "Inicio" y "Parada de Emergencia"
4	FUERZA	4	Válvula Reguladora Unidireccional
5	FUERZA	4	Válvula Biestable 3/2 Vías
6	FUERZA	1	Válvula proporcional 5/3 Vías Neumática
7	FUERZA	1	Actuador lineal Proporcional
8	FUERZA	1	Peso de cinco Kilogramos
9	FUERZA	2	Amortiguador
10	FUERZA	1	Regla
11	FUERZA	1	Accesorios para Montaje Neumático
12	CONTROL	1	Tarjeta de alimentación 24V
13	CONTROL	1	Tarjeta de Señales Eléctricas
14	CONTROL	1	Tarjeta de Punto Consigna
15	CONTROL	1	Tarjeta Regulador PID
16	CONTROL	1	Accesorios para Montaje Eléctrico

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

1.15. UBICACIÓN

1.15.1. Ubicación Espacial

La presente investigación se realizará en Perú, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa en el Laboratorio de Automatización y Control de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Mecánica - Eléctrica y Mecatrónica, en la sección de las Instalaciones de Oleo hidráulica y Neumática.

1.15.2. Ubicación Temporal

La realización de la presente se realizará entre los meses de agosto 2018 a enero 2019.

1.16. ESTRATEGIA

1.16.1. Compendio de Información

Se realizará una contrastación entre los textos e información recopilada, donde la información resaltante del control de procesos PID, sensores, actuadores y sintonización se extraerá, de tal manera que se pueda compilar la información necesaria y fundamentar la investigación.

1.16.2. Implementación del Sistema

Se realizará una investigación se divide en Fuerza y Control. Se realizará un estudio del arte para la selección de componentes apropiados que satisfagan los requerimientos para la implementación, para la realización del control se requiere la capacidad de realización del control aplicado a esta investigación.

1.17. CRONOGRAMA DE TRABAJO

Tabla. 3.
Diagrama de Gant de desarrollo de tesis.

Actividad	2018					2019		
	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Investigación del estado del arte.	X							
Documentación - selección de modelos a utilizar.	X							
Documentación en posicionamiento lineal - selección de modelo a usar.	X							
Elaboración y revisión de Plan de Tesis		X						
Cotizaciones y compra de equipos.		X	X	X	X			
Ensamblaje del sistema.					X			
Emulación y Programación					X			
Pruebas y Resultados					X			
Presentación del Borrador					X	X		
Levantamiento de Observaciones						X		
Sustentación de Tesis								X

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

1.18. PRESUPUESTO

Tabla. 4.
Presupuesto.

Item	Rubro	Detalle	Pago de Derechos	Cantidad	Costo Unitario (Nuevos Soles)	Costo Total (Nuevos Soles)
1	Implementación del Sistema	Válvula proporcional de 5/3 vías	Unidad	1	S/3,851.48	S/3,851.48
2		Actuador lineal, neumático, con guía y accesorios	Unidad	1	S/5,714.87	S/5,714.87
3		Potenciómetro lineal	Unidad	1	S/4,168.33	S/4,168.33
4		Regla	Unidad	1	S/350.15	S/350.15
5		Peso de 5 kg para actuador lineal	Unidad	1	S/706.22	S/706.22
6		Amortiguador	Unidad	2	S/864.16	S/1,728.32
7		Cable de conexión para potenciómetro lineal	Unidad	1	S/735.89	S/735.89
8		Adaptador para eje en Y o peso	Unidad	1	S/356.07	S/356.07
9		Accesorios de montaje para potenciómetro lineal	Unidad	1	S/445.08	S/445.08
10	Imprevistos	10% total	Unidad	1	S/1,805.64	S/1,805.64
					Total:	S/19,862.05

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

La investigación a desarrollar presenta 2 ramas de la Mecatrónica a estudiar:

- Neumática
- Control PID

Las cuales se definirán como Fuerza (Neumática) y Control (Control PID).

2.1.FUERZA

2.1.1. Sistema neumático

2.1.1.1.Introducción

Baudilio (2011) afirma que: “El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce y aprovecha el hombre para reforzar sus recursos físicos. El descubrimiento consciente del aire como medio que nos rodea se remonta a muchos siglos atrás, lo mismo que un trabajo más o menos consciente con dicho medio (Pág. 1) [10]

Zhimnaycela y Camposano mencionan que: “La tecnología de la neumática ha ganado una importancia muy grande en el campo de la racionalización del lugar de trabajo. Ciertas características del aire comprimido lo han hecho adecuado para la utilización en modernas plantas de fabricación y producción. Por lo tanto, es importante que los técnicos e ingenieros tengan un vasto conocimiento en este tema.” (Pág. 17) [12]. De acuerdo a lo mencionado se puede afirmar que el aire comprimido es una tecnología que usa el aire a presión generada por un compresor. El uso de dicha tecnología en la industria viene desde épocas anteriores y que para su manipulabilidad es necesario de un sistema neumático, este sistema posee una gama de dispositivos que usan el aire como principal energía, algunas ventajas de la tecnología de aire comprimido.

- Su fácil obtención y manipulación.
- Fácil de transportar.
- Menor costo de instalación comparado con otras tecnologías.
- A prueba de incendio.

- Facilidad de Instalación.

2.1.1.2. Energía neumática

La energía neumática es la energía que se obtiene a partir de la fuerza que ejerce el aire al encontrarse bajo presión.

Al comprimir el aire en un compresor, la energía almacenada se denomina energía neumática la cual puede representarse como fuerza y que a su vez actúa alrededor de la pared del compresor u otro contenedor utilizado. Esta energía tiene una gran gama de aplicaciones dentro de la industria

2.1.1.3. Aplicación de la energía neumática

Según Zhimnaycela y Camposano (2011) “La tecnología de la neumática se refiere al estudio y aplicación del aire comprimido.

Actualmente la utilización de las herramientas y accesorios accionados por aire comprimido son una imagen común en las industrias. Con la introducción de la neumática en el proceso de fabricación, la industria se beneficia con un medio más económico de automatización, el cual, si se utiliza con buen juicio, puede llevar el costo de producción hacia un nivel inferior” (Pág. 13) [12]

2.1.1.4. Principio físico de la neumática

El sistema neumático se basa en la ley de Boyle-Mariotte:

Según Baudilio (2011) la ley de Boyle: “Esta ley establece que la presión de un gas en un recipiente cerrado es inversamente proporcional al volumen del recipiente, cuando la temperatura es constante.” (Pág. 10) [10]

Matemáticamente:

$$K = P \times V \quad (2.1.1.4.1.)$$

Donde:

P: presión

V: volumen

K: coeficiente de masa y temperatura constante.

También para poder determinar el cambio de presión o temperatura durante una transformación isotérmica, nos basamos en la siguiente formula:

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 \quad (2.1.14.2.)$$

Donde en otras palabras, el producto de la presión y volumen inicial es igual al producto del volumen y presión final.

2.1.1.5. Ventajas del sistema neumático

- Materia prima ilimitada.
- Fácil almacenamiento.
- Fácil transporte.
- Facilidad en la instalación.
- Costo bajo de instalación.
- A prueba de incendios.
- Fácil manipulabilidad debido a los componentes de menor tamaño.
- Movimientos rápidos.
- Se puede llegar a un punto de presión en diferentes zonas.
- Aplicación y ejecución segura.

2.1.1.6. Estructura del sistema neumático y flujo de señales

Los sistemas neumáticos están compuestos por diferentes grupos de elementos que conforman una vía para la transmisión de señales desde la señal de entrada (mando) hasta la señal de salida (ejecución de trabajo).

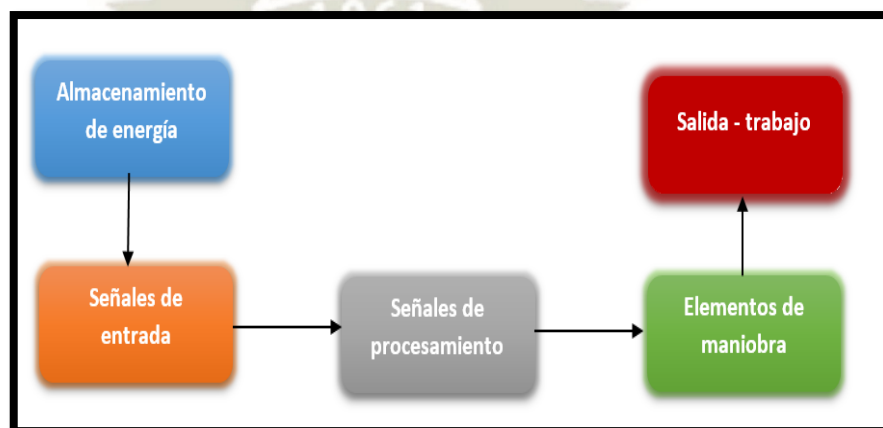


Fig. 2. Señales de mando. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela

Los sistemas neumáticos están conformados por los siguientes grupos:

- Almacenamiento de energía
- Señales de entrada (sensores)
- Señales de procesamiento (procesadores: PLC, tarjetas PID, etc.)
- Señales de maniobra y accionamiento (actuadores)

Estos grupos están conformados por los siguientes elementos:

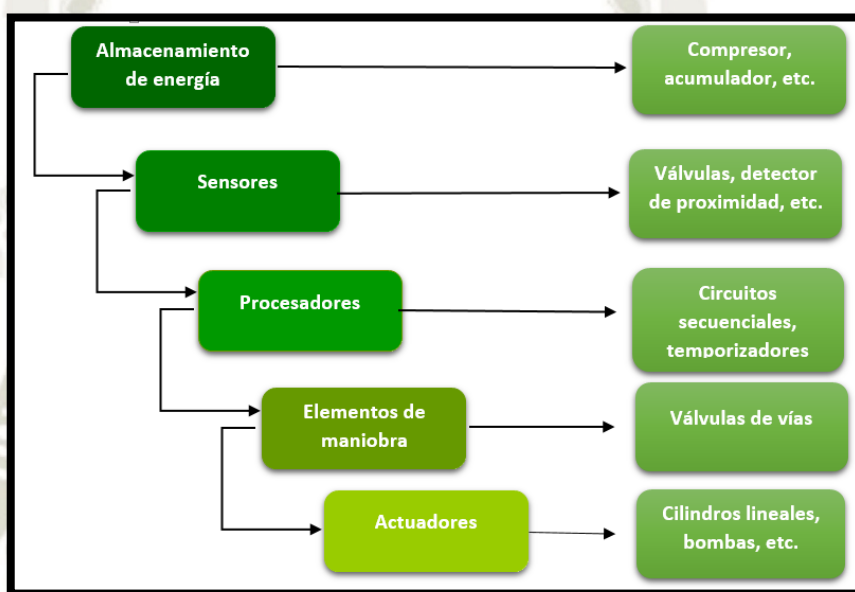


Fig. 3. Mando neumático. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela

De la Fig. 3. vemos que las válvulas de vías se encuentran en diferentes grupos, es porque éstas pueden ser acopladas como: emisores de señales, elementos de procesamiento o como un actuado. Este criterio se aplica de acuerdo al sistema neumático y a los requerimientos de los procesos.

2.2. CONTROL

2.2.1. Sistemas de control

Bolton define un sistema como: “Una caja negra que mantiene una entrada y salida. Se considera caja negra debido a que en realidad no es importante qué tiene dentro, sino la relación entre la entrada y salida, este sistema es de control si la salida se controla de modo que pueda adoptar un valor o cambio en particular de alguna manera definida,” (Pág.2) [4], a su vez afirma que el

sistema de control “es aquél en el que la salida del sistema se controla para tener un valor específico o cambiarlo, según lo determina la entrada al Sistema” (Pág. 3)[4]. Entonces podemos concluir que un sistema de control o control automático, es un conjunto de componentes, que, a los cuales se les puede regular con el único fin de lograr el resultado esperado, reduciendo las probabilidades de fallas y riesgos.

El estudio del sistema de control o control automático nos permite que los equipos, maquinas, etc. Trabajen independientemente sin la intervención de humana. Este control nos permite automatizar diferentes procesos reduciendo el tiempo, costos y evitando realizar acciones peligrosas.

En la automatización industrial se tiene como objetivo trasladar variables físicas a un determinado valor. De acuerdo al sistema existen agentes externos, así como estándares de precisión, se definirá un tipo de sistema que asegure un margen de error mínimo al valor deseado. Existen dos tipos de control que nos permiten alcanzar estos valores referenciales, independientes o dependientes de la salida deseada.



Fig. 4. Sistema de control. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela

2.2.1.1. Sistema de control de lazo abierto

Ogata (2010) define “Un sistema de lazo abierto es el cual donde la salida no tiene efecto sobre la acción de control. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración” (Pág. 8) [5].

Bolton (2001) afirma que: “En un sistema en lazo abierto la entrada se elige con base en la experiencia que se tiene con dichos sistemas para producir el

valor de salida requerido. Esta salida, sin embargo, no se ve modificada por el cambio en las condiciones de operación externas”.

El sistema de lazo abierto se caracteriza por realizar un proceso de manera igual sin tener una referencia brindada por un sensor que determine si dicho procesos se ejecuta de forma correcta. Es decir, las variables de los procesos circulan en línea recta y la señal de salida no influye en el proceso.

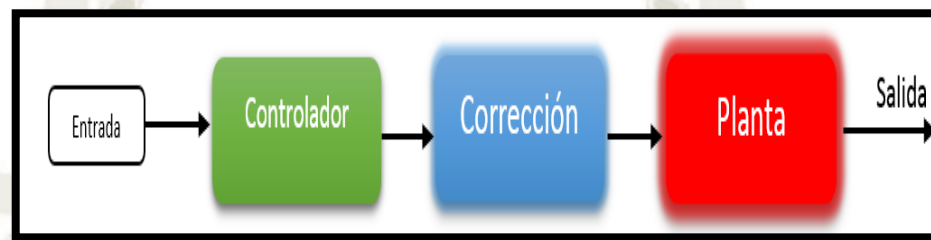


Fig. 5. Sistema de lazo abierto. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela

2.2.1.1.1. Elementos del sistema en lazo abierto

- Controlador o elemento de control: determina la acción a tomar en base a la experiencia sobre la entrada del sistema.
- Elemento de corrección: responde a la señal del valor proporcionado por el controlador e inicia una acción de acuerdo a la señal o variable de salida deseada.
- Planta: proceso en el cual se controla la variable.

2.2.1.2. Sistema de Control en Lazo Cerrado

Ogata (2010) define como: “Un sistema de control realimentado se denomina también sistema de control en lazo cerrado. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado.” (Pág. 7) [5]

Bolton (2001) menciona que: “En un sistema de control en lazo cerrado se tiene una señal de realimentación dirigido a la entrada desde la salida, la cual se utiliza para modificar la entrada de modo que la salida se mantenga constante a pesar de los cambios en las condiciones de operación.” (Pág. 4) [4]

Por lo tanto, de acuerdo a las definiciones anteriores podemos afirmar que un sistema de lazo cerrado se caracteriza por tener realimentación, que a través de un sensor controlan la salida obteniendo una señal de error, el cual es alimentado al comparador y ésta a su vez modifica la señal de entrada en función de la señal de salida, y así, determinar si el proceso se realiza de manera correcta, tal y como mostramos en la Fig. 6.

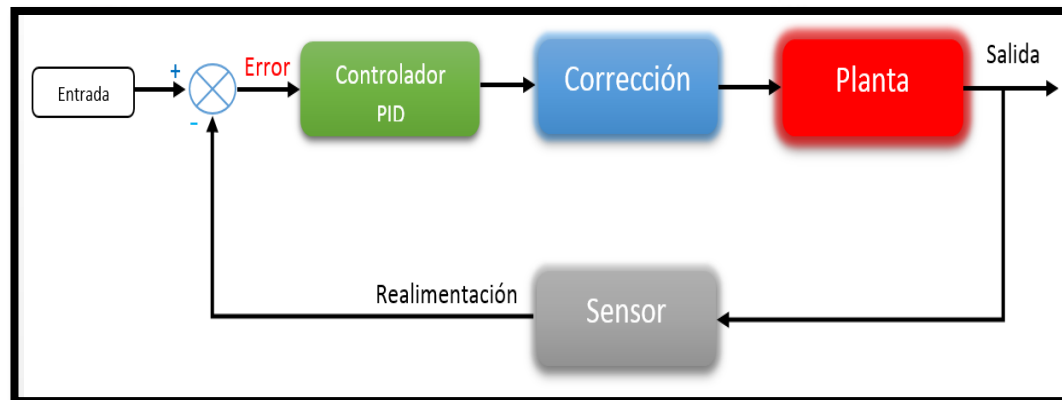


Fig. 6. Sistema de lazo cerrado. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela

2.2.1.2.1. Retroalimentación

Ogata (2010) define la retroalimentación como: “Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado” (Pág. 7) [5]. Por lo tanto, podemos afirmar que es el proceso mediante el cual se obtiene información de la salida para ser analizada y ésta a su vez ser inyectada a un comparador para modificar la señal de entrada, esta realimentación nos permite regular parámetros para su correcto funcionamiento

2.2.1.2.2. Elementos del sistema de lazo cerrado.

- Comparador: este elemento realiza una comparación entre el valor de referencia y el valor obtenido en la salida, genera una señal de error, este error indica la diferencia entre el valor de referencia y el valor medido en la salida
- Controlador: este elemento decide la acción a tomar respecto a la señal de error proporcionada.

- Corrección o actuador: produce una señal para eliminar error.
- Planta: se controlan las variantes producidas por el actuador
- Realimentación: relaciona el valor de la salida con la señal de regencia, por lo general son sensores lo que realizar esta realimentación

2.2.1.3. Comparación de los sistemas de control.

- El sistema de lazo cerrado tiene una realimentación que compara las señales de salida respecto a la entrada, generando una diferencia y así realiza un ajuste y a media que este se realiza más comparación tenemos mayor precisión, aproximándose a un error 0, por lo cual sería un proceso ideal
- El sistema de lazo abierto no se compara ningún tipo de señal, cada ajuste hecho en este sistema actúa directamente en el sistema.

Considerando los dos sistemas, depende la aplicación que se va a utilizar se debe seleccionar el tipo de control y lazo adecuado.

2.2.2. Tipos de controladores

De acuerdo a Bolton (2010) “El controlador es un elemento en el sistema en lazo cerrado que tiene como entrada la señal de error y produce una salida que se convierte en la entrada al elemento correctivo. La relación entre la salida y la entrada al controlador con frecuencia se denomina ley de control. Existen tres formas de dicha ley: proporcional, integral y derivativo, En algunos sistemas es necesario mejorar el desempeño del controlador, lo cual se logra al introducir en el sistema de control elementos adicionales denominados compensadores. Esta alteración en el desempeño se denomina compensación.” (Pág.225) [4]

Baudilio (2011) menciona que: “En los sistemas de control en lazo cerrado se clasifican normalmente de acuerdo con la acción correctora que el controlador provoca cuando detecta una desviación entre la variable controlada y la deseada de consigna.” (Pág.164) [10]. Respecto a ambos conceptos, se puede concluir que un controlador es un elemento de transferencia que se dedica a comparar la señal de referencia o consigna con la salida de valor real, estas dos señales son procesadas para que el regulador PID genere una señal al actuador, de esta manera mediante una válvula proporcional el valor real obtenida por el sensor debe alcanzar al punto consigna en el menor tiempo posible.

2.2.2.1. Control P

Bolton (2010) define la salida del control P: “la salida del controlador es directamente proporcional a su entrada; la entrada es la señal de error, la cual es una función del tiempo. De ellos podemos deducir que la salida del controlador es proporcional al error, definida por la siguiente formula” (Pág.225) [4]

$$u(t) = salida = K_p \quad (2.2.2.6.1)$$

Donde K_p es la constante proporcional y como la salida depende del error, entonces la función de transferencia que rige al controlador proporcional es:

$$G(s) = K_p \quad (2.2.2.1.2)$$

Este tipo de controlador puede ser aplicado a diferentes tipos de planta.

De lo mencionado anteriormente podemos definir al control proporcional como: “la multiplicación proporcional del error del sistema”.

2.2.2.2.Control I

Bolton (2010) define la salida del control I como: “la salida del controlador es proporcional a la integral de la señal de error (e) con el tiempo, es decir.

$$salida = K_i \int_0^t e \, dt \quad (2.2.2.2.1)$$

Donde K_i es la constante denominada ganancia integral.” (pág.227) [4]

Por lo tanto, la respuesta es proporcional a la salida que este controlador acumula, de modo que por esta acción el control realizado es lento. La función de transferencia de este tipo de controlador es:

$$G(s) = \frac{K_i}{s} \quad (2.2.2.2.2)$$

2.2.2.3.Control D

Bolton (2010) define la salida del control I como:” la salida del controlador es proporcional a la razón de cambio con el tiempo del error” (pág.232) [4]

$$salida = K_d \quad (2.2.2.3.1)$$

La función de transferencia del control derivativo es la siguiente:

$$G(s) = K_d s \quad (2.2.2.3.2)$$

El control derivativo busca mejorar la respuesta del sistema, disminuyendo el error de oscilación generado.

2.2.2.4. Control PI

Bolton (2010) se refiere al control PI como: “La reducción en la estabilidad relativa como resultado de usar el control integral se puede resolver, como una extensión, mediante el control proporcional integral.” (pág.229) [4] la combinación del control P y control I, tiene una salida representada como:

$$salida = K_p e + K_i \int_0^t e \, dt \quad (2.2.2.4.1)$$

En este control es necesario la presencia del error, para que la acción resultante no sea 0 y con la acción del control I, el mínimo error (+) generado nos dará una acción de control creciente y el mínimo error (-) nos dará una acción decreciente. La función de transferencia que rige al control PI está definida por:

$$G(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (2.2.2.4.2)$$

2.2.2.5. Control PD

El control PD es la combinación del control proporcional y control derivativo y su salida está representada por:

$$salida = K_p e + K_p T_d \quad (2.2.2.5.1)$$

Donde T_d se denomina tiempo derivativo, este control derivativo realiza que la acción de control sea más rápida, esta acción por lo general produce saturación y amplifica el ruido. Para que este control sea eficiente la acción derivativa no debe ser utilizada sola. La función que rige al control PD es la siguiente

$$G(s) = k_p + s K_p T_d \quad (2.2.2.5.2)$$

2.2.2.6. Control PID.

Este control involucra las tres acciones de control tal y como su nombre lo

indica. La ecuación de salida de este controlador es la siguiente

$$salida = k_p e + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e \, dt + k_p t_d \frac{de}{dt} \quad (2.2.2.6.1)$$

La función de transferencia que rige a este control es:

$$G(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.2.2.6.2)$$

Este tipo de controlador se caracteriza por juntar las propiedades del control proporcional el cual multiplica el error proporcionalmente como una señal de corrección para llegar al punto consigna, sin embargo, la respuesta de oscilación es atenuada por el control derivativo y a su vez se busca la reducción del error en estado estable con el control integrativo.

2.2.3. Sensores

Según Pallas (1998), se define a los sensores: “Se denomina transductor o sensor, a todo elemento que convierte una señal de una forma física en otra forma física distinta. Es, por tanto, un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro. Esto significa que la señal de entrada es siempre una energía o potencia, pero al medir, una de las componentes de la señal suele ser tan pequeña que puede despreciarse, y se interpreta que se mide sólo la otra componente.

Al medir una fuerza, por ejemplo, se supone que el desplazamiento del transductor es despreciable, es decir, que no se carga al sistema, ya que de lo contrario podría suceder que éste fuera incapaz de aportar la energía necesaria para el desplazamiento. Pero en la transducción siempre se extrae una cierta energía del sistema donde se mide, por lo que es importante garantizar que esto no lo perturba.

Dado que hay seis tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares (químicas), cualquier dispositivo que convierta una señal de un tipo en una señal de otro tipo debería considerarse un sensor, y la señal de salida podría ser de cualquier forma física utilizable. En la práctica, no obstante, se consideran sensores generalmente aquellos que ofrecen una señal de salida eléctrica. Ello se debe al interés de este tipo de señales en la mayoría de procesos de medida.” (Pag.2) [11]. Del concepto anterior definimos a los sensores como: “Elemento que puede convertir una señal de un tipo en otra útil para el sistema de control”. Los sensores se pueden dividir según la magnitud:

Sensores	Magnitudes								
	Posición Distancia Desplazamiento	Velocidad	Aceleración Vibración	Temperatura	Presión	Caudal Flujo	Nivel	Fuerza	Humedad
Resistivos	Potenciómetros Galgas Magnetorresistencias		Galgas + masa- resorte	RTD Termistores	Potencióme- tros + tubo Bourdon	Anemóme- tros de hilo caliente Galgas + vole- dizo Termistores	Potencióme- tro + flota- dor Termistores LDR	Galgas	Humistors
Capacitivos	Condensador di- ferencial				Condensador variable + diafragma		Condensador variable	Galgas capaci- tivas	Dielectrico variable
Inductivos y electro- magnéticos	LVDT Corrientes Fou- cault Resolver Inductosyn Efecto Hall	Ley Faraday LVT Efecto Hall Corrientes Foucault	LVDT + masa- resorte		LVDT + dia- fragma Reluctancia variable + diafragma	LVDT + rotáme- tro Ley Faraday	LVDT + flo- tador Corrientes Foucault	Magneto- elástico LVDT + célula carga	
Generadores			Piezoelectrí- cos + masa- resorte	Termopares Piroeléctricos	Piezoelectrícos			Piezoelectrí- cos	
Digitales	Codificadores in- crementales y absolutos	Codificadores incrementa- les		Osciladores de cuarzo	Codificador + tubo Bourdon	Vórtices			SAW
Uniones p-n	Fotoeléctricos			Diodo Transistor Convertidores T/I			Fotoeléctricos		
Ultrasonidos	Reflexión	Efecto Doppler				Efecto Doppler Tiempo tránsito Vórtices	Reflexión Absorción		

Fig. 7. Sensores y métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes. Fuente:
Sensores y Acondicionadores de Señal (1998)
Autor: R. Pallás

A su vez los sensores se pueden definir también por la función de su respuesta, sin embargo solo se trabajara al sensor por su magnitud.

2.2.3.1. Sistema de Orden Cero

Pallas (1998) define a los sistemas de Orden Cero como: “Un sensor de orden cero es aquel cuya relación entra la entrada y la salida se puede definir por la ecuación siguiente:

$$y(t) = k x(t) \quad (2.2.3.1.1.)$$

De forma que su comportamiento queda caracterizado por su sensibilidad estática, k , y se mantiene constante con independencia de la frecuencia de variación de la entrada, t . En consecuencia, tanto su error dinámico como su retardo son nulos. Para que la relación entrada-salida sea de la forma indicada en la ecuación anterior, es necesario que el sensor no incluya ningún elemento almacenador de energía. Es el caso de los potenciómetros empleados para la medida de desplazamientos lineales y angulares.” (Pag.19) [11]. Para el proyecto presente se tiene como variable a medir el desplazamiento lineal del actuador neumático, dado que el sensor tiene que medir el desplazamiento se contempla para el presente proyecto la selección de un potenciómetro que cumpla con la teoría mencionada.

2.2.4. Válvulas de control

Serrano (2009) define a las válvulas como: “Las válvulas son elementos concebidos para controlar el arranque, parada, dirección y sentido del flujo de aire en un circuito neumático. Cumplen la función de válvulas distribuidoras cuando se utilizan para gobernar todo tipo de actuadores, bien sean lineales como los cilindros, rotativos como los motores neumáticos, o pinzas. Como válvulas de mando o pilotaje, se emplean en general para gobernar de forma directa o indirecta, las válvulas distribuidoras anteriores. Estas válvulas de mando o pilotaje, se montan en los circuitos en paneles de mando, para ser manipuladas voluntariamente por el operador de la máquina, o bien se montan cerca de los actuadores, para ser pulsadas mecánicamente por dichos elementos. Unas y otras válvulas funcionan bajo el mismo principio y con la misma representación simbólica. Sólo se diferencian en los circuitos, por la función que cada una de ellas cumple y también, a veces, por el tipo de mando.” (Pag.136) [13]. Para el presente trabajo se seleccionará una válvula distribuidora electro-pilotadas o también conocida como Electro-Válvulas.

2.2.4.1. Representación esquemática de Válvulas

Para la representación de las válvulas de mando o distribución se representan por un cuadrado ya sea de una, dos o tres posiciones; como se ve en la Fig. Siguiente:



Fig. 8. Representación de las posiciones de una válvula. Fuente: Neumática Practica (2009)
Autor: Serrano, A.

Para representar las vías de una válvula ya sea entrada o salida se utilizan líneas unidas a cada cuadrado, donde estas vías pueden ser orificios, roscados, comunicación con el exterior entre otros. Si la válvula lleva el pilotaje neumático se excluye en esta representación.

En la Fig. 9. (a) se representa una válvula de 2 posiciones y 4 orificios o conexiones con el exterior. En (b) se representa una conexión general; en (c) conexión con toma de presión; en (d) un escape con tubo conectable a la atmósfera, y en (e) el mismo escape, pero directo a la atmósfera o al exterior.

Las conexiones con el exterior siempre se representan en los cuadrados lo que permite saber el estado actual de la válvula, para ver el estado inicial de la válvula. A veces, a las conexiones u orificios se les denominan también vías. Dentro de cada cuadrado se representan las líneas de flujo del aire con el sentido de circulación, los cierres de paso y la unión de algunos conductos.

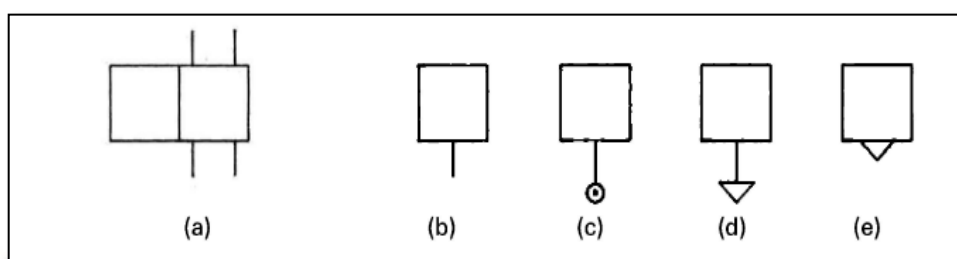


Fig. 9. Vías y tipos de conexiones de una válvula. Fuente: Neumática Practica (2009)
Autor: Serrano, A.

Así, en la Fig. 2.2.4.1.3. se muestra:

- (a) Sentido de flujo
- (b) Cierre de Paso
- (c) Unión de los conductos
- (d) Válvula típica de 2 posiciones y 3 vías (3/2)
- (e) Válvula 4/3 con posición inicial donde todas las vías están cerradas

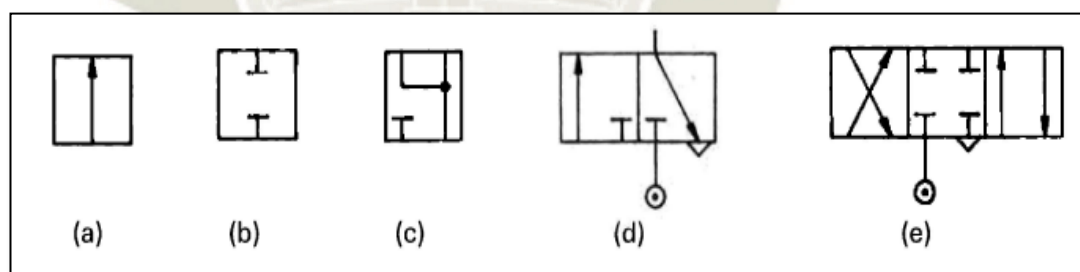


Fig. 10. Representación de las líneas de flujo de una válvula. Fuente: Neumática Practica (2009)
Autor: Serrano, A.

2.2.4.2. Tipos de Válvulas

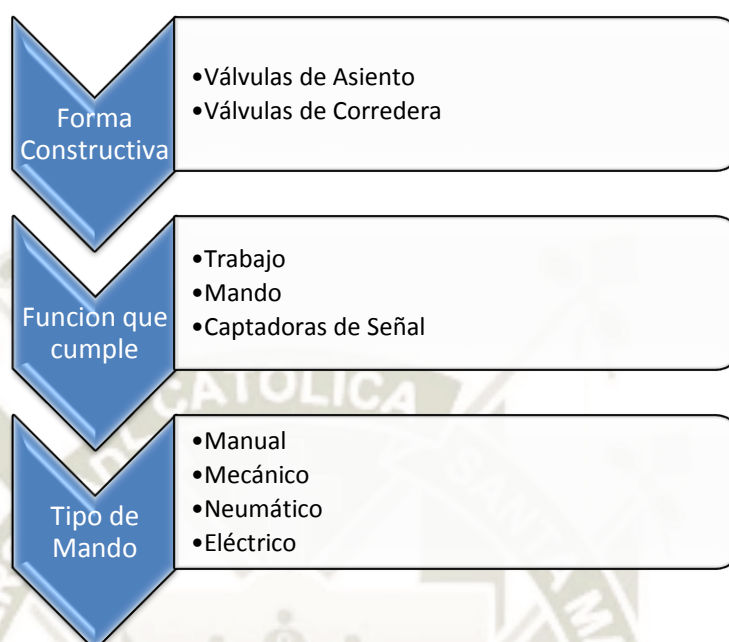


Fig. 11. Tipos de Válvula. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela

2.2.4.2.1. Forma Constructiva:

2.2.4.2.1.1. Válvulas de Asiento

Este tipo de válvulas se puede explicar por la forma en que se abren y cierran utilizando distintos tipos de “asiento” y los elementos que al contacto aseguran la estanqueidad. Estos elementos sufren poco desgaste que, dado que las partes de cierre presentan poca fricción entre las partes de cierre o no presentan, considerando que requieren un grado de apriete axial para vencer la acción del resorte antagonista y garantizar el cierre hermético. Si el cierre es por presión neumática, la presión es la encargada de mantener la fuerza de contacto y la estanqueidad.

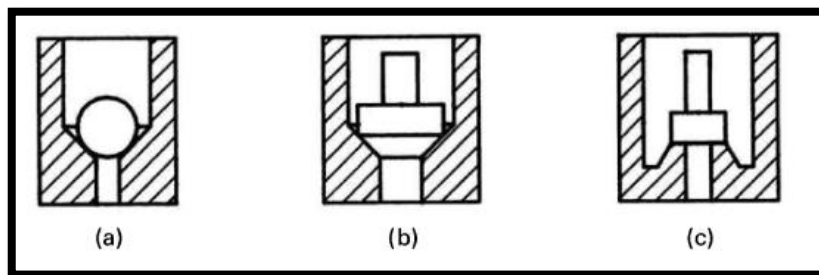


Fig. 12. Válvulas de asiento. Fuente: Neumática Practica (2009)
Autor: Serrano, A.

Las válvulas de asiento, a su vez, pueden ser de bola (Fig. 12.1. (a)), de cono (Fig. 12.2. (b)) y de disco plano (Fig. 12.3. (c)).

2.2.4.2.1.2. Válvulas de Corredera

El funcionamiento de este tipo de válvulas se rige en un embolo cilíndrico con diferentes longitudes y asientos, el cual se desplaza axialmente según el pilotaje, repartiendo el flujo según se muestra en la Fig. 13. En el caso (a) la corredera se encuentra en el extremo izquierdo permitiendo que se comunique (A) con (R), mientras que la toma de presión (P), se halla cerrada. Desplazando el pistón hacia la derecha, comunicaría (P) con (A), y (R) se encontraría cerrado. Este tipo de válvulas requiere un menor esfuerzo para la conmutación de las vías, pero presenta un mayor recorrido lo que genera un desgaste por fricción y suciedad.

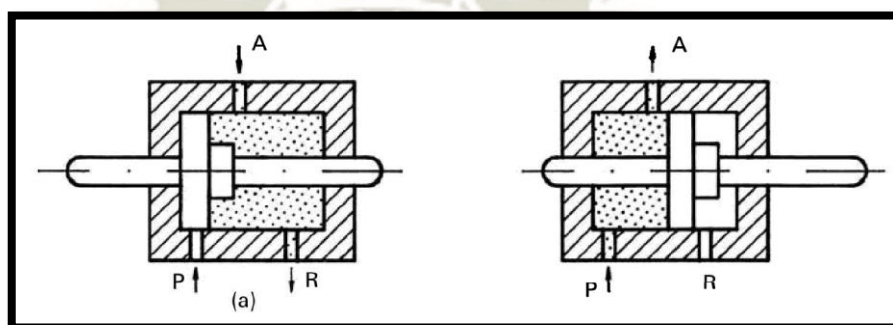


Fig. 13. Funcionamiento de una válvula de corredera. Fuente: Neumática Practica (2009)
Autor: Serrano, A.

2.2.4.2.2. Función que cumple

La división según la función que cumple es:

- Distribuidoras de flujo a los actuadores o elementos de trabajo
- De mando de otras válvulas por accionamiento manual
- Captadoras o detectoras de señal o posición

En la Fig. 14. se pueden observar estas funciones, donde la válvula principal es la 1 porque es encargada de la distribución del flujo al cilindro. Estas válvulas distribuidoras son lo suficientemente grandes como para que a través de ellas se circule el caudal que requiera el sistema. Por el contrario, las válvulas de mando (2) que genera la puesta en marcha del sistema y la válvula captadora de posición (3), son de tamaño reducido dado el paso de flujo que requieren es menor. Se trata aquí de conseguir que, con una pulsación de la válvula de mando, el vástago del cilindro avance hasta el final, y retroceda a su posición inicial de forma automática una vez accionada la válvula captadora de final de carrera. Como puede verse la (2) y la (3) cumplen una función similar comandando o pilotando el distribuidor principal (1). Pero en el circuito están ubicadas en lugares diferentes y el accionamiento también es distinto. La (2) puede montarse en cualquier lugar de la máquina, siempre que pueda ser manipulada por el operador de la misma. En cambio, la (3) ha de situarse de forma estratégica, de manera tal que pueda ser accionada mecánicamente por el propio cilindro o por el mecanismo solidario a él.

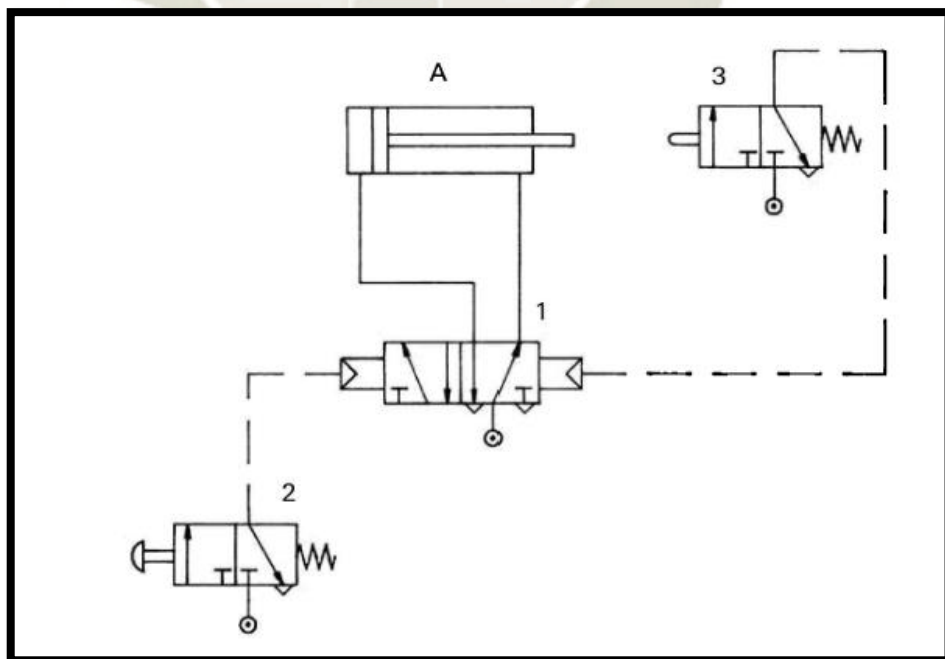


Fig. 14. Válvulas con distintas funciones. Fuente: Neumática Practica (2009)

Autor: Serrano, A.

2.2.4.2.3. Tipo de Mando

2.2.4.2.3.1. Manual

Las válvulas de accionamiento manual son aquéllas que su activación requiere la acción del operador. Considerando un sistema donde todas las válvulas son únicamente Neumáticas, el número de válvulas manuales dependerán del grado de automatización requerido. Un mayor número de estas requerirá una mayor actividad del Operador con el sistema; sin embargo, uno de los objetivos de la neumática es aumentar el grado de automatización en los procesos industriales, se busca disminuir la participación del operador para aumentar la rentabilidad del equipo.

A su vez, por muy automatizado que se encuentre un sistema, siempre habrá una válvula de accionamiento manual que dé inicio al sistema. Estas válvulas se suelen instalar en tableros de mando, donde se disponen estas válvulas para la mayor facilidad del operador, entre las válvulas de mando manual más conocidas se tendría:

- Válvulas de pulsador.
- Válvulas de Llave.
- Válvulas de Palanca.

Todas ellas suelen ser válvulas de mando pequeñas dirigidas a controlar válvulas distribuidoras más grandes. También se pueden encontrar válvulas de pedal, así como válvulas que directamente comandan a los actuadores por lo que son de mayores dimensiones debido al fluido que conducirán y su accionamiento requiere mayor esfuerzo.

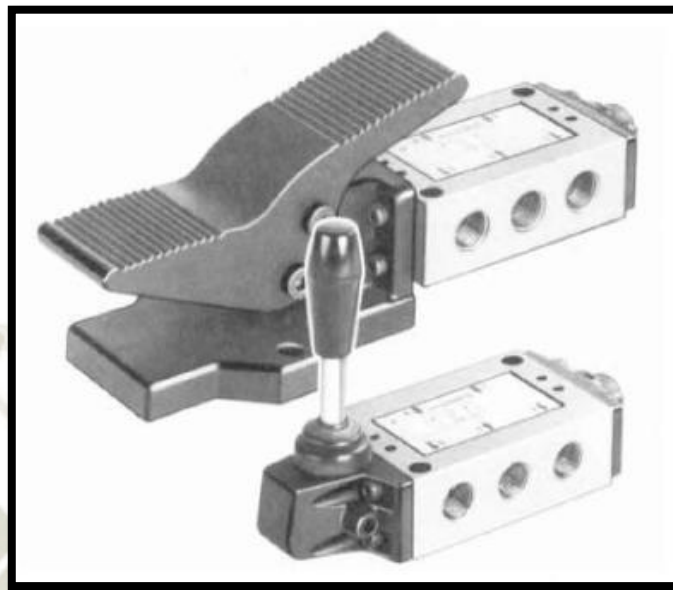


Fig. 15. Válvulas manuales. Fuente: Neumática Practica (2009)
Autor: Serrano, A.

2.2.4.2.3.2. Mecánico

Las válvulas de accionamiento mecánico son activadas por el propio sistema en movimiento. Al igual que las de accionamiento manual, la mayoría es de pequeño tamaño y se emplean como válvulas detectoras de posición o captadoras. Al igual que en las manuales, existen también de mayor tamaño que gobiernan directamente los cilindros, pero usadas con menor frecuencia. La instalación de estas válvulas se tiene que contemplar al realizar el diseño del sistema dado que estas válvulas requieren una determinada posición cerca a los actuadores para poder brindar la señal en el momento que se desee. Por el contrario, las válvulas de mando manual, distribuidores de cilindros, reguladores de presión, válvulas selectoras, pueden ubicarse en cualquier lugar, siempre que guarden el debido orden y las distancias no sean elevadas para evitar pérdidas de carga.

A parte de la ubicación de estas válvulas se tiene que tener en consideración la preservación contra roturas accidentales y la fuerza a recibir y evitar cualquier anomalía al sistema. Debe tenerse en cuenta, que, al ser accionadas por mecanismos en movimiento, la fuerza de actuación sobre el vástago no está controlada. En la Fig. 16. se muestran tres de las formas más usadas en el mando de estas válvulas como la válvula de pulsador de ataque frontal (a) la cual para que se produzca la conmutación en la válvula es preciso un recorrido determinado; después de éste, existe una carrera de seguridad que, bajo ningún concepto debe ser sobrepasada por el mecanismo de

accionamiento. Es, por tanto, preciso un tope mecánico exterior que limite la carrera del mecanismo.

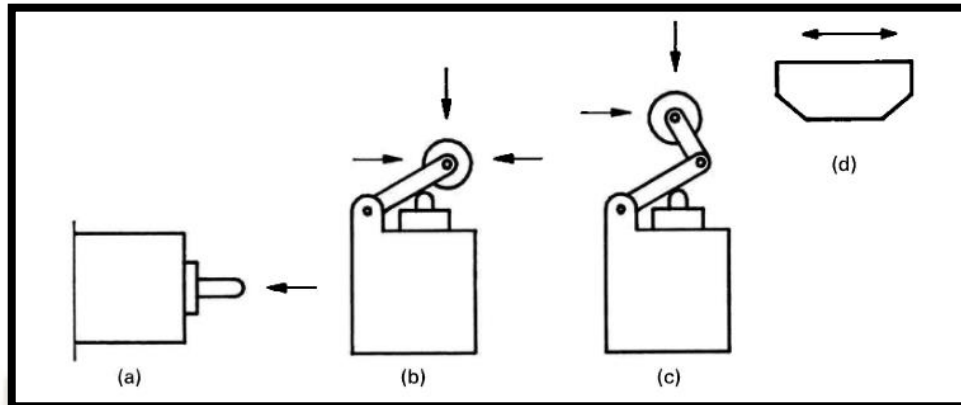


Fig. 16. Diferentes formas de mando Mecánico. Fuente: Neumática Practica (2009)

Autor: Serrano, A.

Para evitar dicho tope se pueden utilizar las válvulas de ruleta (b) y (c). Ambos mandos se accionan por topes con rampa inclinada, como el mostrado en (d). La válvula mostrada en (b) permite el accionamiento en los dos sentidos de marcha, tal y como indican las flechas. En cualquiera de los dos sentidos que pase la rampa inclinada del tope, la válvula es accionada de la misma manera. La válvula (c) sólo permite el accionamiento en un solo sentido, en este caso en el que indica la flecha. En el otro no actúa neumáticamente, aunque mecánicamente sea pulsada también. Es debido al brazo articulado de la ruleta que queda escamoteado descendiendo la roldana, pero no el vástago de actuación. Por esta razón se denominan válvulas de ruleta abatible o escamoteable. Estas válvulas tienen una gran importancia como elementos anuladores de señal en los circuitos.

2.2.4.2.3.3. Neumático

El accionamiento neumático se dispone al activar una válvula por medio de la presión del aire. Esta fuerza es la encargada de la conmutación de las vías. Mayormente se trabaja con la misma red para la actuación, sin embargo, existen elementos donde la conmutación se da por la reducción de la presión, resorte o una contrapresión.

El pilotaje neumático es un elemento de mando para la conmutación de vías o la activación de los actuadores, ya sean cilindros, actuadores rotativos, motores u otros. Las válvulas de mando de pilotaje

neumático son de pequeñas dimensiones lo suficiente para que sean capaces de direccionar el fluido hacia las cámaras de pilotaje de las distribuidoras principales.

Estas micro válvulas pueden estar separadas una cierta distancia de los distribuidores, pero ésta no debe ser excesiva.

Hay que tener en consideración que al diseñar un pilotaje neumático solo se puede producir el desplazamiento si en la cámara contraria el aire puede ser impulsado al exterior, lo que permite la conmutación. Normalmente un circuito neumático puede aparecer correctamente diseñado en el esquema, pero en la práctica no funcionar debidamente. El escape del aire al exterior es un punto que se debe analizar bien al momento de diseñar un tipo de válvula de pilotaje neumático; este escape debe desalojar el aire de una manera rápida sin ofrecer resistencia excesiva, lo que se puede lograr con tuberías de sección suficiente y con la menor longitud posible.

Las válvulas de pilotaje Neumático pueden ser: De asiento plano, de corredera, con pilotaje en un lado y retorno por resorte o pilotaje en ambos lados. Estas últimas suelen ser biestables o también denominadas con memoria, es decir, un impulso instantáneo traslada la corredera al otro extremo y, aunque desaparezca tal impulso inicial, se mantiene en esa posición hasta que una orden en sentido inverso la haga volver nuevamente a la posición anterior.

En la figura 17. Se muestran dos válvulas de accionamiento neumático y retorno por muelle. La válvula (a) es de asiento plano de 2 posiciones y 3 vías. El pilotaje no cuenta como vía u orificio en la definición de la válvula. El aire entra a presión por (x) y desplaza el vástago que abre el asiento plano. Mientras existe presión de pilotaje, la presión (P) de la vía principal se transmite a la salida (A); al cesar la presión y permitir la salida del aire de (x) al exterior, la acción del resorte vuelve a trasladar el núcleo a su posición de reposo y la vía (P) vuelve a estar cerrada.

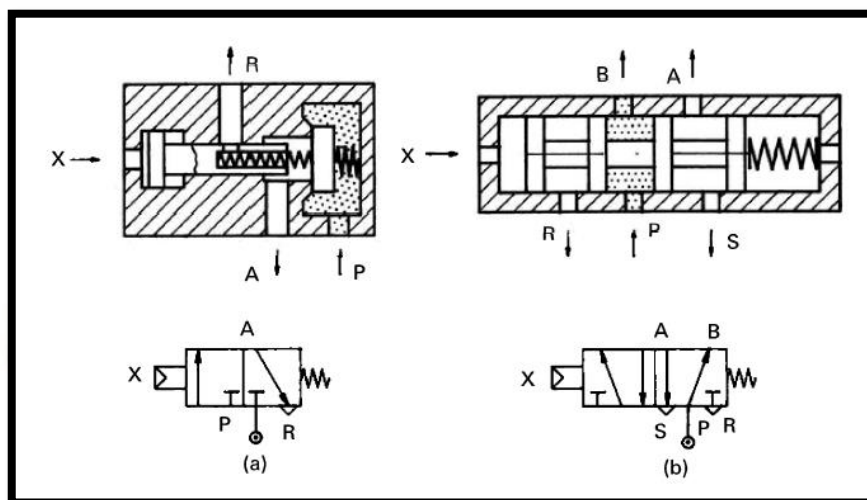


Fig. 17. Válvulas pilotadas con retorno por muelle. Fuente: Neumática Practica (2009)

Autor: Serrano, A.

La válvula (b) es de corredera de 2 posiciones y 5 vías pilotada neumáticamente y retorno por muelle a su posición de reposo. El pilotaje se realiza por (x) que desplaza a la corredera venciendo la acción del resorte del lado opuesto. En este estado, (P) comunica con (A), y (B) con la salida (R). Al cesar la presión de pilotaje, la acción del resorte vuelve a dejar la corredera en su posición de reposo comunicando (P) con (B), y (A) con (S).

2.2.4.2.3.4. Electro-Válvulas

Serrano (2009) define a las Electro-Válvulas como: “El mando electromagnético de una válvula se utiliza cuando la señal recibida procede de un final de carrera eléctrico, de un presostato o de un dispositivo eléctrico. A través de este tipo de mando la señal eléctrica es transformada en una señal neumática destinada a accionar el mecanismo de cierre o apertura de las distintas vías de las válvulas. Pueden ser de asiento o de corredera indistintamente y, también, de mando directo o indirecto, o servo - pilotadas.” (Pag.160) [13]. Del concepto anterior se entiende: “Una Electro-Válvula es una Válvula la cual recibe su señal de control de una señal eléctrica.”

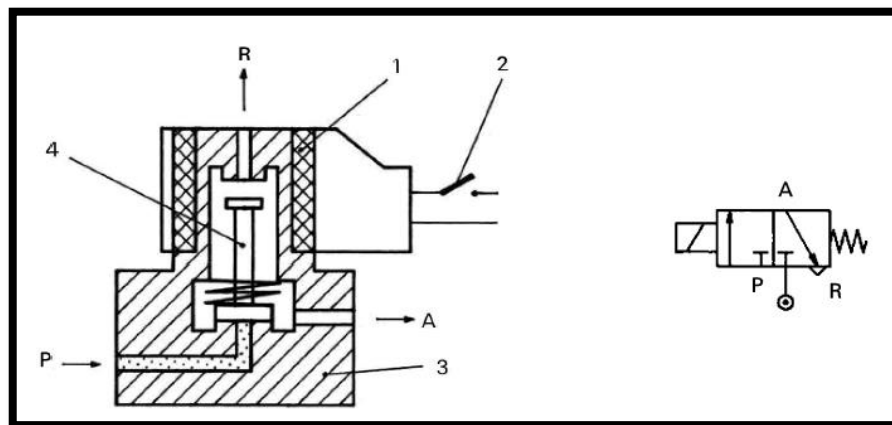


Fig. 18. Electroválvula de accionamiento directo. Fuente: Neumática Practica (2009)
Autor: Serrano, A.

2.2.4.3. Válvula Proporcional Reguladora

Serrano (2009) define a la válvula proporcional como: “Las válvulas proporcionales son elementos de las cuales se aumentan las posibilidades que ofrece esta tecnología Neumática. Para ello se cuenta con la aportación fundamental de la electrónica moderna, ya que permite lograr un control preciso del flujo neumático hacia los distintos actuadores.

Estas válvulas permiten regular con precisión las presiones neumáticas según una magnitud prefijada, ajustar la curva de presión-señal según un determinado programa, y también elegir la señal de entrada de forma opcional, con el valor de la intensidad eléctrica o con el valor de la tensión.

Las posibilidades de aplicación son diversas y van desde la obtención de una fuerza variable en los aprietes de los cilindros, hasta el ajuste de posicionamiento de elementos diversos neumáticos, así como la creación de contrapresión en dichos cilindros.” (Pag.166) [13]. Del concepto anterior entendemos como una valvular proporcional a la que es capaz de generar un control preciso del flujo según un determinado programa.

2.2.5. Variables

2.2.5.1. La Máquina

Ellis (2004) define a la maquina como: “La máquina se compone de dos partes: la planta y la retroalimentación. La planta es el elemento o elementos que producen la respuesta del sistema. Las plantas son generalmente pasivas. Los sistemas de control necesitan retroalimentación porque la planta rara vez es lo suficientemente predecible como para ser controlado en Bucle abierto,

es decir, sin retroalimentación.” (Pag.33) [6], por su parte Bolton (2001) define a la maquina como: “El proceso o planta es el sistema en el que se va a controlar la variable.” (Pag.17) [4]. De los conceptos citados anteriormente se concluye que la Maquina es: “El elemento que genera una variable, la cual permita controlar al sistema.”

2.2.5.2.El Controlador

Ellis (2004) define al controlador como: “El controlador incorpora tanto las leyes de control como la conversión de energía. El proceso de ajuste de las ganancias para alcanzar el rendimiento deseado equivale a sintonizar los parámetros de las leyes de control. La mayoría de los controladores permiten a los diseñadores ajustar las ganancias; Los controladores más flexibles permiten al diseñador modificar las propias leyes de control. Cuando se sintoniza, la mayoría de los ingenieros de control se enfocan en lograr una respuesta de comando rápida y estable. Sin embargo, en algunas aplicaciones, rechazar las perturbaciones es más importante que responder a los comandos. Todos los sistemas de control deben demostrar un rendimiento robusto porque incluso las máquinas y procesos casi idénticos varían de una forma u otra y cambian con el tiempo.” (Pag.32) [6], por su parte Bolton (2001) define al controlador como: “Este elemento determina qué acción se va a tomar dada una entrada al sistema de control.” (Pag.17) [4]. De los conceptos citados anteriormente se concluye que el controlador es: “El elemento que recibe la variable de la máquina y determina la acción a tomar en cada caso.”

2.2.5.3.Exactitud

Creus (2010) define a la exactitud como: “La exactitud es la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al valor verdadero de la magnitud medida.

Es decir, es el grado de conformidad de un valor indicado a un valor estándar aceptado o valor ideal, considerando este valor ideal como si fuera el verdadero. El grado de conformidad independiente es la desviación máxima entre la curva de calibración de un instrumento y una curva característica especificada, posicionada de tal modo tal que se reduce al mínimo dicha desviación máxima.” (Pag.14) [7], por su parte Ponce (2010) define a la exactitud como: “Para cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fijada. La exactitud de la salida del sistema depende de la calibración del controlador.” (Pag.35) [8]. De los conceptos citados anteriormente se concluye que la exactitud es: “La referencia hacia la “exactitud de medida” la cual no es una magnitud y no se expresa

numéricamente. Se dice que una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida el cual depende de la calibración del equipo.”

2.2.5.4. Precisión

Creus (2010) define a la precisión como: “La precisión es la cualidad de un instrumento por la que tiende a dar lecturas parecidas constantemente, es decir, es el grado de dispersión de las mismas. Un instrumento puede tener una pobre exactitud, pero una gran precisión. Por ejemplo, un manómetro de intervalo de medida de 0 a 10 bar, puede tener un error de cero considerable marcando 2 bar sin presión en el proceso y muestra diversas lecturas de 2,049, 2,05, 2,051, 2,052 efectuadas a lo largo del tiempo y en las mismas condiciones de servicio, para una presión del proceso de 5 bar. Se entiende que presenta un error práctico de 2 bar, sin embargo, los valores estarán muy próximos entre sí con una muy pequeña dispersión máxima de $7,052 - 7,049 = 0,003$, es decir, el instrumento tendrá una gran precisión.

Por lo tanto, los instrumentos de medida estarán diseñados por los fabricantes para que sean precisos, y como periódicamente se des calibran, deben recalibrarse para que sean exactos. A señalar que el término precisión es sinónimo de repetibilidad.” (Pag 16) [7]. Del concepto anterior se concluye a la precisión como: “La capacidad de un instrumento de dar valores próximos al valor requerido en diferentes intervalos de tiempo.”

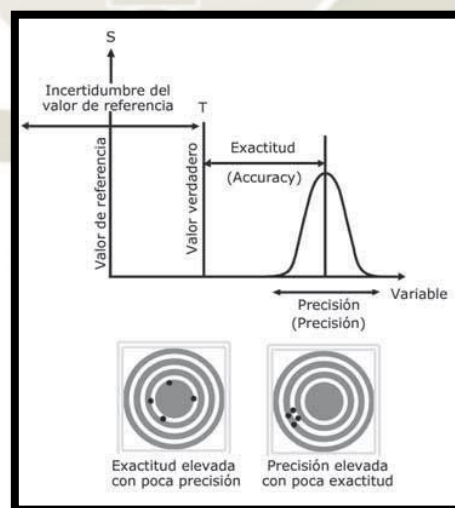


Fig. 19. Exactitud y Precisión. Fuente: Instrumentación Industrial (2010)

Autor: A. Creus

2.2.5.5.Estabilidad

Creus (2010) define a la estabilidad como: “La estabilidad en el control es una característica del lazo de control (proceso + transmisor + controlador + válvula de control), que hace que la variable vuelva al punto de consigna después de una perturbación.” (Pag.530) [7], por su parte Ponce (2010) define a la estabilidad como: “Un sistema no puede ir más allá del punto de equilibrio si tiene pequeñas perturbaciones.

- 1) Punto de equilibrio estable.
- 2) Condición de punto de equilibrio estable.
- 3) Punto de equilibrio inestable.” (Pag.104) [8]. De los conceptos citados anteriormente se concluye que la estabilidad es: “La acción del sistema que genera que la variable llegue al punto deseado después de una perturbación”.

2.2.5.6.Sensibilidad

Creus (2010) define a la sensibilidad como: “Razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona después de haberse alcanzado el estado de reposo. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida.” (Pag.763) [7], por su parte Bolton (2001) define a la sensibilidad como: “Los cambios en las características de estos elementos con el tiempo y las condiciones ambientales pueden resultar en un cambio en la función de transferencia.” (Pag.41) [4]. De los conceptos anteriores se define a la sensibilidad como: “Los cambios físicos o energéticos que pueden dar un cambio en el comportamiento de la planta”.

2.2.5.7.Linealidad

Creus (2010) define a la linealidad como: “La aproximación de una curva a una línea recta especificada.” (Pag.37) [7], por su parte Bolton (2001) define a la linealidad como: “La relación entre la fuerza F y la deformación x producida para el resorte ideal es lineal y está dada por $F = kx$. Esto significa que la fuerza F_1 produce una deformación x_1 y que la fuerza F_2 produce una deformación x_2 , entonces una fuerza igual a $(F_1 + F_2)$ producirá una deformación $(x_1 + x_2)$. Esto se denomina el principio de superposición y es una condición necesaria para un sistema lineal.” (Pag.81) [4]. De los conceptos anteriores se define a la linealidad como: “Es el crecimiento proporcional del comportamiento de una planta, el cual tiende a una línea recta.”

2.2.6. Variables de Interferencia

Las variables de interferencia o variables perturbadoras son aquellas variables no deseadas que actúan sobre un circuito de regulación en bucle cerrado y distorsionan la acción de la regulación.

2.2.6.1. Error

Creus (2010) define al error como: “El error en la medición es la desviación que presentan las medidas de una variable de proceso con relación a las medidas teóricas o ideales, este error es el resultado de las imperfecciones de los equipos y de las variables parásitas que afectan al proceso. Es el error es:

Error = Valor leído en el instrumento - Valor ideal de la variable medida

El error absoluto es:

Error absoluto = Valor leído - Valor verdadero.

El error relativo representa la calidad de la medida y es:

Error relativo = Error absoluto / Error verdadero.

Si el proceso de régimen permanente existe, se genera el llamado error estático. En condiciones dinámicas el error varía considerablemente debido a que los instrumentos tienen características comunes a los sistemas clásicos; absorben energía del proceso y esta transferencia requiere cierto tiempo para ser transmitida, lo cual da lugar a retardos en la lectura del aparato. Siempre que las condiciones sean dinámicas, existirá en mayor o menor grado el llamado error dinámico (diferencia entre el valor instantáneo y el indicado por el instrumento). El error medio del instrumento es la media aritmética de los errores en cada punto de la medida determinados para todos los valores crecientes y decrecientes de la variable medida.” (Pag.5) [7], por su parte Bolton (2001) define al error como: “El error en cualquier sistema es la diferencia entre la señal de salida requerida, es decir, la señal de entrada de referencia que especifica qué se requiere, y la señal de salida real que se presenta.” (Pag.178) [4] y Ponce (2010) define al error como: “el error es la diferencia entre el valor deseado y el valor real de la variable que se va a controlar, esto es: $\varepsilon = V - V_{\text{deseado real}}$ ” (Pag.5) [81]. De los conceptos anteriores se define a la linealidad como: “La diferencia entre el valor deseado y el valor real.”

Histéresis

Creus (2010) define a la histéresis como: “La histéresis es la diferencia que se observa en los valores indicados por el índice del instrumento o la señal de salida para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente.” (Pag.17) [7]. Del concepto anterior se entiende por histéresis: “Las mediciones realizadas con una variable de entrada creciente, a menudo producen una característica diferente de las mediciones realizadas con una variable de entrada decreciente. Así, cada valor de entrada se halla asociado a dos valores de salida. Las características ascendente y descendente forman un bucle de histéresis, cuya máxima divergencia dividida por el margen de entrada, da el valor de la histéresis.”

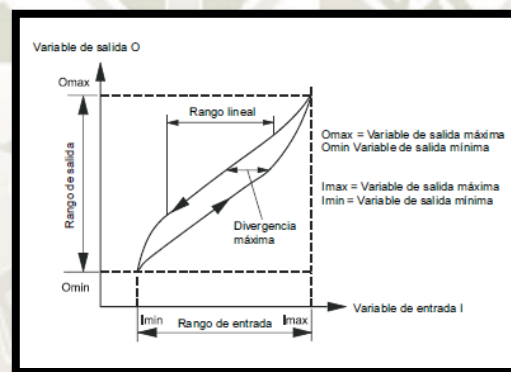


Fig. 20. Histéresis. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP111 (2015)

Autor: Festo

2.2.6.2.Ruido

Creus (2010) define al ruido como: “Cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseada que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados. Un caso especial es la interferencia de radiotransmisores RFI (Radio Frequency Interference). Puede expresarse en unidades de la señal de salida o en tanto por ciento del alcance.” (Pag.19) [7]. Del concepto anterior se entiende por histéresis: “Perturbación por lo general en la señal eléctrica que registra datos no deseados”

2.2.6.3.Zona Muerta

Creus (2010) define a la zona muerta como: “Campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida.” (Pag.765) [7]. Del concepto anterior se entiende por zona muerta: “Valores donde la señal de

salida no cambia respecto a la anterior, la zona muerta está en relación con la sensibilidad.”

2.2.6.4. Error de Estado Estable

Bolton (2001) define al error de estado estable como: “Cuando en un sistema de control se aplica un comando de entrada, se espera que después de que se desvanecen todos los efectos transitorios, la salida del sistema se asentará al valor del comando. El error entre este valor y la consigna de entrada se denomina error en estado estable. Este error es una medida de la exactitud de un sistema de control buscando llegar al valor de la entrada de comando y es el error después de que decaen todas las respuestas transitorias a la entrada. El error en estado estable para un sistema depende del sistema en cuestión y de la forma que tome la entrada al sistema. Esta variedad de tipos indica el error en estado estable que se presentará para cada una de las diferentes entradas.” (Pag.178) [4]. Del concepto anterior se entiende por error de estado estable a: “A la variación del error antes del asentamiento al valor del comando.”

2.2.7. Sintonización en Control PID

Bolton (2001) define a la sintonización como la selección de los mejores valores de los parámetros de control los cuales llevan a la respuesta de la planta al valor de consigna según el tipo de respuesta y de tiempo de llegada deseado.

Para realizara la sintonización se consideran dos formas:

- Teórica
- Heurística

De las cuales la teórica se utiliza cuando se conoce el grado y la función de transferencia de la planta, y la Heurística cuando no se conoce la función de transferencia de la planta. Para el presente trabajo de investigación se utilizará la sintonización Heurística.

2.2.7.1. Modelos de Sintonización Heurística

Para el presente proyecto se realizará una comparativa de tipos de sintonización heurística por lo que a continuación se presentaran los métodos a revisar:

- Ziegler – Nichols Primer Método (1942).
- Ziegler – Nichols Segundo Método (1942).
- Cohen y Coon Método de la curva de reacción (1953).
- Gonzáles (1994).
- Aström y Hägglund Método AMIGO (2004).

2.2.7.1.1. Ziegler – Nichols Primer Método (1942)

Bolton (2001) explica al primer método como: “El procedimiento con este método consiste en abrir el lazo de control de modo que no se presenten acciones de control. En general, la ruptura del lazo se hace entre el controlador y la unidad de corrección. Se aplica, entonces, una señal de prueba a la unidad de corrección y se determina la respuesta de la variable de proceso medida, es decir, la señal de error. La señal de prueba deberá ser tan pequeña como sea posible. “(Pag.248) [4].

Definimos al primer método de Ziegler – Nichols como el diseño del controlador a partir del tiempo de respuesta que tiene la planta sin retroalimentación (Lazo Abierto) ante una entrada de escalón, como se ve en la Fig. 21., si una planta contiene integradores o polos dominantes complejos conjugados que hagan que la planta ante una entrada escalón, no de la una respuesta en forma de “s” este método no se puede aplicar, en caso contrario si la planta presenta la forma de “s”, se puede aplicar este método, donde los datos a tomar se obtienen dibujando una recta tangente en el punto de inflexión delimitando al tiempo de retardo “L” y la constante de tiempo “T”

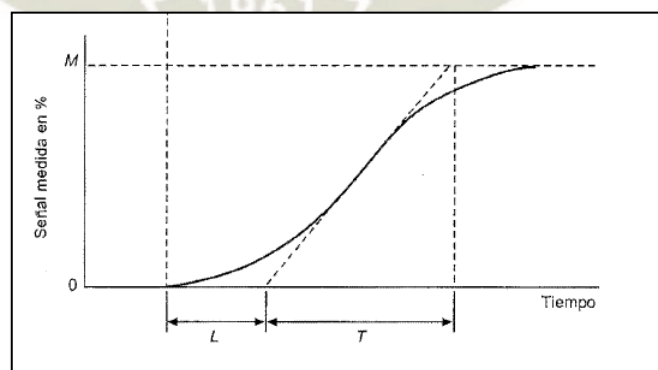


Fig. 21. Primer Método Ziegler - Nichols. Fuente: Ingeniería de control (2001)
Autor: Bolton

Para los parámetros del controlador se utiliza los valores obtenidos de la experimentación “L” y “T”, de acuerdo a las fórmulas de la Tabla 5.

Tabla. 5

Formulas Primer Método Ziegler – Nichols.

Tipo de Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

2.2.7.1.2. Ziegler – Nichols Segundo Método (1942)

Según Bolton (2001) el segundo Método de Ziegler – Nichols, se aplica con el sistema retroalimentado o de lazo cerrado, este método busca obtener una respuesta rápida como un sobrepaso aceptable de 25%, si al efectuar las fórmulas el sobrepaso es excesivo (40% o más), este método busca llegar al límite de inestabilidad donde la planta tenga un comportamiento oscilatorio sostenido durante el tiempo, utilizando solo el control proporcional para hallar la ganancia crítica el periodo de tiempo de cada oscilación para el diseño del controlador; Los pasos a realizar son los siguientes:

- Se ajustan los parámetros del controlador, tal que: $K_o=0$, $T_i=\infty$, $T_d=0$.
- Se aumenta la ganancia proporcional K_o , hasta que la respuesta de la planta se vuelva oscilatoria.
- Se afina la ganancia buscando el punto de inflexión entre la estabilidad y la inestabilidad, definimos a este valor de ganancia como crítico (K_c).
- Se mide el tiempo de pico a pico de una oscilación y se la define como el tiempo crítico (T_c).

De igual manera que en el primer método una vez definidos los parámetros a utilizar, se disponen en las fórmulas de la Tabla 6.

Tabla. 6.

Formulas Segundo Método Ziegler – Nichols.

Tipo de Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_c$	∞	0
PI	$0.45K_c$	$\frac{T_c}{1.2}$	0
PID	$0.6K_c$	$0.5T_c$	$0.125T_c$

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

2.2.7.1.3. Cohen y Coon Método de la curva de reacción (1953)

Romero (2016) define a Cohen y Coon como una variante de Ziegler y Nichols, donde se utiliza la respuesta de la planta ante una entrada escalón, para obtener unos parámetros que aplicados a una tabla nos entregan los valores para el sistema en lazo cerrado.

Sin embargo, Cohen y Coon buscaron de su experimentación que la respuesta entregada presente un decaimiento de $\frac{1}{4}$ y priorizando evitar el sobrepaso, por lo que las respuestas de este método tienen un periodo de establecimiento mayor que Ziegler – Nichols.

A diferencia de Ziegler y Nichols, Cohen y Coon utilizan el tiempo de retardo, el tiempo de respuesta obtenido de la pendiente máxima lineal y la razón entre la magnitud controlada de la planta y su relación con el punto consigna. Siendo:

- L = Tiempo de Retardo.
- T = Constante de tiempo en función de la tangente al punto de inflexión.
- K_o = Relación entre la magnitud medida (Para este caso el valor máximo de posición del actuador) entre la magnitud de entrada (Para este caso el valor máximo de voltaje que se entrega como punto consigna al controlador).

Donde, L y T se obtienen de la misma manera que en el primer método de Ziegler y Nichols, todos los parámetros se aplican a las fórmulas de la Tabla 7.

Tabla. 7.
Formulas Método Cohen y Coon.

Tipo de Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{KoL} (1 + \frac{L}{3T})$	∞	0
PI	$\frac{T}{KoL} (0.9 + \frac{L}{12T})$	$L \frac{30 + 3\frac{L}{T}}{9 + 20\frac{L}{T}}$	0
PID	$\frac{T}{KoL} (\frac{4}{3} + \frac{L}{4T})$	$L \frac{32 + 6\frac{L}{T}}{13 + 8\frac{L}{T}}$	$L \frac{4}{11 + 2\frac{L}{T}}$

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

2.2.7.1.4. Gonzáles (1994)

Al igual que Cohen y Coon, Gonzales presenta una variación del primer método de Ziegler y Nichols de una planta en lazo abierto, el cual busca que la respuesta del sistema presente menos ruido con el costo de un mayor tiempo de establecimiento. Como lo demuestra Romero (2016) en su experimentación del control de nivel de una planta con este método se obtienen respuestas lentas, sin embargo, este control busca controlar la sobre oscilación y el establecimiento dándole prioridad a T_i y T_d , por ende, este método se suele a aplicar a plantas que presentan una respuesta de tiempo considerable a la entrada escalón.

Las variables que utiliza Gonzales para la selección de los parámetros de control son:

- Factor de Amortiguamiento unificado “ δ ”
- Relación entre T_d y T_i “ α ”
- L = Tiempo de Retardo
- T = Constante de tiempo en función de la tangente al punto de inflexión.
- K_o = Relación entre la magnitud medida (Para este caso el valor máximo de posición del actuador) entre la magnitud de entrada (Para este caso el valor máximo de voltaje que se entrega como punto consigna al controlador).

Donde, L y T se obtienen de la misma manera que en el primer método de

Ziegler y Nichols, todos los parámetros se aplican a las fórmulas de la Fig. 22., Donde $T_o=L$, $T_p= T$, $K= K_o$.

Controlador	Parámetros	Ajuste por coeficiente de amortiguamiento (δ)
PI	ω_n	$-\frac{2\delta}{T_o} + \sqrt{\frac{4\delta^2}{T_o^2} + \frac{2}{T_p T_o}}$
	K_p	$\frac{\omega_n^2 T_p T_o}{2K}$
	T_i	$\frac{T_o}{2}$
PID	ω_n	$\frac{-\delta T_p + \sqrt{\delta^2 T_p^2 + T_p (T_o - T_i) - \alpha T_i^2}}{T_p (T_o - T_i) - \alpha T_i^2}$
	K_p	$\frac{\omega_n^2 T_i T_p}{(1 + \omega_n^2 \alpha T_i^2) K}$
	T_i	$\frac{T_o}{4\alpha} (1 - \sqrt{1 - 4\alpha})$
	T_d	αT_i

Fig. 22. Fórmulas de ajuste Gonzáles en bucle abierto. Fuente: Modelado, Identificación y control de una planta Piloto (2016) Autor: Romero

2.2.7.1.5. Aström y Hägglund Método AMIGO (2004)

Aström, K y Hägglund (2004) definen a su método como una sintonización simple con un comportamiento robusto, en su trabajo explican al Primer Método de Ziegler – Nichols como una larga prueba de diferentes plantas donde el parámetro de rigor fue el sobre impulso del 25%, el cual tiene un comportamiento rápido, sin embargo, ellos consideran que el mejor control de una planta debe mezclar robustez y comportamiento.

Según Aström, K y Hägglund (2004), una planta robusta debe enfocar el diseño en maximizar la ganancia integrativa, de ello formularon el método MIGO (M-constrained integral gain optimization) y la aproximación para simplificar MIGO, lo llamaron AMIGO.

Los parámetros de AMIGO son:

- L = Tiempo de Retardo.
- T = Constante de tiempo en función de la tangente al punto de inflexión.
- K_o = Ganancia estática.
- K_v = Relación entre K_o y T .

Las fórmulas de AMIGO se disponen, en la Fig. 23, donde $K_p=K_o$.

$$K = \begin{cases} \frac{0.35}{K_v L} - \frac{0.6}{K_p}, & \text{para } L < T/6 \\ \frac{0.25T}{K_p L}, & \text{para } T/6 < L < T \\ \frac{0.1T}{K_p L} + \frac{0.15}{K_p}, & \text{para } T < L \end{cases}$$

$$T_i = \begin{cases} 7L, & \text{para } L < 0.11T \\ 0.8T, & \text{para } 0.11T < L < T \\ 0.3L + 0.5T, & \text{para } T < L \end{cases}$$

$$T_d = \frac{0.5LT}{0.3L + T}$$

Fig. 23. Fórmulas de AMIGO. Fuente: Control PID, un enfoque descriptivo (2005)
Autor: Cova

2.2.8. Normatividad

La presente investigación se rige en la siguiente normativa para la representación:

Tabla. 8.
Normatividad.

Norma	Descripción
DIN ISO1219	Sistemas y equipos de fluidos, símbolos
DIN 1319 Part 1	Terminología básica de la tecnología de medición: Medición, recuento, verificación
DIN 1319 Part 2	Terminología básica de la tecnología de medición: Utilización de equipos de medición
DIN 19221	Medición y regulación: Símbolos y fórmulas utilizados en regulación

DIN 19222	Medición y regulación: Instrumentación y control, terminología
DIN 19225	Medición y regulación: Denominación y clasificación de reguladores
DIN 19226	Tecnología de regulación en bucle abierto y en bucle cerrado: Terminología y denominaciones
DIN 19227	Medición y regulación: Símbolos gráficos y letras de código para instrumentación y control de procesos
DIN 19231	Medición y regulación: Margen de presión para transmisión de señales neumáticas
DIN 19233	Máquinas automáticas, automatización: Terminología
DIN 19236	Medición y regulación: Optimización, terminología
DIN 19237	Medición y regulación: Tecnología de regulación en bucle cerrado, terminología
DIN 19239	Medición y regulación: Tecnología de regulación en bucle abierto, controles lógicos programables, programación
DIN 40719 Part 60	Documentación de circuitos: Creación de diagramas de función para medición y regulación
DIN 44300	Procesamiento de datos: Terminología
DIN 66025	Automatización industrial: Estructura de programas para máquinas controladas alfanuméricamente
DIN 66201 Part 1	Sistemas de procesos por ordenador: Terminología
DIN 66217	Ejes coordinados y sentidos de movimiento para máquinas de control numérico
DIN 66257	Máquinas de control numérico: Terminología
IEC 27-2A	Símbolos de letras a utilizar en tecnología eléctrica, Parte 2: Telecomunicaciones y electrónica. Primer suplemento
IEC 50 (351)	Vocabulario internacional de electrotecnia. Control automático

DIN IEC 381 Part 1	Señales analógicas para sistemas regulados en bucle abierto y en bucle cerrado, señales DC analógicas; idéntico a IEC 381-1, edición 1982
ISO 3511-3	Funciones de regulación e instrumentaciones en la medición de procesos. Representación simbólica; Parte 3: Símbolos detallados para diagramas de interconexión de instrumentos
VDI/VDE 3844	Actuadores para el accionamiento de elementos finales de control, características para actuadores neumáticos y electrohidráulicos
VDI/VDE 3685	Reguladores adaptativos: Terminología, propiedades, notas y ejemplos
VDI 2860	Sistemas de montaje y manipulación, funciones de manipulación, manipuladores: Terminología, definiciones, símbolos
VDI 2225	Métodos de diseño de ingeniería hacia el costo óptimo

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DEL DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

3.1. PARTES DEL SISTEMA

Debido a las etapas del proyecto explicadas en el Capítulo I, se desarrollará el presente proyecto con una división:

Etapas de Fuerza: Es el fenómeno o situación explicado, para este caso sería la planta la cual es afectada por la presencia o acción de la etapa de control. De la teoría de control estudiada, se puede decir que esta variable es una condición de efecto, en futuras menciones se nombrará a esta variable como FUERZA, considerando al sistema de fuerza como la implementación de la parte neumática del actuador, las válvulas distribuidoras de la parada de emergencia, también se considerará los elementos auxiliares.

Etapas de Control: Es la encargada de explicar, condicionar, o determinar el cambio en los valores de la etapa de fuerza. Para el presente caso es la variable Causal o experimental dado que es la variable manipulada por el investigador, en futuras menciones se mencionará a esta variable como CONTROL, donde se considerará al sistema de control a las tarjetas eléctricas, el sensor, la válvula proporcional y los pulsadores de inicio y parada como válvulas de mando.

El sistema se compone de la unión de las 2 etapas como se puede ver en la Fig. 24, donde los elementos de unión para ambas etapas se describen como los accesorios de unión, la suma de estos tres componentes nos entrega el Sistema.

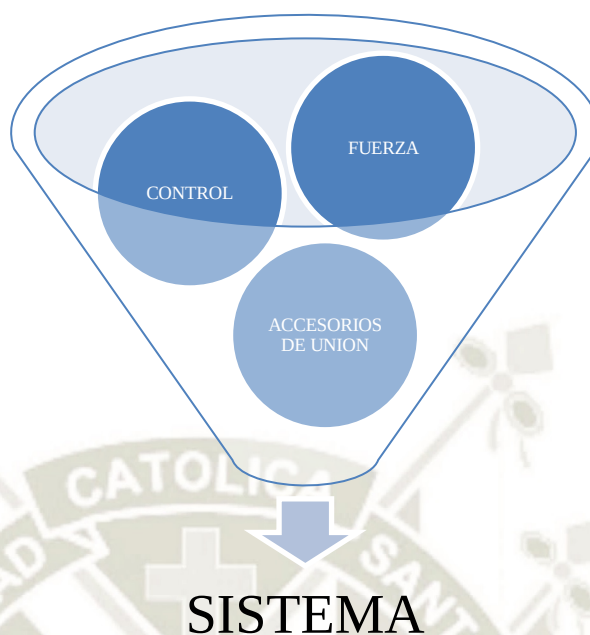


Fig. 24. Diagrama de partes del sistema. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela

3.1.1. Referencia Industrial del Sistema

La energía neumática se encuentra en una gran gama de procesos industriales, como se mencionó en el capítulo II, los sistemas neumáticos son seleccionados por su costo de aplicación y disponibilidad energética, dado que la neumática es una energía limpia y rápida.

Algunos ejemplos donde podemos encontrar el control de posición de sistemas neumáticos en la industria son:

- En minería, se pueden apreciar en sistemas de montaje temporal, tanto de control Todo-Nada, Manual y Automáticos, también en algunos casos fijos, como es el caso de puentes grúa de cargas pequeñas o el posicionamiento de Polipastos.
- En la industria de la Imprenta, los equipos de impresión presentan sistemas finos de succión y posicionamiento de hojas, donde depende la longitud del desplazamiento si el control será Todo-Nada o Automático.

En la Fig.25. Se puede observar el montaje de un Polipasto eléctrico fijo donde su posicionamiento es neumático, cerca del chute de descarga, de una planta minera de procesamiento de cobre. A su vez en la Fig. 26. se observa el montaje de un polipasto temporal de posicionamiento neumático con control manual.

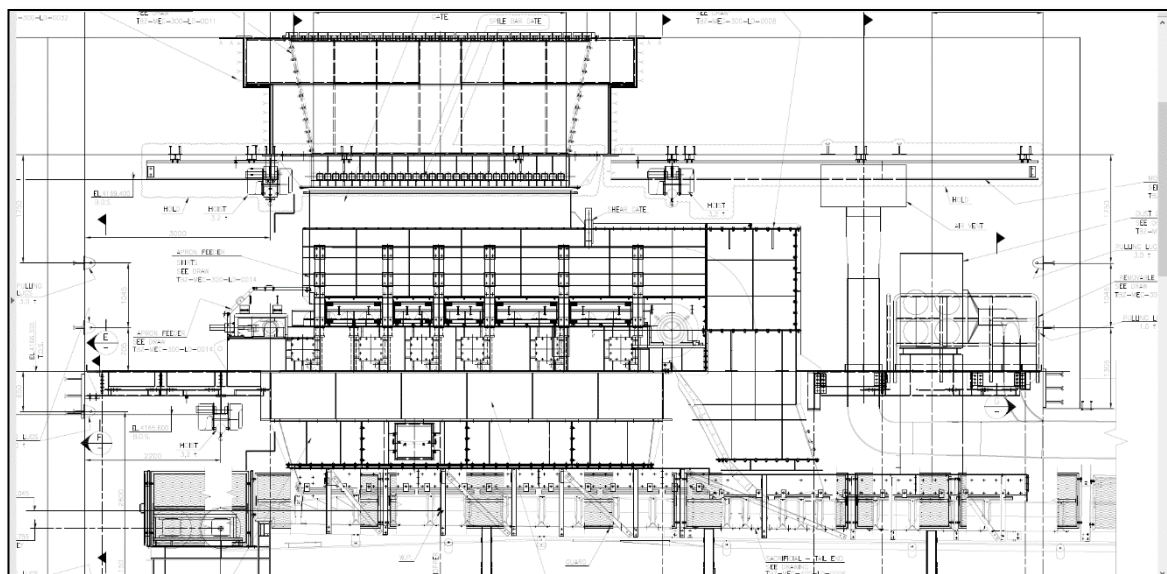


Fig. 25. Posicionamiento Neumático de Polipasto en zona de descarga de material de minera de cobre. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela



Fig. 26. Posicionamiento Neumático de Polipasto en instalación Temporal. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela

3.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Como se mencionó en el Capítulo I (1.16.2), el presente proyecto se instalará en el laboratorio de Automatización y Control de la escuela de Mecánica, Mecánica – Eléctrica y Mecatrónica, específicamente en la sección de Neumática y Oleo hidráulica. Para la implementación del sistema solo se comentará la selección de los elementos que se adquirirán, posteriormente se escogerá la solución óptima, teniendo en consideración que se debe adaptar a los módulos del laboratorio se explicara los componentes que intervendrán, tanto adquiridos como los componentes utilizados del propio laboratorio. La selección se tomará teniendo como criterio formar el sistema que se puede observar en la Fig. 27. donde los elementos a adquirir están en rojo.

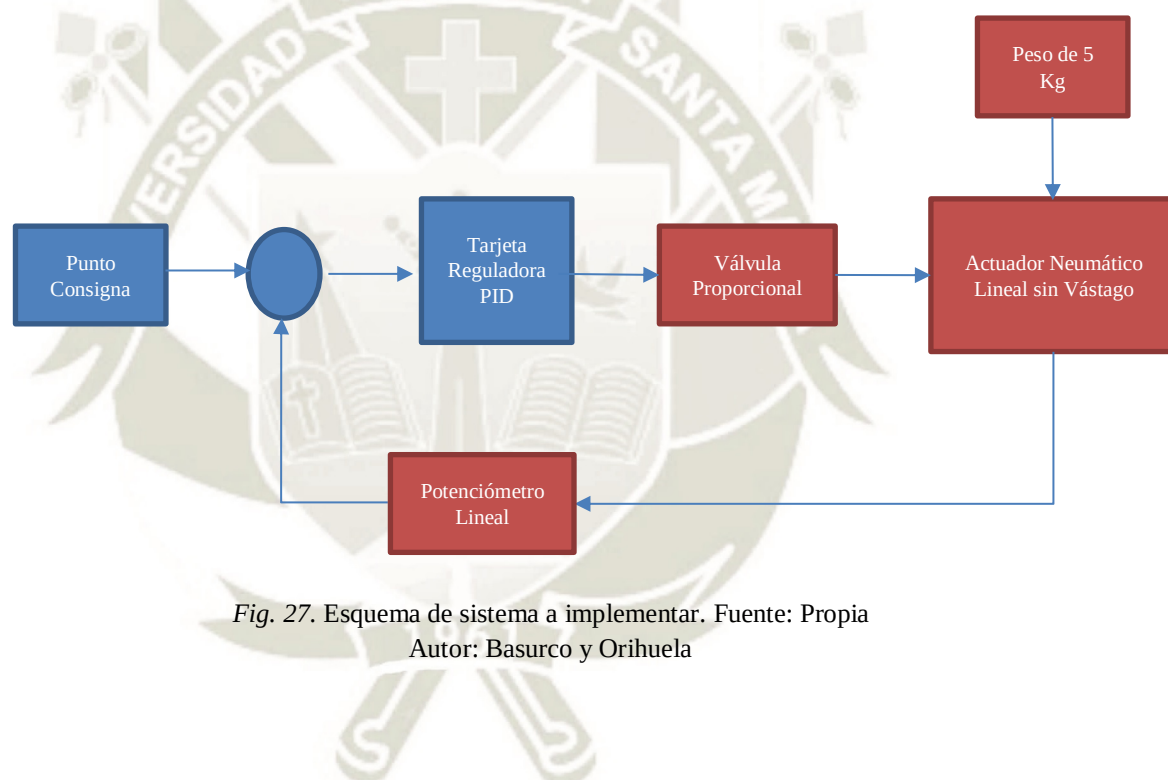


Fig. 27. Esquema de sistema a implementar. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela

3.2.1. Lista de Exigencias

Tabla. 9.
Lista de exigencias.

Tarea	Deseo / Exigencia	Descripción
Actividad Principal	E	Posicionar la carga a una distancia proporcional del punto consigna
Actividad Principal	E	Debe ser un módulo practico, aplicable al laboratorio para utilización de los usuarios
Actividad Principal	D	Calibración de los equipos, duración mínima 1 año
Transporte	D	El peso no debe ser excesivo por cada componente, para que una persona pueda llevarlo
Costo	D	Alrededor de \$ 5000
Energía	E	El sistema de fuerza debe ser Neumático (Presión mínima operativa 1 bar - 5 bar)
Energía	E	El control debe ser Eléctrico y Electro - Neumático
Ergonomía	D	La colocación de las piezas, debe ser intuitiva sin exigir maniobras riesgosas al usuario
Fabricación	D	En lo posible, no se deben fabricar o construir partes extras al módulo, para evitar sobretiempos
Montaje	E	Debe ser compacto, de fácil montaje y des - ensamble piezas no mayores a 5 kg.
Mantenimiento	D	Baja frecuencia de mantenimiento

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

3.2.2. Propuesta de adquisición (Fuerza)

3.2.2.1. Actuador Lineal

Para el presente proyecto requerimos un Actuador Neumático lineal sin vástago dentro de las posibilidades de compra tenemos 4 opciones:



Fig. 28. Actuador Lineal sin Vástago STBN - 448. Fuente: Web de Ventas ASCO
Autor: ASCO



Fig. 29. Actuador Lineal sin Vástago 192501. Fuente: Web de Ventas FESTO
Autor: FESTO



Fig. 30. Actuador Lineal sin Vástago MY1B-Z. Fuente: Web de Ventas SMC
Autor: SMC



Fig. 31. Actuador Lineal sin Vástago STM Serie 2. Fuente: Web de Ventas PNEUMATIC
Autor: PNEUMATIC

3.2.2.2. Amortiguador

El sistema tiene como objetivo el posicionamiento de una carga referencial de cinco kilogramos, por lo cual durante las pruebas se debe evitar el sobrepaso de la carrera del actuador lineal y a su vez para evitar colisiones se requerirá la utilización de amortiguadores al inicio y al final de la carrera. De la búsqueda se encontró 4 Opciones:



Fig. 32. Amortiguador 34572. Fuente: Web de Ventas FESTO
Autor: FESTO



Fig. 33. Amortiguador de Choque. Fuente: Web de Ventas ASCO
Autor: ASCO



Fig. 34. Amortiguador AACJ1210-F. Fuente: Web de Ventas FLUIDWORD
Autor: FLUIDWORD

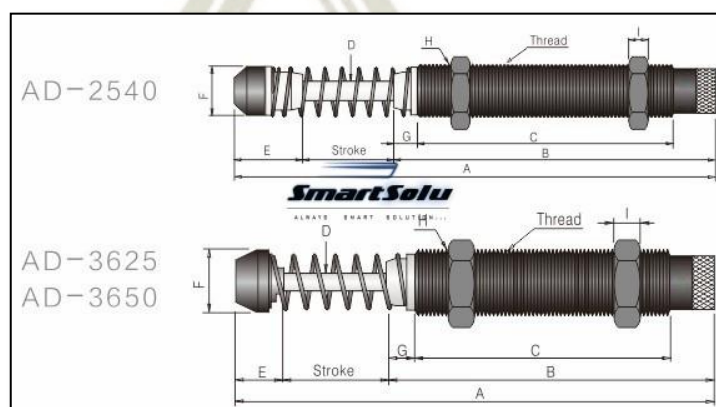


Fig. 35. Amortiguador AD-2540. Fuente: Web de Ventas SMARTSOLU
Autor: SMARTSOLU

3.2.2.3. Peso

Para la variable que generara el error, utilizaremos un peso de cinco kilogramos, el cual debe poder adaptarse a las alternativas de actuador lineal. Por lo que se tienen 2 opciones:



Fig. 36. Adquirir una barra de acero y adaptarlo al actuador. Fuente: Aceros Arequipa
Autor: Aceros Arequipa



Fig. 37. Peso de 5Kg 34065. Fuente: Web de Ventas Festo
Autor: Festo

3.2.2.4. Regla

Para poder observar la posición del actuador con el peso se debe adquirir o adaptar una regla para la presentación en los módulos. Se encontró 3 posibilidades:



Fig. 38. Regla Aluminio para módulos. Fuente: Web de Ventas PLANTEC
Autor: PLANTEC



Fig. 39. Regla Espigada de Aluminio. Fuente: Web de Ventas WOLFCRAFT
Autor: WOLFCRAFT

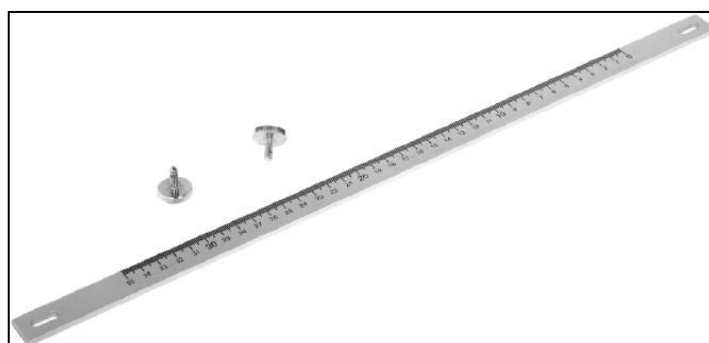


Fig. 40. Regla de Aluminio 525927. Fuente: Web de Ventas FESTO
Autor: FESTO

3.2.3. Propuesta adquisición (Control)

3.2.3.1. Válvula Proporcional Neumática

Como válvula de mando y distribución, se requiere una válvula proporcional neumática dado que con ella se puede recibir la acción directa del controlador para suministrar el caudal apropiado. Se tienen 3 Opciones:



Fig. 41. Válvula proporcional Sentronic Plus Serie 614. Fuente: Web de Ventas EMERSON
Autor: EMERSON



Fig. 42. Válvula proporcional Servotronic 615. Fuente: Web de Ventas ASCO
Autor: ASCO



Fig. 43. Válvula proporcional 167078. Fuente: Web de Ventas FESTO
Autor: FESTO

3.2.3.2. Potenciómetro Lineal

Como sensor de posición se decidió la utilización de un potenciómetro lineal, dado que es de primer grado y su utilización es practica dado que convierte al desplazamiento en un valor de voltaje.



Fig. 44. Encoder lineal LWH. Fuente: Web de Ventas MINUO
Autor: MINUO

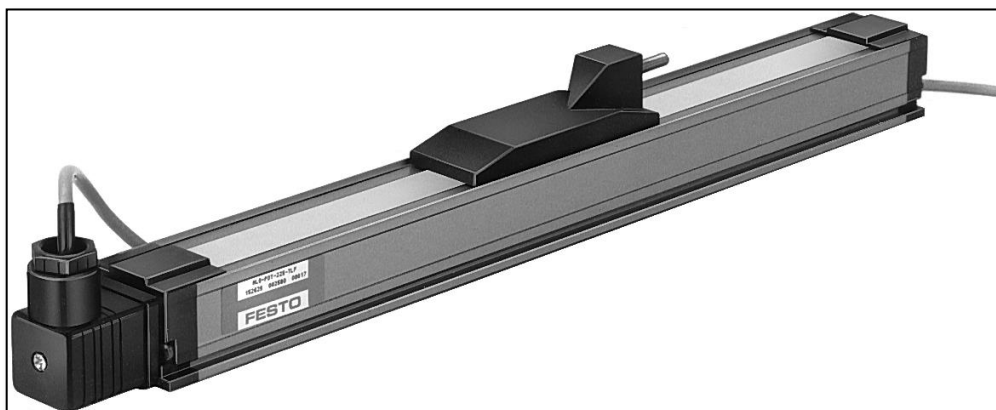


Fig. 45. Potenciómetro Lineal 152628. Fuente: Web de Ventas Festo
Autor: FESTO



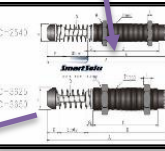
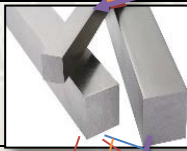
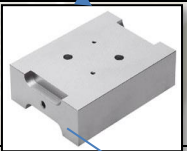
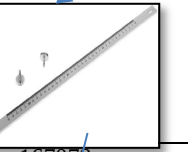
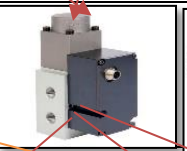
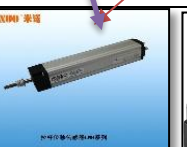
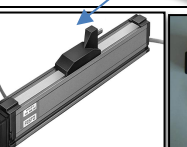
Fig. 46. Transductor de posición KTC. Fuente: Web de Ventas FIVETECNC
Autor: FIVETECNC



Fig. 47. Potenciómetro RSA0N12M9A04. Fuente: Web de Ventas ALPS RSA0N12M9
Autor: ALPS

3.2.4. Cuadro Morfológico

Tabla. 10.
Cuadro de propuestas.

Tipo	Equipo	Detalle	Descripción			
Fuerza	Actuador	Código	STBN - 448	192501	MY1B-Z	STM Serie 2
		Marca	ASCO	FESTO	SMC	PNEUMATIC
	Amortiguador	Imagen				
		Código	34572	Amortiguador de Choque	AACJ1210-F	AD-2540
	Peso	Marca	FESTO	ASCO	FLUIDWORD	SMARTSOLU
		Imagen				
	Regla	Código	S/N	34065		
		Marca	ACEROS AREQUIPA	FESTO		
	Válvula	Imagen				
		Código	S/N	R. ESPIGADA	525927	
Potenciómetro Lineal	Marca	PLANTEC	WOLFCRAFT	FESTO		
	Imagen					
Control	Válvula	Código	Sentronic Plus Serie 614	Servotronic 615	167078	
		Marca	EMERSON	ASCO	FESTO	
Potenciómetro Lineal	Imagen	Imagen				
		Código	LWH	152628	KTC	RSA0N12M9A04
Potenciómetro Lineal	Imagen	Marca	MINUO	FESTO	FIVETCNC	ALPS
		Imagen				

- Propuesta 1
- Propuesta 2
- Propuesta 3
- Propuesta 4

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

3.2.5. Descripción de las propuestas

3.2.5.1. Propuesta 1

La primera opción, propone la utilización de un actuador lineal sin vástago de marca ASCO como principal componente, en este caso se tiene 3 componentes de la misma línea, el actuador, el amortiguador y la válvula de mando proporcional los cuales son de fabricación americana, adicionalmente se requiere para esta opción la fabricación de un bloque de cinco kilogramos para el peso y la adquisición del potenciómetro y la regla.

- Entrega (1 mes)
- Fácil montaje en los módulos del laboratorio
- No requiere compra de piezas adicionales para el montaje del actuador, el amortiguador o la válvula proporcional.
- Opción con el mayor costo

3.2.5.2. Propuesta 2

La segunda opción, dispone del actuador lineal sin vástago de marca FESTO como principal componente, en este caso se tienen los 5 componentes de la misma línea, actuador, amortiguador, peso, válvula proporcional, potenciómetro lineal y regla; los cuales son de fabricación alemana.

- Entrega (2 meses).
- Fácil montaje en los módulos del laboratorio.
- No requiere compra de piezas adicionales para el montaje.
- Opción de costo medio.

3.2.5.3. Propuesta 3

La tercera opción, utiliza como principal componente al actuador lineal sin vástago de marca SMC de origen japonés, es compatible con el amortiguador marca FLUIDWORK y una gama de válvulas proporcionales, requiere la fabricación del peso y la adaptación de la regla y el potenciómetro lineal.

- Entrega (2 meses).
- La mitad de los componentes se deben adaptar para el módulo del

laboratorio.

- Requiere compra de piezas para el montaje de la regla y el potenciómetro lineal.
- Opción de costo medio.

3.2.5.4. Propuesta 4

La última opción presenta un conjunto de componentes de fabricación china los cuales se deben adaptar para el montaje en los módulos del laboratorio, donde como principal componente se tiene al actuador lineal PNEUMATIC.

- Entrega (1 a 3 meses).
- Se requiere adaptar todos los componentes para la instalación.
- Requiere la compra o fabricación de piezas adicionales.
- Opción de menor costo.

3.2.6. Selección de la Propuesta

Para la evaluación de la propuesta se realizará una selección cualitativa de las diferentes soluciones por medio de criterios ponderados.

3.2.6.1. Valoración técnica

Se determinará 7 criterios, los cuales son la base para hallar el valor de X_i , donde:

$$X_i = \frac{\sum G \times P}{\sum G \times G} \quad (3.2.6.1.1.)$$

Tabla. 11.
Valoración Técnica.

IMPLEMENTACION										
VALORACION TECNICA										
P: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)										
0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)										
G: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.										
VARIANTES DEL CONCEPTO			PROPUESTA 1		PROPUESTA 2		PROPUESTA 3		PROPUESTA 4	
			P1		P2		P3		P4	
Nro.	Criterio de Evaluacion	G	P	G*P	P	G*P	P	G*P	P	G*P
1	Funcionabilidad	4	4	16	4	16	4	16	2	8
2	Compatibilidad de elementos	3	2	6	3	9	2	6	1	3
3	Diseño	3	2	6	3	9	2	6	1	3
4	Seguridad	3	3	9	3	9	3	9	1	3
5	Facilidad de Montaje	2	2	4	2	4	2	4	1	2
6	Mantenimiento	1	1	1	1	1	1	1	0	0
7	Compatibilidad con Laboratorio	3	2	6	3	9	2	6	1	3
Puntaje máximo $\sum G$ o $\sum G*P$		19		48		57		48		22
VALOR TECNICO Xi				0.84		1.00		0.84		0.39
Posición				2		1		3		4

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

3.2.6.2. Valoración Económica

Se determinará 7 criterios, los cuales son la base para hallar el valor de Yi, donde:

$$Yi = \frac{\sum G \times P}{\sum G \times G} \quad (3.2.6.2.1.)$$

Tabla. 12.
Valoración Económica.

IMPLEMENTACION										
VALORACION ECONOMICA										
P: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)										
0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)										
G: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.										
VARIANTES DEL CONCEPTO			PROPUESTA 1			PROPUESTA 2		PROPUESTA 3		PROPUESTA 4
			P1			P2		P3		P4
Nro.	Criterio de Evaluacion	G	P	G*P	P	G*P	P	G*P	P	G*P
1	Facilidad Adquisicion	4	3	12	4	16	3	12	2	8
2	Cantidad de Piezas	2	2	4	2	4	2	4	1	2
3	Costo Equipo	3	1	3	2	6	2	6	3	9
4	Costo Transporte	3	1	3	3	9	1	3	2	6
5	Requiere Retrabajos	3	2	6	3	9	2	6	1	3
6	Se debe modificar Piezas	2	2	4	2	4	2	4	1	2
7	Garantia	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Puntaje máximo $\sum G$ o $\sum G*P$		18		33		49		36		30
VALOR ECONOMICO Yi				0.63		0.94		0.69		0.576923
Posición				2		1		3		4

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

3.2.6.3. Matriz de Selección

De la valoración técnica y económica se obtiene la tabla siguiente:

Tabla. 13.
Criterio Xi y Yi.

Criterio	P1	P2	P3	P4
Xi	0.84210526	1	0.84210526	0.38596491
Yi	0.63461538	0.94230769	0.69230769	0.57692308

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

De la tabla 13. Se obtiene la matriz de selección, siguiente:

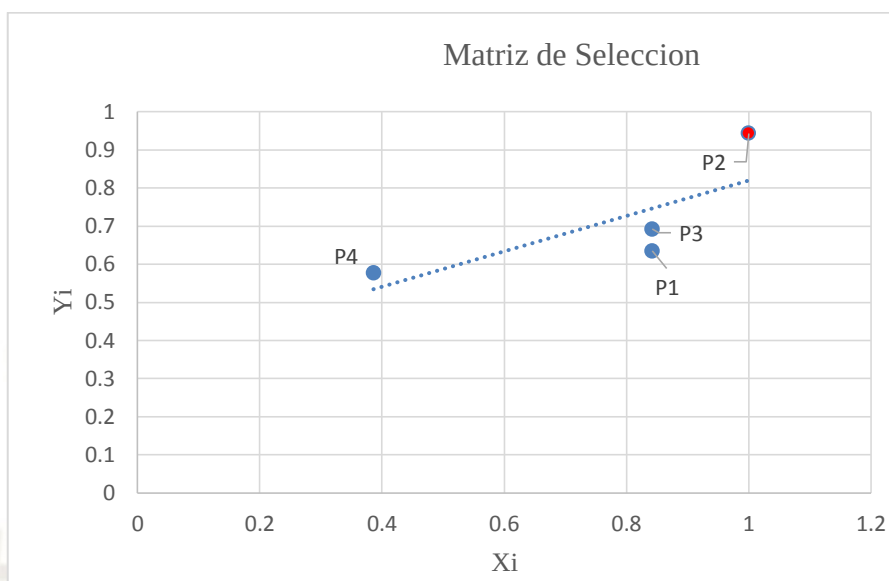


Fig. 48. Matriz de Selección. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela

Según lo mostrado en la Fig. 48., se determina la solución óptima a la Propuesta 2, que comprende la adquisición de los componentes de la marca FESTO.

3.3. CIRCUITOS DEL SISTEMA

El sistema de control de posición, se basa en dos circuitos: Fuerza y Control, como se mencionará a continuación.

3.3.1. Circuito de Fuerza

Los componentes del circuito de fuerza son los siguientes:

- Compresor.
- Unidad de mantenimiento con Válvula de cierre.
- Distribuidor.
- Válvula Biestable 5/2.
- Válvula reguladora de caudal unidireccional
- Actuador Neumático lineal sin vástago.
- Peso.
- Mangueras Neumáticas.
- Regla.

3.3.2. Circuito de Control

Los componentes del circuito de control son los siguientes:

- Fuente de alimentación 24 V.
- Tarjeta de Señales Eléctricas.
- Tarjeta de Punto Consigna.
- Tarjeta Reguladora PID.
- Válvula Proporcional Electro – Neumática.
- Potenciómetro Lineal.
- Cables Eléctricos.

3.4. DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES

3.4.1. Componentes de Fuerza

3.4.1.1. Compresor

Encargado de comprimir el aire y entregarlo al sistema.



*Fig. 49. Compresor. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO*

Parámetros:

Medio	Aire comprimido
Presión	800 kPa (8 bar) Pmax
Capacidad de Aspiración	50 l/min
Volumen del deposito	24 l
Salida de aire comprimido	1/4 "o KD4
Emisión acústica	45 dB (A)/1m
Tiempo de utilización	Máx. 50 %
Regulación	Válvula reguladora de presión con manómetro

Símbolo:

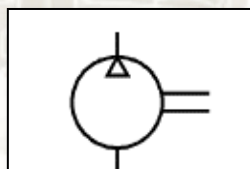


Fig. 50. Símbolo Compresor. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

3.4.1.2. Unidad de mantenimiento con Válvula de cierre

El filtro con separador de agua, limpia el aire comprimido de suciedad, virutas de la tubería, óxidos y condensados. El regulador de presión ajusta el aire comprimido suministrado a la presión de funcionamiento requerida y compensa las fluctuaciones de la presión de entrada. Una flecha en el cuerpo indica el sentido del flujo. El vaso del filtro posee un tornillo de drenaje. El manómetro muestra la presión ajustada. La válvula de interrupción corta y descarga la presión del sistema. La válvula de 3/2 vías se acciona deslizando la corredera cilíndrica azul.



Fig. 51. Unidad de mantenimiento. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

Parámetros:

Medio	Aire comprimido
Diseño	Filtro sinterizado con separador de agua, regulador de presión tipo émbolo.
Posición de montaje	Vertical $\pm 5^\circ$
Caudal nominal estándar	750 l/min
Presión máx. entrada.	1600 kPa (16 bar)
Presión máx. de funcionamiento.	1200 kPa (12 bar)
Conexión	Racor rápido para zócalo de G 1/8, Racores QS para tubo de plástico PUN 6 x 1.

Símbolo:

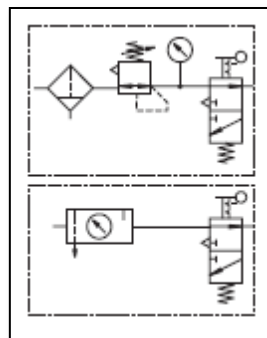


Fig. 52. Unidad Mantenimiento. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

3.4.1.3. Distribuidor

El distribuidor con una alimentación P común, permite alimentar de aire comprimido hasta ocho puntos en un sistema de control neumático.



Fig. 53. Compresor. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

Parámetros:

Conexión	G 1/8, 1 racor QSK-1/8-6 para tubo de plástico PUN 6 x 1, 8 racores QSK-1/8-4 para tubo de plástico PUN 4 x 0.75
----------	--

Símbolo:

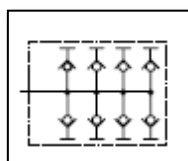


Fig. 54. Distribuidor. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)

Autor: FESTO

3.4.1.4. Válvula Biestable 5/2

Válvula de memoria biestable.



Fig. 55. Válvula Biestable 5/2. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)

Autor: FESTO

Parámetros:

Conexión	Racor rápido roscado para tubos flexibles de material sintético PUN-4 x 0,75 o para tubos flexibles calibrados interna o externamente.
Presión de Mando	150 a 1000 kPa (1,5 a 10 bar)
Presión de Funcionamiento	1600 kPa (16 bar)

Uso	Apropiada para funcionamiento en vacío y reversible.
Fijación	Sistema de fijación rápida Quick-Fix.

Símbolo:

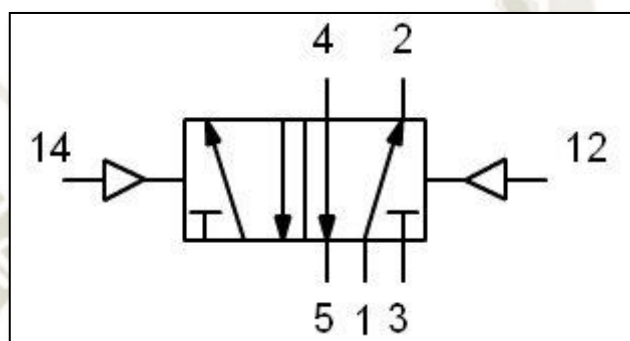


Fig. 56. Símbolo Válvula 5/2. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

3.4.1.5. Válvula reguladora de caudal unidireccional

Encargado de comprimir el aire y entregarlo al sistema

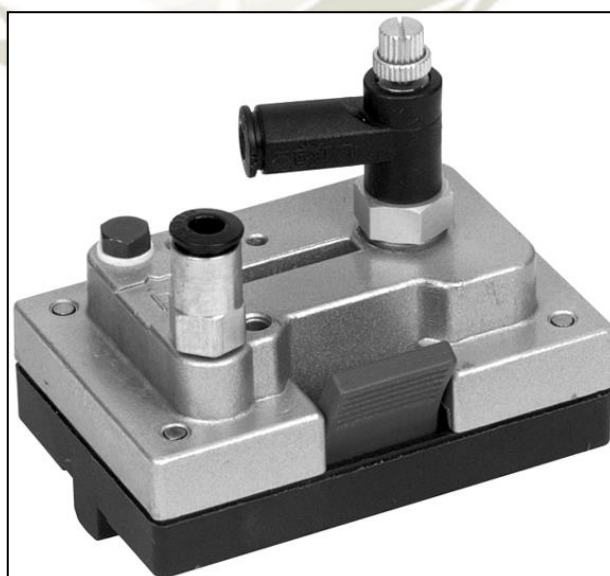


Fig. 57. Regulador de caudal unidireccional. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

Parámetros:

Alimentación	Fluido Aire comprimido filtrado (con o sin lubricación).
Diseño	Válvula reguladora unidireccional.
Presión de Funcionamiento	20 – 1000 kPa (0.2 – 10 bar).
Caudal Nominal en sentido regulado	0 – 150 l/min en sentido libre: 160 l/min (regulador abierto), 130 l/min (regulador cerrado).
Conexión	Conexión QSM-M5-4 para tubo de plástico PUN 4 x 0.75.

Símbolo:

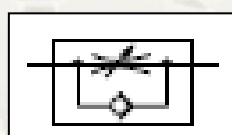


Fig. 58. Símbolo Reguladora. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

3.4.1.6. Actuador Neumático lineal sin vástago

Actuador del sistema para posicionar la carga



Fig. 59. Actuador lineal neumático sin vástago. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

Parámetros:

Recorrido	Amortiguación neumática, regulable.
Seguridad Torsional	Guía
Carrera	450 mm
Longitud Total	650 mm
Margen de Presión	200 – 800 kPa (2 – 8 bar)
Conexión	Rosca G 1/8 "
Fuerza efectiva	(valor teórico) a 600 kPa (6 bar): 295 N
Consumo de aire a 6 bar	0,03 l/carrera

Símbolo:

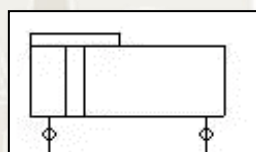


Fig. 60. Símbolo Compresor. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)

Autor: FESTO

3.4.1.7. Peso

Encargado de generar la carga en el actuador.



Fig. 61. Peso. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)

Autor: FESTO

Parámetros:

Masa	5 kg
Dimensiones	Largo 150mm, Ancho 110 mm, Alto 40 mm
Sistema de montaje	2 tornillos Allen M5

3.4.1.8. Mangueras Neumáticas

Uniones del sistema Neumático



Fig. 62. Compresor. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

3.4.1.9. Regla

Encargado de comprimir el aire y entregarlo al sistema

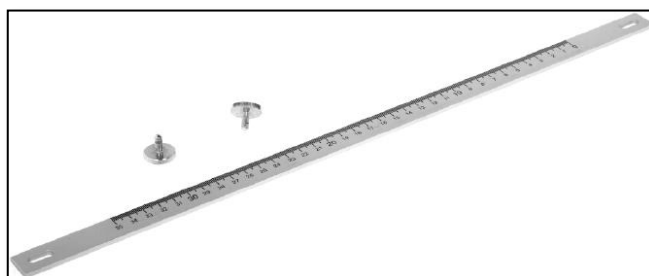


Fig. 63. Regla. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

Parámetros:

Longitud Total	580 mm
Longitud de Regla	450 mm
Unidades de Regla	mm
Resolución	1 mm
Método de Montaje	2 tornillos moleteados.
Distancia montaje entre agujeros	510 - 565 mm

3.4.2. Componentes de Control

3.4.2.1. Fuente de alimentación 24 V



Fig. 64. Fuente 24 V. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

Parámetros:

Tensión alimentación	AC 220 V
----------------------	----------

Tensión Suministrada	DC 24 V
-------------------------	---------

Símbolo:



Fig. 65. Fuente. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

3.4.2.2. Tarjeta de Señales Eléctricas



Fig. 66. Tarjeta de señales eléctricas. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

Parámetros:

Tensión	DC 24 V
Bloques de Contactos	2 contactos normalmente abiertos, 2 contactos normalmente cerrados.

Corriente Nominal Max.	1A
Consumo	0.48 W
Conexión	Clavijas 4 mm
Compatibilidad Electromagnética	CE
Interferencias emitidas verificadas	EN 500 81-1
Inmunidad a interferencias verificadas	EN 500 82-1

Símbolo:

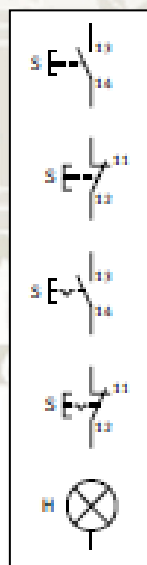


Fig. 67. Fuente. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

3.4.2.3. Tarjeta de Punto Consigna

Encargado de dar la señal de entrada a la tarjeta reguladora PID.



Fig. 68. Tarjeta de punto consigna. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

Parámetros:

Valores de consigna	± 10 V DC en pasos de 100 mV
Señal de conmutación para valores internos de consigna	15 – 30 V DC
Salidas de solenoide	Señal PWM, 24 V, máx. 1 A
Señal de habilitación	15 – 30 V DC
Corriente básica	0 – 250 mA, en pasos de 1 mA
Corriente de Salto	0 – 250 mA, en pasos de 1 mA
Corriente Máxima	100 mA – 1 A, en pasos de 5 mA
Frecuencia Dither	100 – 250 Hz, en pasos de 1 Hz

3.4.2.4. Tarjeta Reguladora PID

Encargada de realizar el control PID del sistema.



Fig. 69. Tarjeta de señales eléctricas. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

Parámetros:

Alimentación	24 V DC +/-10 %
Indicador de sobre modulación	15 – 30 V DC
Margen de tensión de entrada	"-13 V – +13 V"
Coeficiente de posición	Kx 0 – 10
Coeficiente de velocidad	K x _ 0 – 100 ms
Coeficiente de aceleración	K _x_ 0 – 10 ms ²

Ganancia global	P 0 – 1000
Limitación de la tensión de salida	[0 V – +10 V] [-10 V – +10 V]
Offset de la variable de corrección	5 V $\pm$ 3,5 V con [0 V – +10 V], 0 V $\pm$ 7 V con [-10 V – +10 V]
Conexión	Clavijas de seguridad 4mm
Compatibilidad Electromagnética	CE

Símbolo:

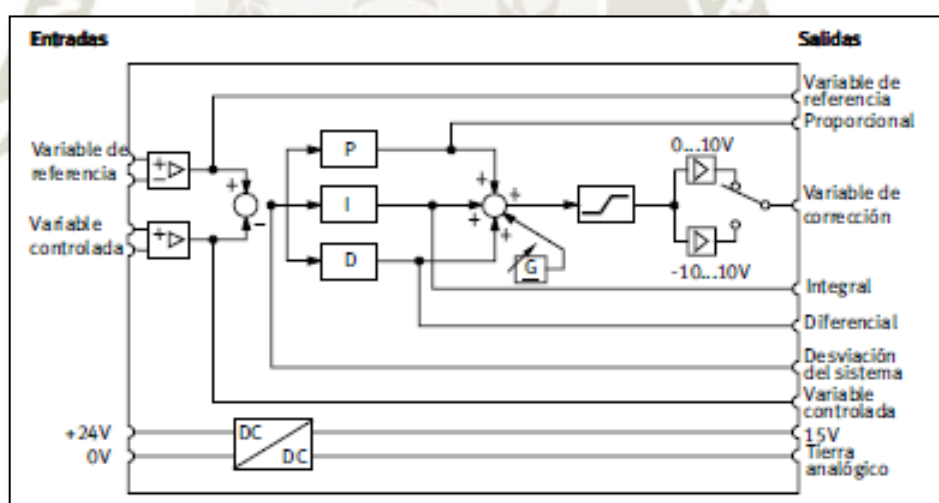


Fig. 70. Tarjeta Reguladora PID. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015).
Autor: FESTO.

3.4.2.5. Válvula Proporcional Electro – Neumática

Recibe la señal corregida por la tarjeta PID para entregar el caudal para el posicionamiento del Actuador. La válvula de control proporcional convierte

una señal de entrada eléctrica analógica en las correspondientes aberturas de las salidas. A la mitad de la tensión nominal, es decir a 5 V, la válvula asume su posición media, en la que todos los bordes de control están cerrados, de forma que, aparte de unas mínimas fugas, no pasa aire a través de la válvula. A 0 y 10 V respectivamente, la válvula asume sus posiciones finales, con una máxima sección de abertura.

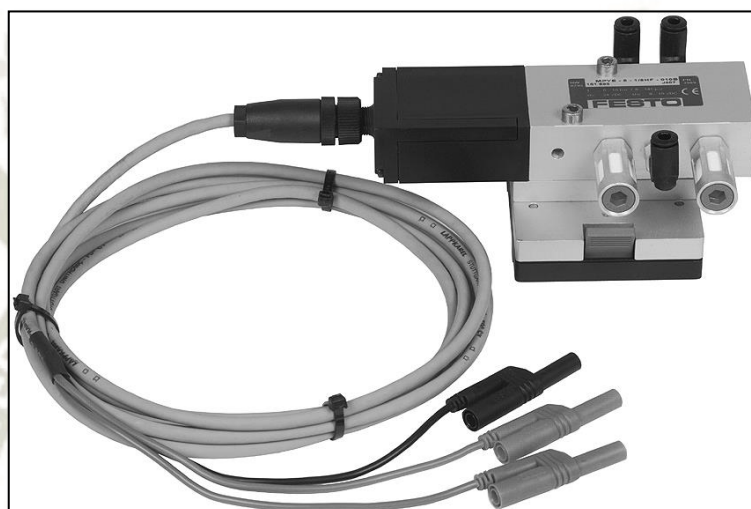


Fig. 71. Válvula Proporcional 5/3. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015).
Autor: FESTO.

Parámetros:

Neumática	Fluido Aire comprimido micro filtrado (sin lubricar)
Margen de temperatura del fluido	" +5 – +40 °C, sin condensar
Paso nominal	6 mm
Presión de funcionamiento, valor nominal/máximo	6 bar/10 bar
Caudal máximo a la presión nominal	700 l/min
Fuga normal máxima (de origen)	20 l/min

Tensión nominal de funcionamiento	DC 24 V
Consumo, embolo en posición media	2 watt
Consumo, valor máximo	20 watt
Tensión de consigna analógica	0 – 10 V DC
Valor nominal en posición media	5 V DC
Resistencia de entrada	70 k Ω
Tiempo de funcionamiento según VDE 0580	100%
Grado de protección según DIN 40.050 con la clavija SIM-GD 18.494	IP 65
Frecuencia limite (-3 dB) a Pmax y con carrera de corredera del 20 % al 80 %	100 Hz
Tiempo de accionamiento a pmax y con carrera de corredera del 20 % al 80 %	5 ms

Histéresis relativa a la posición de la válvula	0.40%
Linealidad relativa a la posición de la válvula	1,0 %
Conexiones neumáticas	G 1/8, QSL para tubo de plástico PUN 4 x 0.75
Conexión	Conexiones eléctricas para clavijas de seguridad de 4 mm.
Compatibilidad electromagnética	CE

Símbolo:

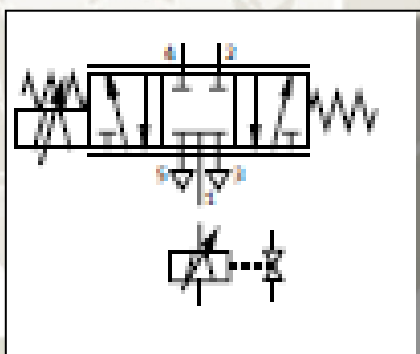


Fig. 72. Representación Válvula Proporcional. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015).
Autor: FESTO.

3.4.2.6. Potenciómetro Lineal

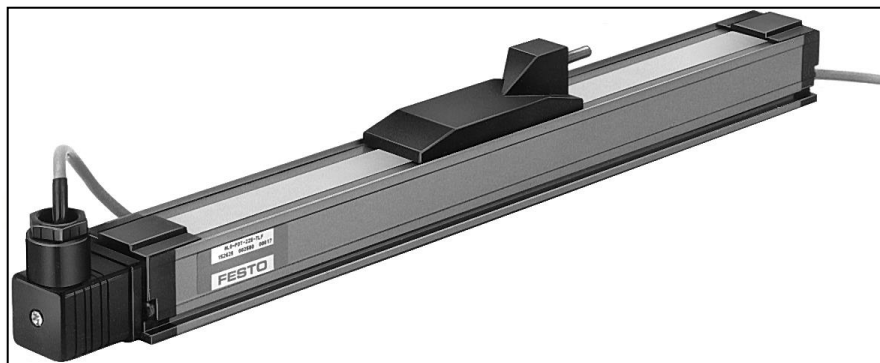


Fig. 73. Potenciómetro Lineal. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

Parámetros:

Tensión de funcionamiento permisible	13 – 30 V DC
Resistencia del potenciómetro	5 kΩ
Resistencia del potenciómetro	20%
Intensidad recomendada en la escobilla	$\leq 1 \mu\text{A}$
Distancia de trabajo efectiva eléctrica	457 mm
Tensión de salida	0 – 10 V DC
Temperatura de funcionamiento ambiental	$-30 - +100 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Error máximo de linealidad	0,07 % FS*
Resolución y repetibilidad	$\leq 0,01 \text{ mm}$

A prueba de polaridad inversa	Si
Resistencia de aislamiento (potenciómetro)	<100 MΩ a 500 V; 0,1 bar
Rigidez dieléctrica (potenciómetro)	500 Vms a 50 Hz; 1 min; 1 bar
Velocidad de ajuste	≤10 m/s
Aceleración durante el ajuste	≤200 m/s
Fuerza de accionamiento (horizontal)	<1 N
Numero max. de actuaciones	10
Material (cuerpo)	Aluminio
Peso	1000 g
Conexión	Conexiones Cable con clavijas

Símbolo:

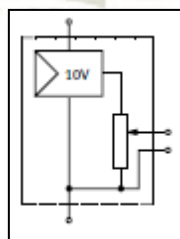


Fig. 74. Fuente. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015)
Autor: FESTO

3.4.2.7. Cables Eléctricos

Cables de conexión eléctrica donde:

- Rojo: Alimentación.
- Azul: Tierra Analógica.
- Negro: Control.

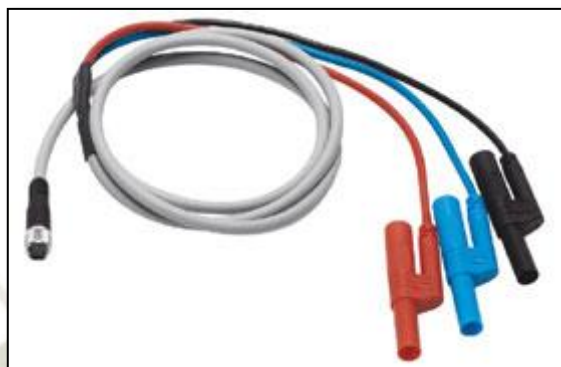


Fig. 75. Cables eléctricos. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015).
Autor: FESTO.

3.5. Simulación del sistema Electro Neumático de la planta en la plataforma FluidSIM-FESTO.

Fluidsim es un entorno de simulación, donde es posible simular el circuito o circuitos, conformados por la planta previa a su instalación física, a su vez nos brinda el esquema del circuito según la norma DIN.

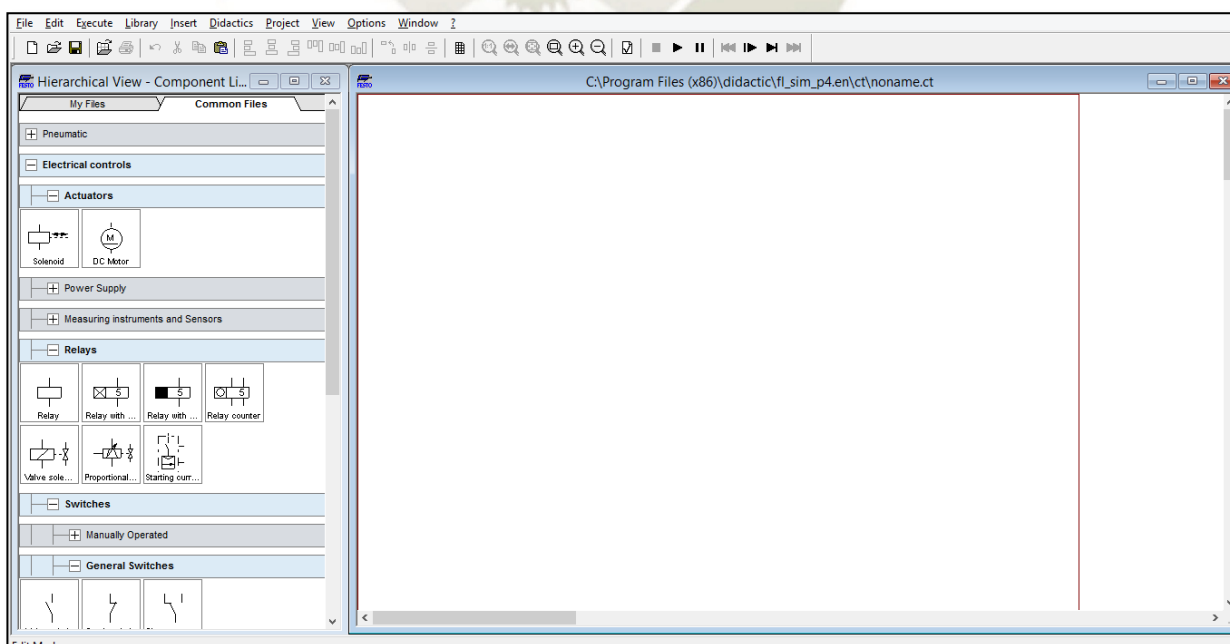


Fig. 76. Entorno del FluidSIM. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela.

- Simulación Electro Neumático de la planta.

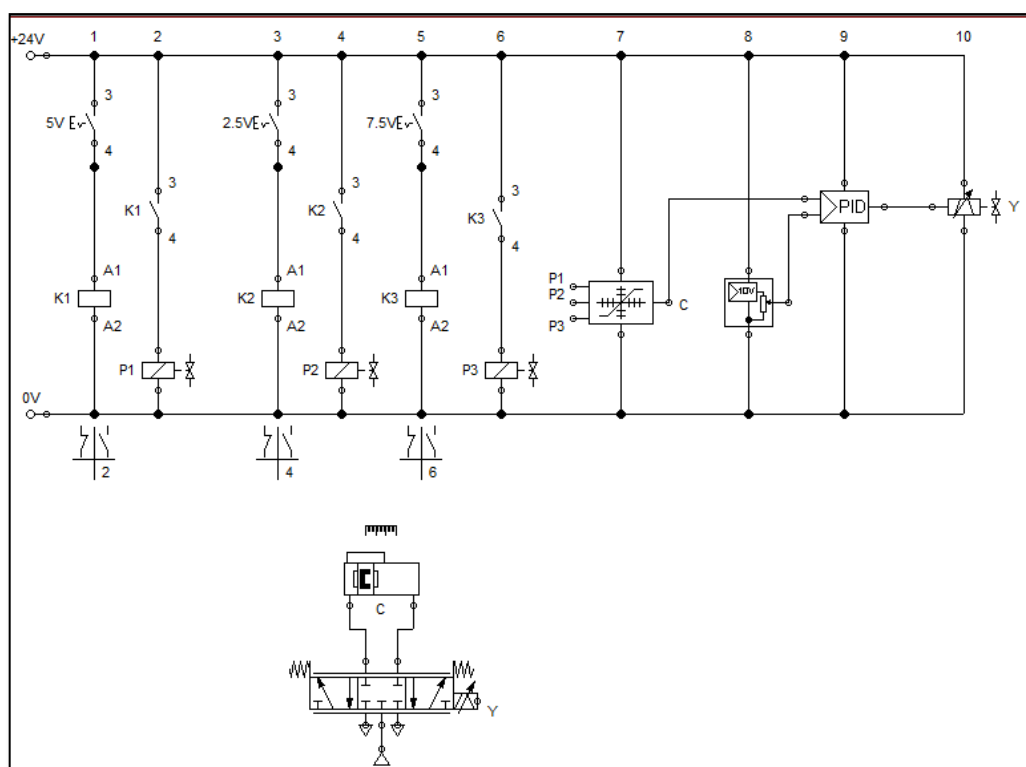


Fig. 77. Sistema Electro Neumático de la planta. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela.

- Conexión Eléctrica de la planta.

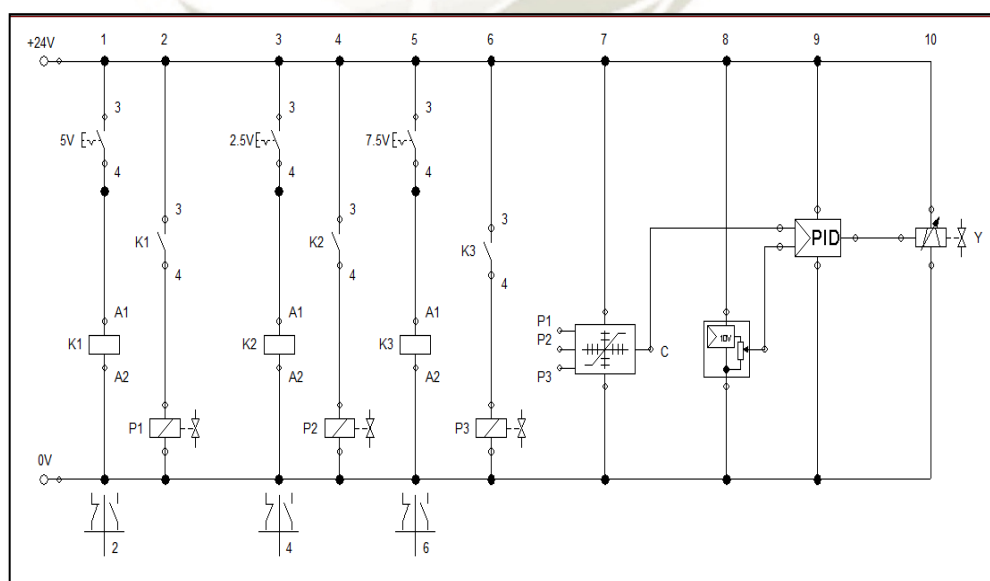


Fig. 78. Sistema eléctrico de la planta. Fuente: Propia
Autor: Basurco y Orihuela.

- Conexión Neumática de la planta.

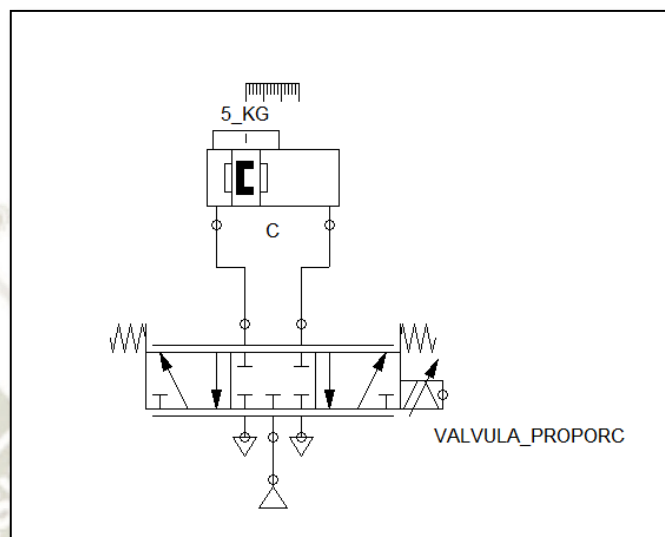


Fig. 79. Instalación Neumática de la planta. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

- Puesta en marcha previa instalación del módulo

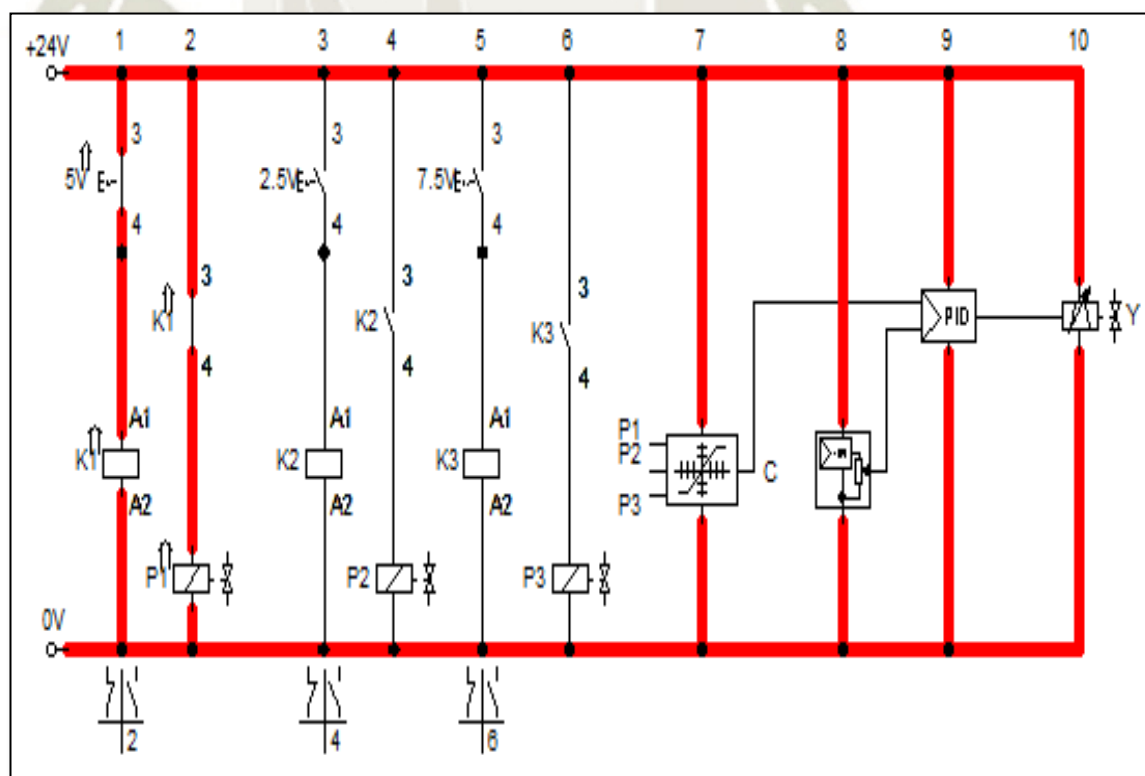


Fig. 80. Puesta en Marcha del sistema. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

- Acción del actuador lineal.

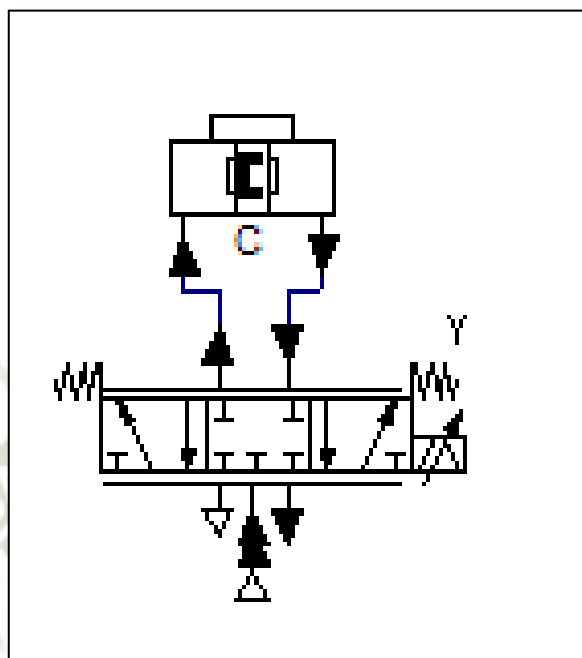


Fig. 81. Acción del Actuador lineal. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

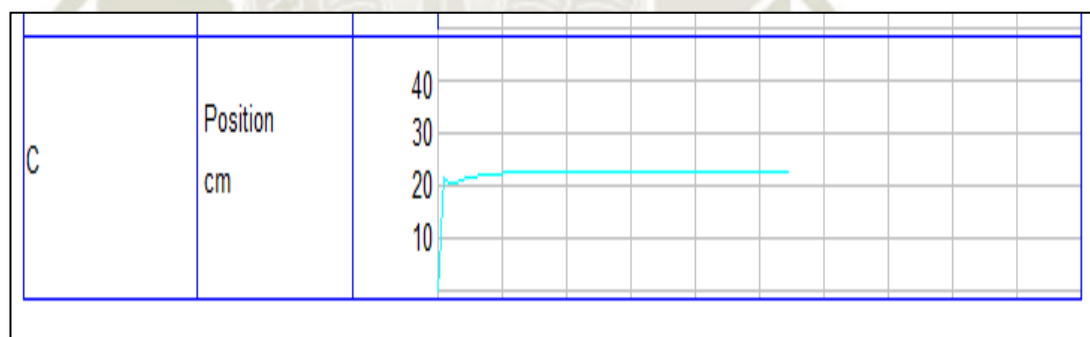


Fig. 82. Desplazamiento del Actuador lineal. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

- Puesta en marcha con una señal de consigna.

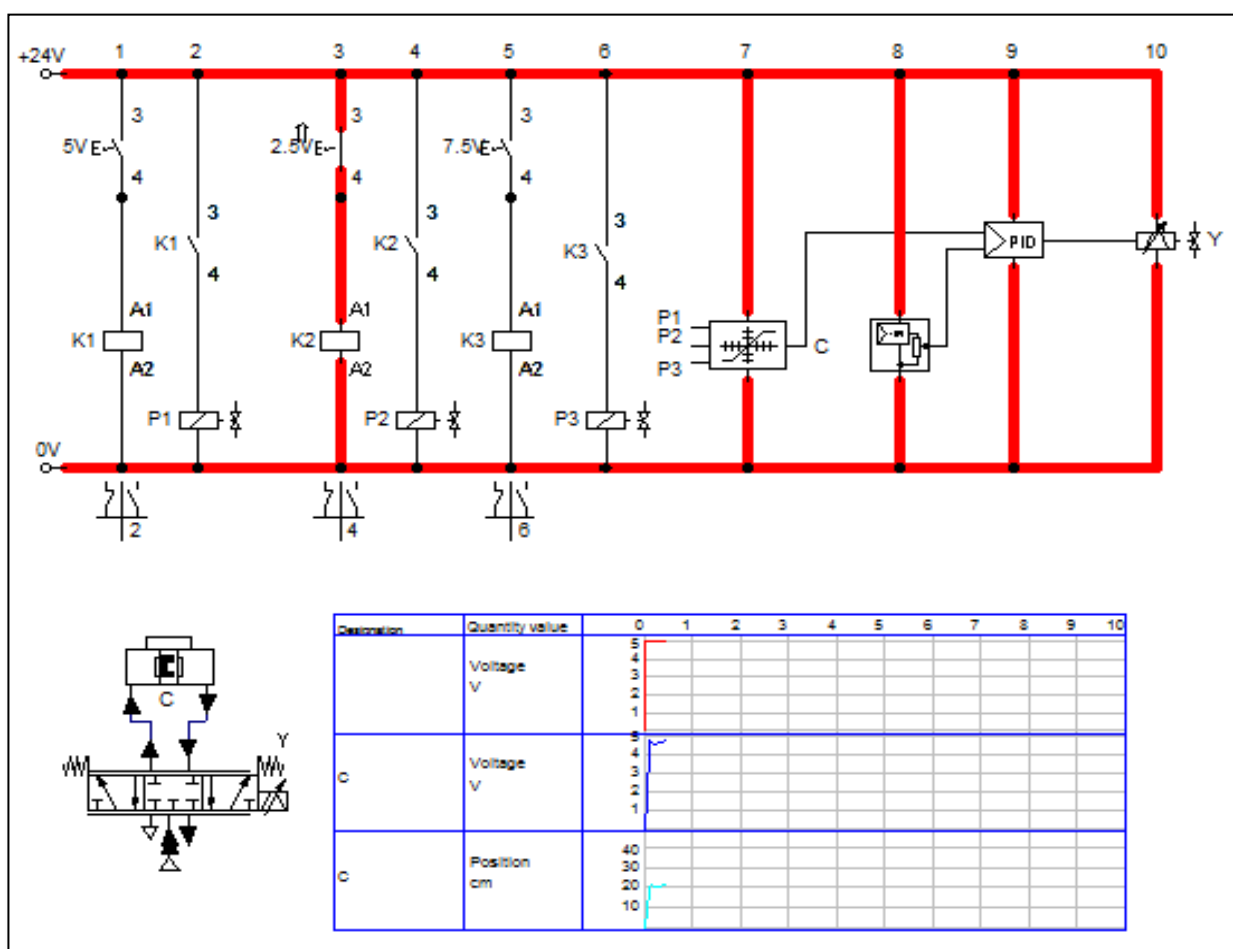


Fig. 83. Puesta en Marcha con una señal consigna. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

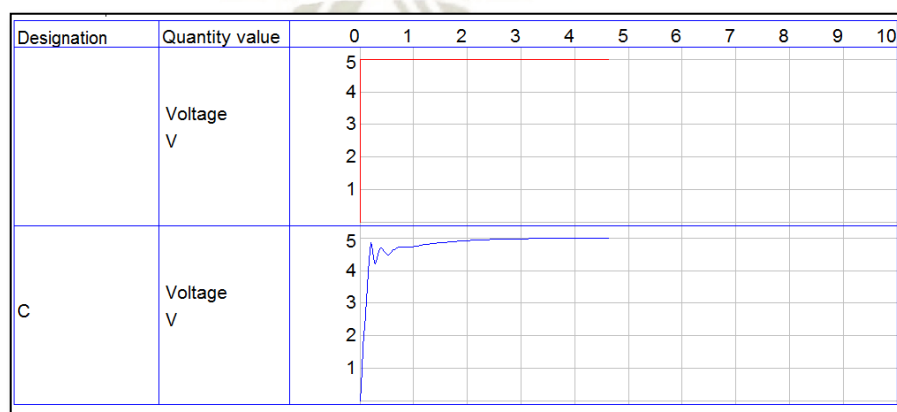


Fig. 84. Respuesta del sistema. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

CAPÍTULO IV EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán todas las pruebas realizadas y de igual forma, resultados de la planta. A su vez se visualizará el comportamiento del sistema frente a los parámetros sintonizados del controlador PID.

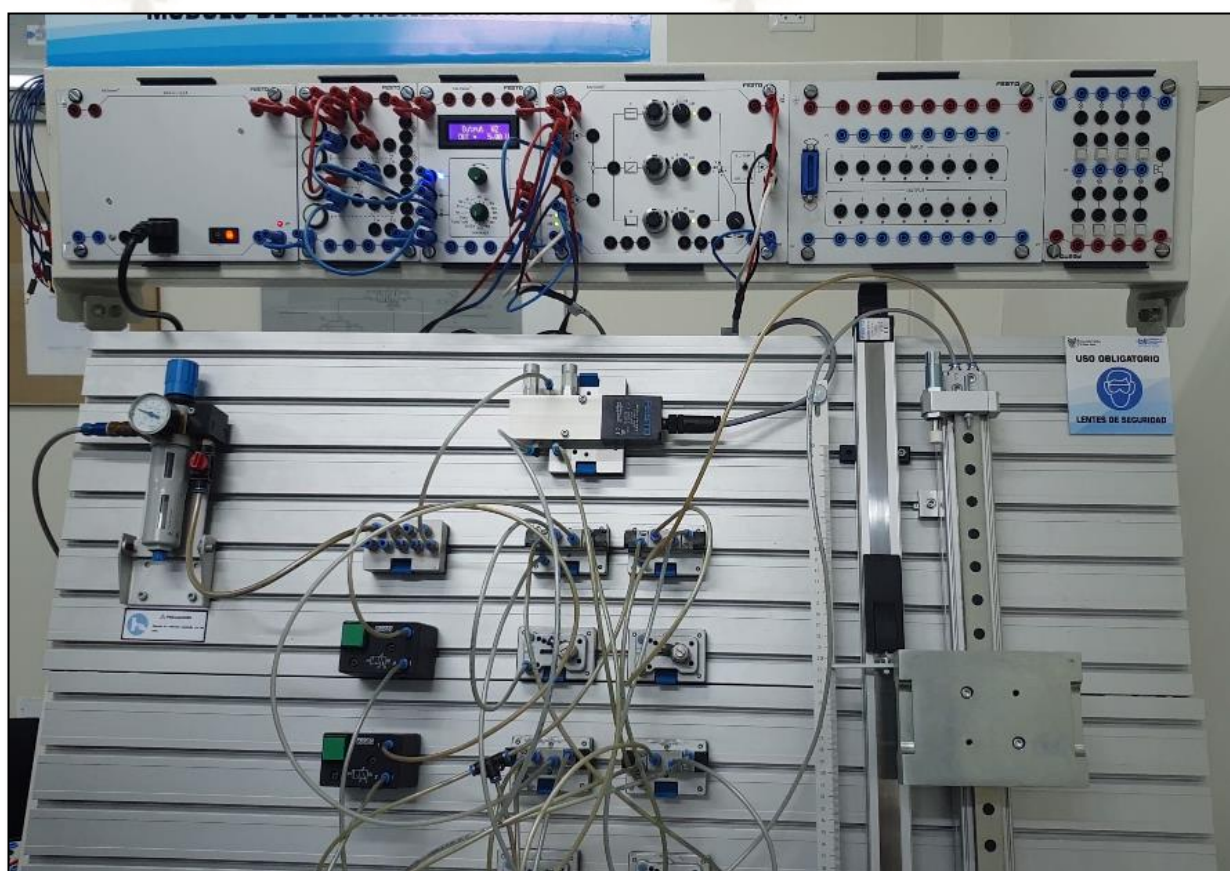


Fig. 85. Circuito de control el actuador lineal con una carga referencial de 5kg con una tarjeta PID.
Fuente: Propia. Autor: Basurco y Orihuela.

Durante las pruebas realizadas los resultados fueron los esperados, el sistema reacciona de acorde a la teoría.

Para las pruebas realizadas fue necesario construir un circuito de control y fuerza, además se instaló una parada de emergencia por seguridad.

4.1. PROCEDIMIENTO DE SISTEMA ELECTRICO

El circuito de control es la parte esencial del sistema donde, tanto el sistema neumático y electro-neumático se complementan tal y como se muestra en la figura 77.

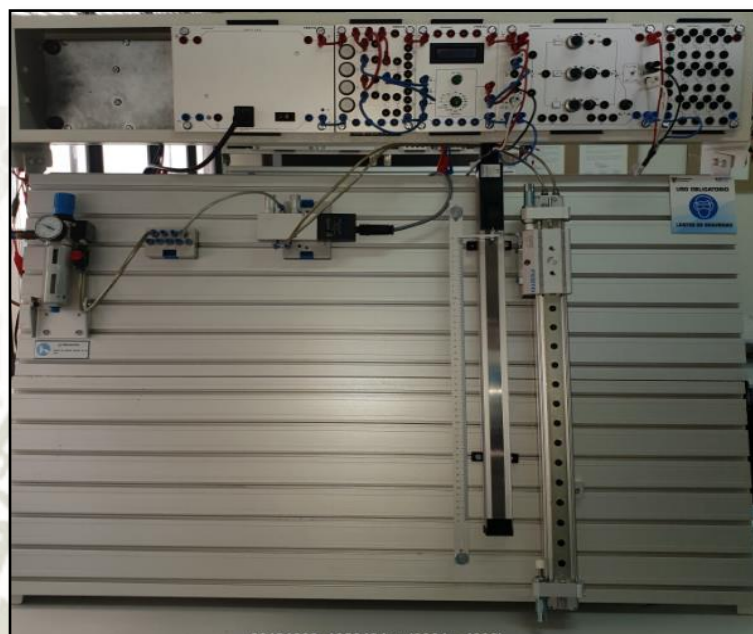


Fig. 86. Circuito de control eléctrico. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

El control eléctrico necesita de una fuente de alimentación de 24voltios DC (Figura 78.), a dicha fuente de alimento mediante una red de corriente alterna.



Fig. 87. Fuente de alimentación de 24V dc. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Para que el circuito de control funcione correctamente fue necesario la instalación de una tarjeta de señales eléctricas, dicha tarjeta consta de 1 salida con un pulsador con enclavamiento normalmente abierta (NA) y normalmente cerrada (NC), además tiene 3 salidas con un pulsador normalmente abierto y normalmente cerrado (Fig. 89). La alimentación eléctrica para tarjeta de señales proviene de la fuente de 24V, que mediante unos cables de conexión rojo y azul (Fig. 80)



Fig. 88. Entrada de señales eléctricas. Fuente: Festo.
Autor: Festo.



Fig. 89. Cables de seguridad de conexión Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Para el proyecto se tomó el pulsador con enclavamiento normalmente abierto NA y 2 pulsadores normalmente abiertos, estas (3) señales salientes son insertadas en una siguiente denominada tarjeta de valor de punto consigna con el fin de asignarles un valor de referencia tal y como se muestra en la figura 91.

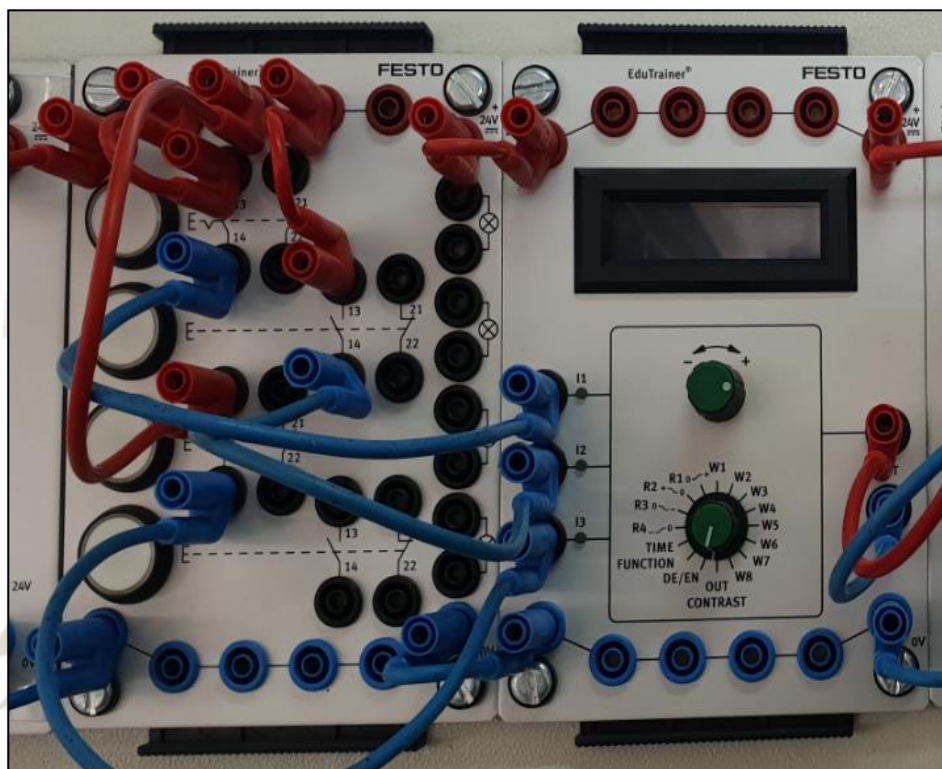


Fig. 90. Tarjeta de señales eléctricas y tarjeta comparadora. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Los 3 valores de referencia tomados en la tarjeta de punto consigna fueron en voltios (Volts): el primer valor con enclavamiento NA se les asignó un valor fijo de 5 voltios, 2.5 y 7.5 voltios respectivamente con los pulsadores NA (figura 92). La tarjeta consigna genera una señal de acuerdo al pulsador designado, esta señal ingresa a una tarjeta reguladora PID.



Fig. 91. Selección de valores consigna. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

La señal que proporciona la tarjeta consigna entra al bloque PID, específicamente a la entrada denominada variable de referencia (señal de entrada) (figura 93.). Éste bloque a su vez tiene una segunda entrada denominada variable controlada tal y como se muestran en las siguientes Fig. 94 y 95.

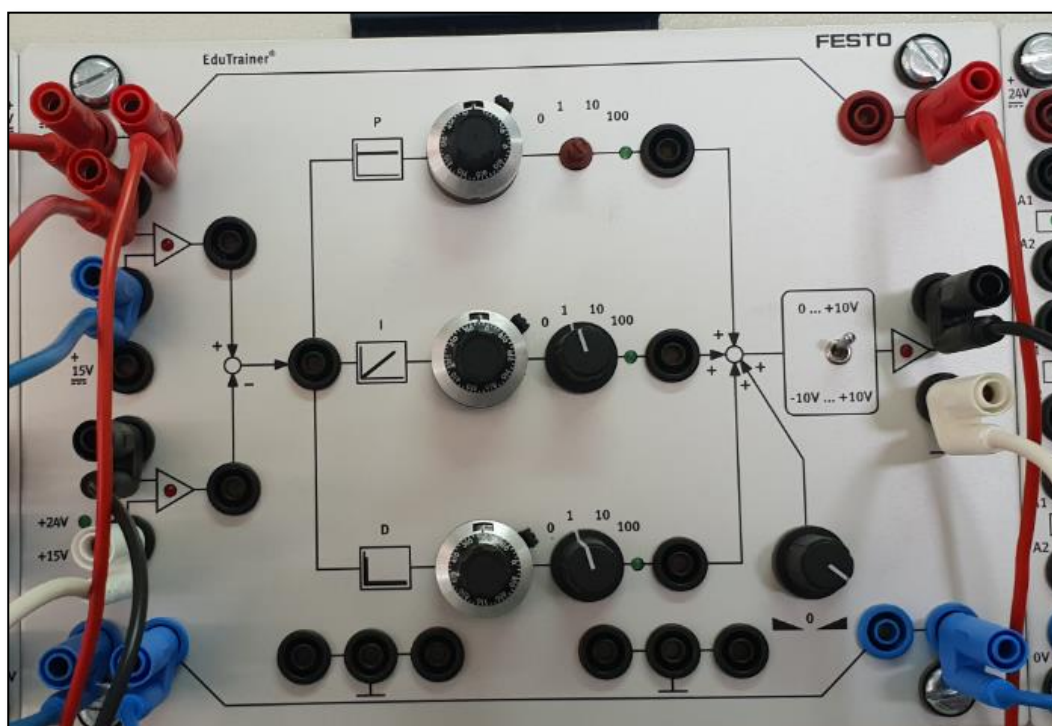


Fig. 92. Regulador PID. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

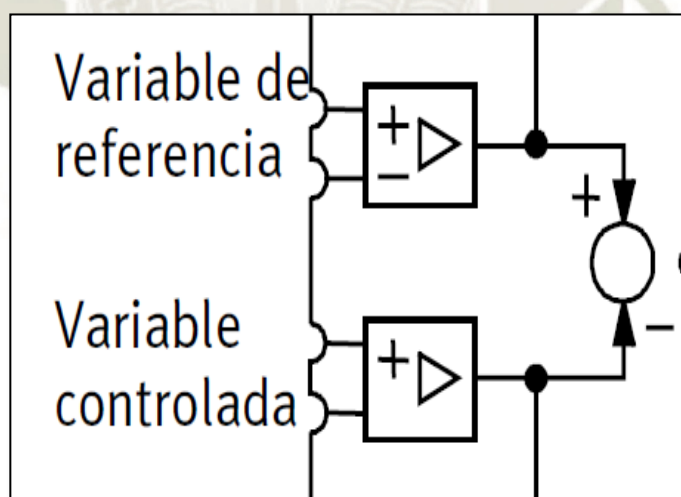


Fig. 93. Bloques variables. Fuente: Neumática en Bucle Cerrado TP 111 (2015).
Autor: Festo.

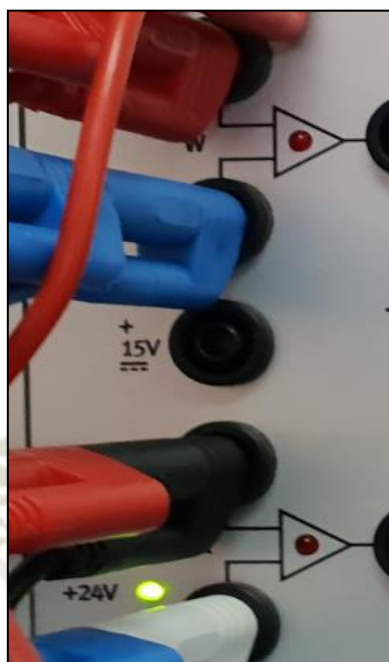


Fig. 94. Entrada de consigna y entrada de valor actual. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Para que el regulador PID realice su función correctamente, es necesario realizar una comparación (señal diferencial) entre las señales de entrada (figura 96.). Las señales de entradas están dadas por la señal de consigna y las señales de valor real, la comparación realizada entre ambas señales mide la desviación que existe en el sistema en función de las señales de entrada.

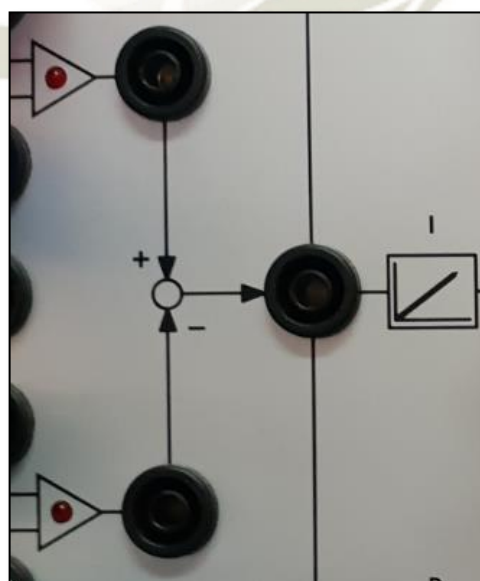


Fig. 95. Comparador de las señales de entrada en el regulador. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

La señal de la variable controlada, viene del potenciómetro acoplado al actuador lineal los que generan un valor en voltios de 0 a 10 V según la posición del actuador y para la observación se dispuso de una regla (Fig. 97).



Fig. 96. Montaje del actuador lineal, potenciómetro y regla para un mismo trabajo. Fuente: Propia. Autor: Basurco y Orihuela.

El potenciómetro lineal no posee un vástago y se desliza en toda su longitud, posee 4 cables de conexión en los extremos como alimentación:

- Alimentación (Rojo).
- Tierra Analógica (Azul).
- Tierra Digital (Blanco).
- Señal de Salida (Negro).

El potenciómetro utilizado entrega una señal de 0 a 10 voltios en toda su longitud. La

señal que sale del potenciómetro ingresa al comparador del regulador PID a la entrada de la variable controlada Fig. 98.



Fig. 97. Señal de valor real diferencial. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Una vez determinada la desviación (error) mediante la comparación, esta señal de error ingresa a los componentes del regulador (P, I y D), dichos componentes tienen conexiones aisladas lo que nos permite utilizarlas las 3 al mismo tiempo tal y como se planteó para el presente proyecto (figura 99).

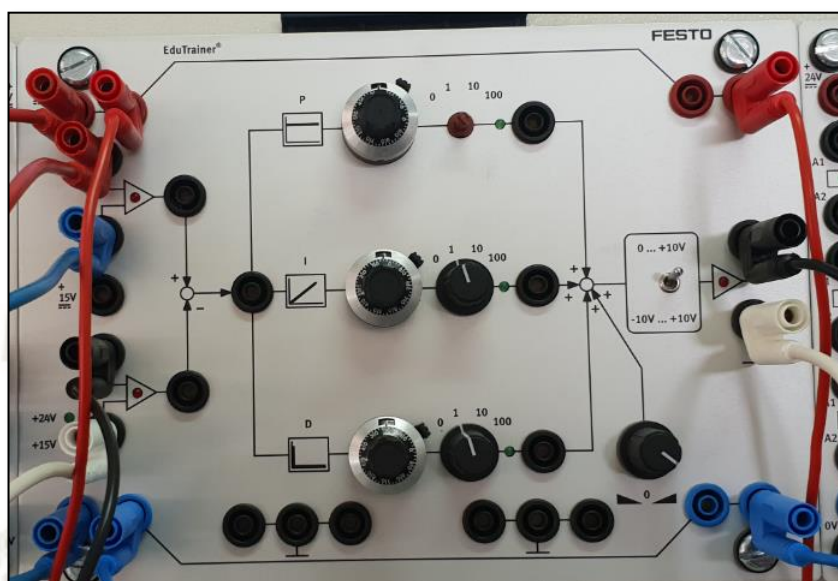


Fig. 98. Componentes P, I y D del regulador. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

Para la sintonización de los componentes (proporcional, integral y derivativo) del regulador es necesario determinar los parámetros de las constantes (K_p , T_i , T_d).

Estos valores se hallan utilizando los métodos mencionados en el capítulo II, los cuales se designan en su posición respectiva de la Tarjeta PID de la Fig. 100.



Fig. 99. Componentes P, I y D determinados. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

Finalizando el ajuste, estas 3 ganancias ingresan a un punto de suma (summation point) generando una señal de corrección. La señal de variable de corrección ingresa a una etapa denominada: limitador de variable de corrección, en esta etapa las señales del regulador son convertidas de acuerdo al margen del trabajo que requieran los actuadores, ambas zonas se muestran en la figura 101.

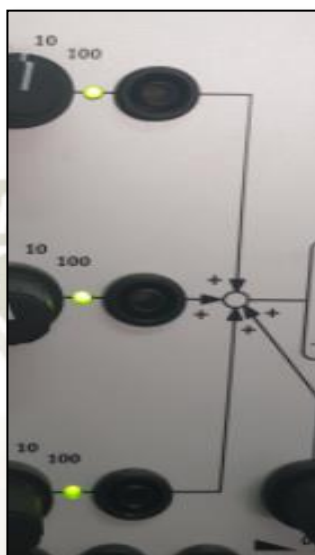


Fig. 100. Summation pint y limitador de variable de corrección. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Por último, la variable de corrección ingresa al bloque salida (figura 102), esta señal se dirige a la válvula proporcional, para poder ejecutar la acción en el actuador lineal (figura 103).



Fig. 101. Salida de la variable de corrección. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

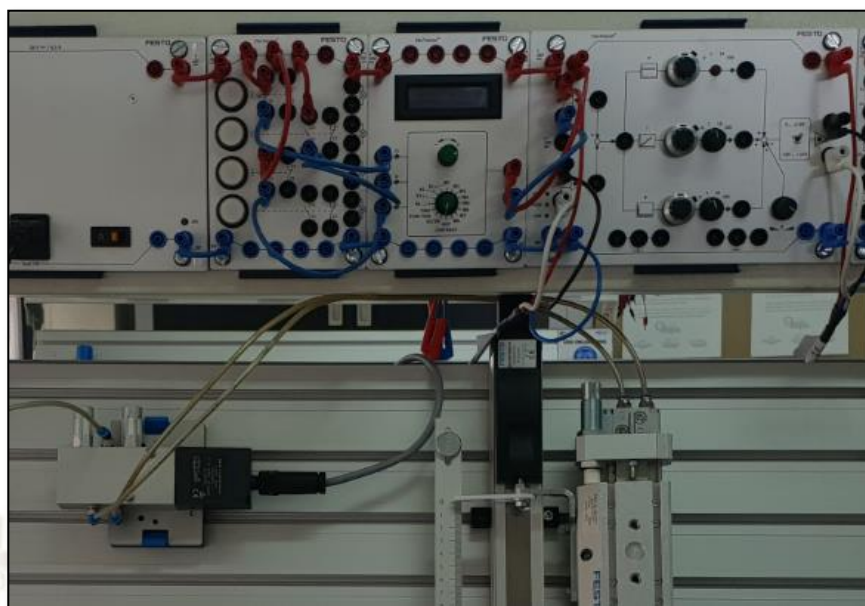


Fig. 102. Señal de corrección conectada a la válvula proporcional. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

La válvula proporcional suministra energía neumática al actuador según la señal brindada por la variable de corrección. (Figura 104.)



Fig. 103. Conexión de la válvula proporcional como elemento final de control. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

4.2. PROCEDIMIENTO DE SISTEMA NEUMÁTICO

El Laboratorio de oleo-hidráulica y neumática de la Universidad Católica de Santa María, tiene un módulo de sistema de aire comprimido instalado (figura 105), se precedió únicamente a la instalación del control neumático y con el fin de salvaguardar la integridad física del operario un paro de emergencia.



Fig. 104. Sistema de aire comprimido. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

El sistema de aire, manda aire comprimido mediante una manguera (figura 106) a una unidad de mantenimiento con válvula de cierre. La unidad cumple la función de separar agua mediante un filtro, limpia el aire de los diferentes agentes que el aire pueda tener, ya sea, suciedad, virutas en las tuberías y óxidos del sistema; así mismo esa unidad posee un regulador de presión, este regulador nos brinda aire comprimido a una presión de acuerdo al funcionamiento del sistema.



Fig. 105. Manguera de aire. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

De la unidad de mantenimiento se suministra aire a presión hacia un distribuidor de aire, de una sola alimentación (P) y que nos permite alimentar en 8 puntos diferentes del sistema de control neumático (figura 107).



Fig. 106. Sistema de distribución neumática. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Una vez que se tiene sistema de distribución, se alimenta de aire comprimido a la válvula proporcional (figura 108), esta válvula es de 5/3 vías, que normalmente su posición media 1 es cerrada, la cual se usa para determinar la posición de la corredera del actuador, permitiendo que el aire salga o retorne a la válvula.

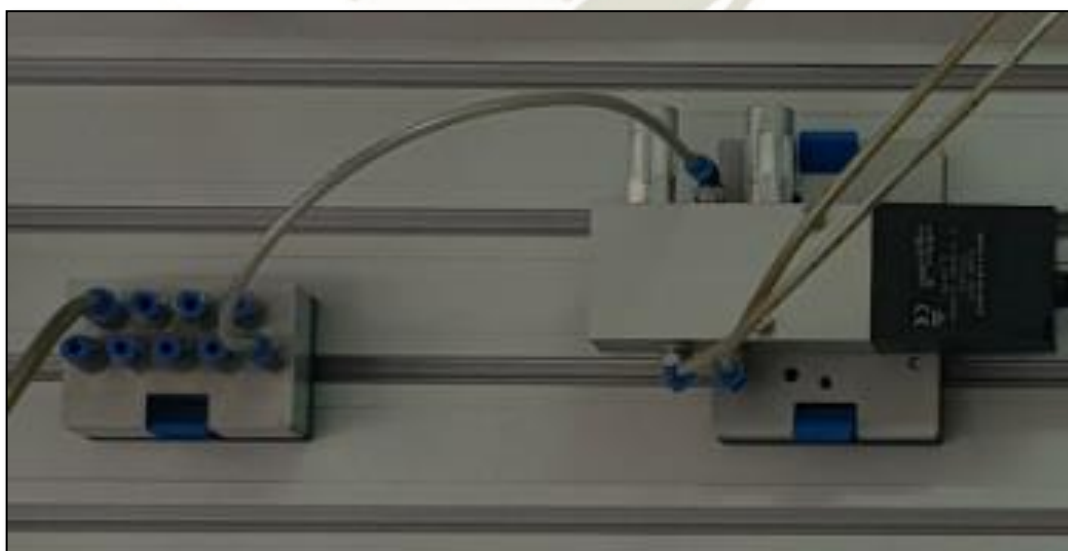


Fig. 107. Alimentación de la válvula proporcional. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

La conmutación de la válvula proporcional se realiza de acuerdo a la variable de corrección brindada por el regulador PID, y este a su vez acciona mediante dos mangueras de aire (una para la ida y otra para el retorno) al actuador lineal, para que este realice el trabajo correspondiente. (Fig. 109.)

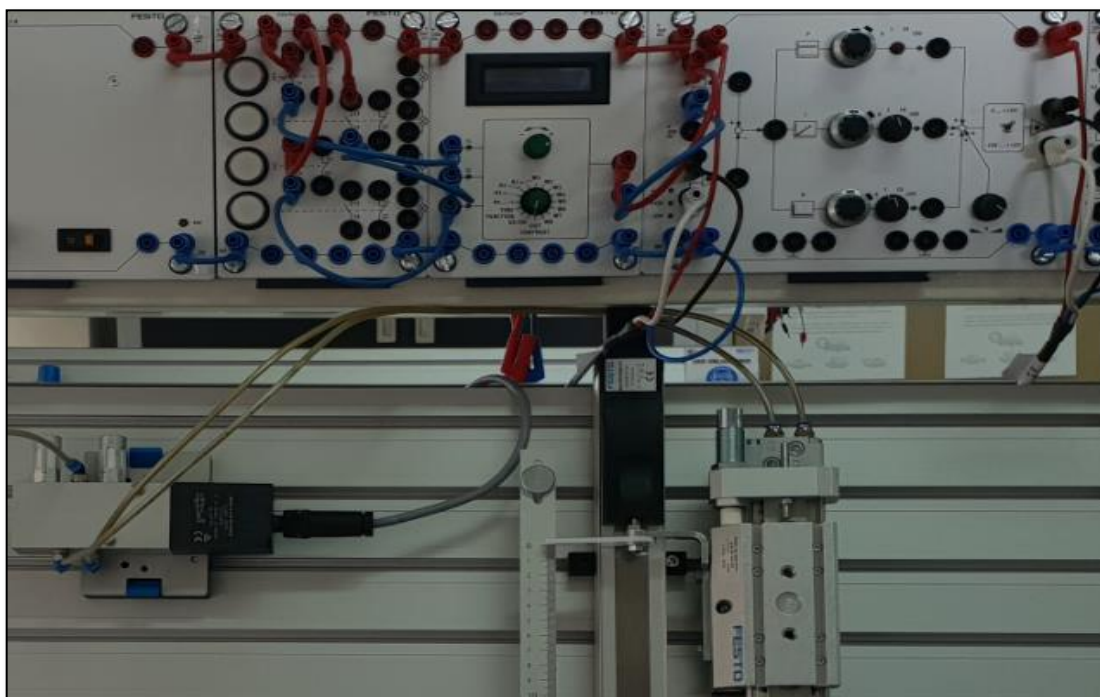


Fig. 108. Conmutación de la válvula proporcional en función de la señal de corrección del regulador PID. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Una vez conmutada la válvula, la señal de control neumático ingresa al actuador lineal, mediante dos señales, una para accionar el avance del actuador y otra para re retorno del actuador. El trabajo realizado por el actuador se mide mediante un sensor (potenciómetro lineal), en este proceso existe una transformación de energía tal y como se ya se mencionó en el capítulo 2.2.3. El sensor que en nuestro caso es el potenciómetro puede convertir una señal de un tipo a otro tipo de señal, que para nuestro proyecto convierte el trabajo mecánico ejercido por el actuador en una señal eléctrica, dicha señal es aprovechada para realizar el control de nuestro sistema. Fig. 110



Fig. 109. Conmutación del actuador y conversión de energía. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Ya concluido la acción del actuador se vuelve a realizar nuevamente todo el proceso ya explicado en este capítulo, convirtiendo este proceso en un bucle.

4.2.1. Parada de emergencia

Para la propuesta del paro de emergencia se consideró utilizar los elementos dispuestos en laboratorio como se explicó en el capítulo I, dado que es un módulo para que los operadores futuros experimenten con él. Se tomó en cuenta todos los componentes que estén dentro del laboratorio de oleo-hidráulica y neumática.

Esta etapa se desarrolla para prevenir los riesgos que se puedan presentar durante el proceso de desarrollo del sistema, con el fin de salvaguardar la integridad del operario. Fig. 110.



Fig. 110. Parada de emergencia. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Para la parada de emergencia fue necesario instalar los siguientes componentes:

- 2 Válvula 3/2, con pulsador de accionamiento normalmente cerrado.
- 4 Válvulas 3/2 biestables.
- 4 reguladores de caudal unidireccional.

La integración de la parada de emergencia con sus respectivos componentes se muestra en la figura 111.



Fig. 111. Componentes de la parada de emergencia. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

La instalación de los componentes mencionando, se pueden mencionar en 3 partes:

- La alimentación de la válvula proporcional y 2 válvulas de mando de “STOP” y “START”.
- El control de la salida neumática de la válvula proporcional hacia la entrada del actuador.
- La llegada del aire al actuador.

Las 3 etapas se pueden ver en la Fig. 112.

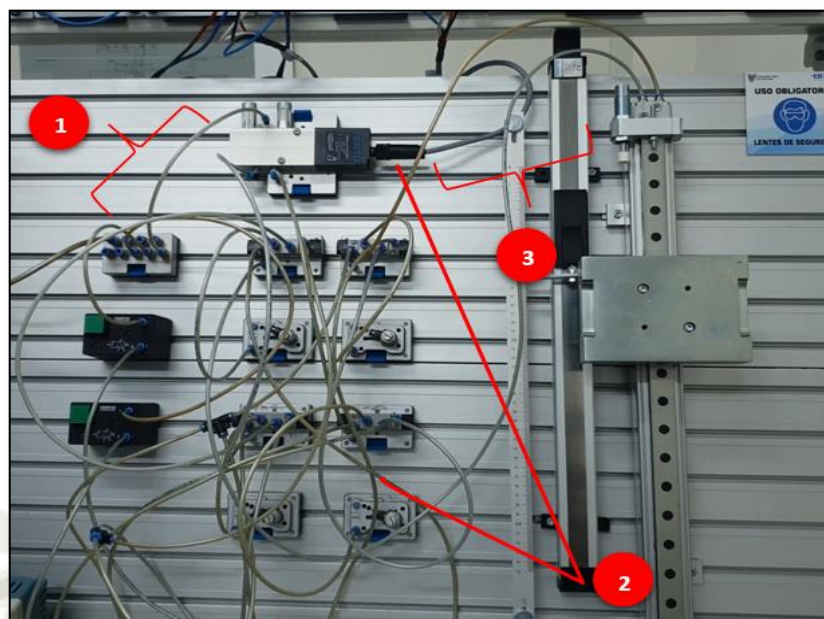


Fig. 112. Instalación del paro de emergencia. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

En la primera parte, el distribuidor cumple la misma acción de aclimatar a la válvula proporcional, además a una válvula 3/2 con pulsador normalmente cerrado, con la configuración de STOP y una última válvula 3/2 con pulsador normalmente cerrado, con la configuración de START, esto con el fin de volver a retomar el trabajo en la operación después del paro (Fig.113).



Fig. 113. Configuración del pulsador y alimentación de la válvula proporcional. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

En la segunda parte, se realiza el control de las salidas de aire tanto del actuador como de la válvula proporcional, al apretar “Start” se conmutan las válvulas biestables permitiendo que el aire de la válvula proporcional se dirija al actuador, al activar “Stop” conmutan las válvulas biestables y direccionan la salida de la válvula proporcional a 2 reguladoras de caudal cerradas y la entrada del actuador a 2 reguladoras de caudal, con el fin de que el aire de salida de los dos componentes no se libere, como se ve en la Fig. 114.

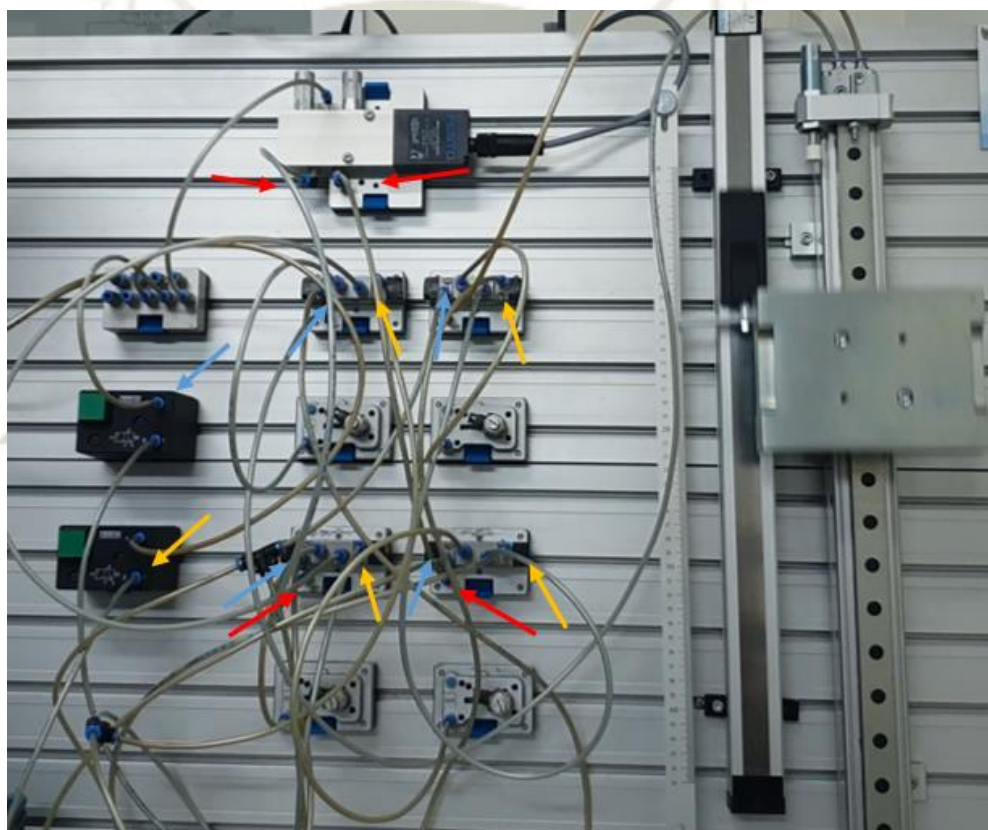


Fig. 114. Configuración del sistema de paro de emergencia. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

El paro de emergencia se diseñó con el fin de que, al surgir cualquier necesidad de que se detenga el equipo, este se detenga inmediatamente, dado que se utiliza energía neumática al detenerse el sistema o la alimentación el aire en las cámaras del actuador lineal, buscara su salida haciendo que el peso por la gravedad se dirija hacia abajo, por ello al apretar “Stop”, las 2 entradas de aire del actuador se dirigen a dos válvulas estranguladoras unidireccional totalmente cerradas, impidiendo el cambio de presión de aire en las 2 cámaras del actuador.

Para el caso del actuador, se dispusieron las entradas hacia la toma principal de la válvula biestable dado que se está controlando la entrada o salida de estas vías como se ve en la Fig. 115.

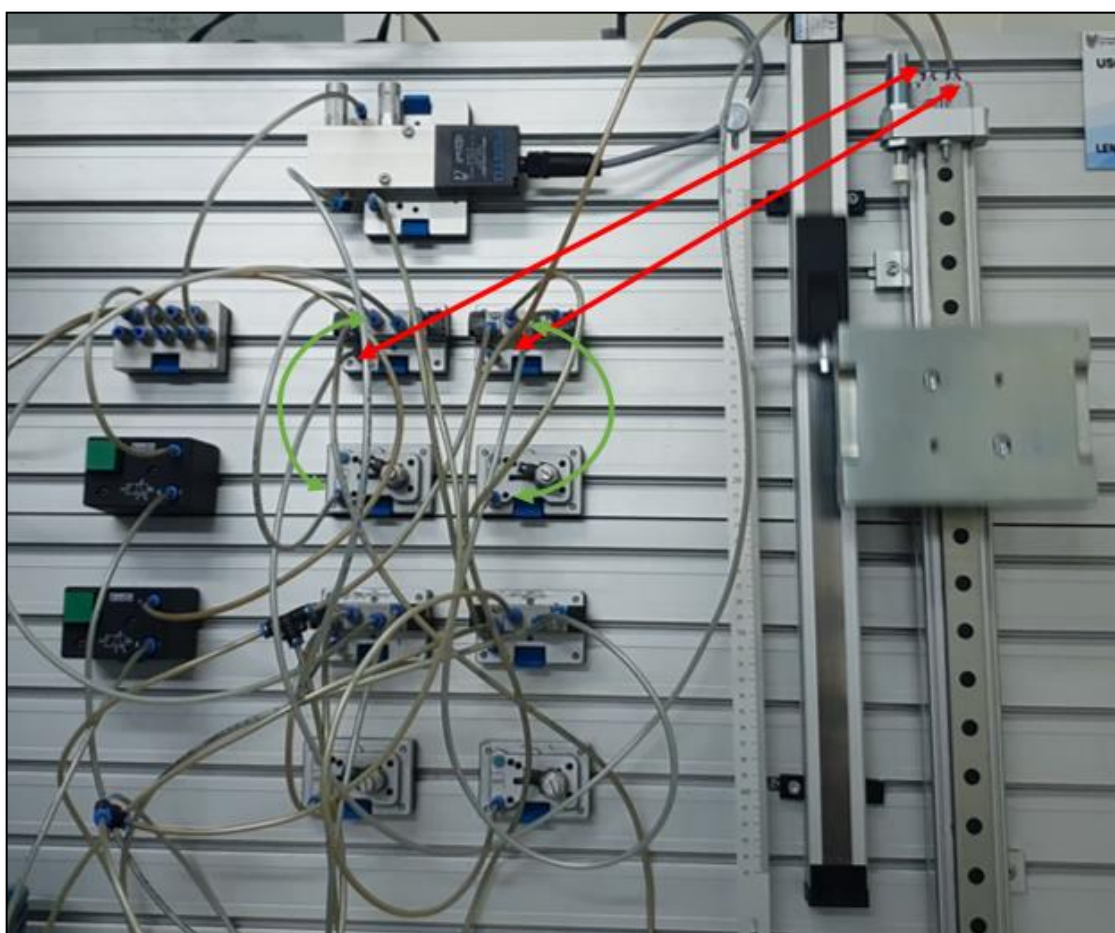


Fig. 115. Conmutación del actuador. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

La cantidad de válvulas se puede reducir, dado que el regulador unidireccional de caudal de la Fig. 116. Se puede reemplazar por un tapón en las válvulas biestables. Se utilizó esta válvula de estrangulación para demarcar el uso de la estrangulación, la cual normalmente se controla la cantidad de caudal que se quiere liberar, sin embargo, para este caso se está contemplando su uso como una válvula anti retorno o un cierre de vía para la válvula biestable. En el caso que se quiera mejorar el sistema de paro de emergencia para detenerse de acabarse la alimentación se debería implementar una señal “Y” con una segunda toma de alimentación.



Fig. 116. Configuración del regulador de caudal unidireccional. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

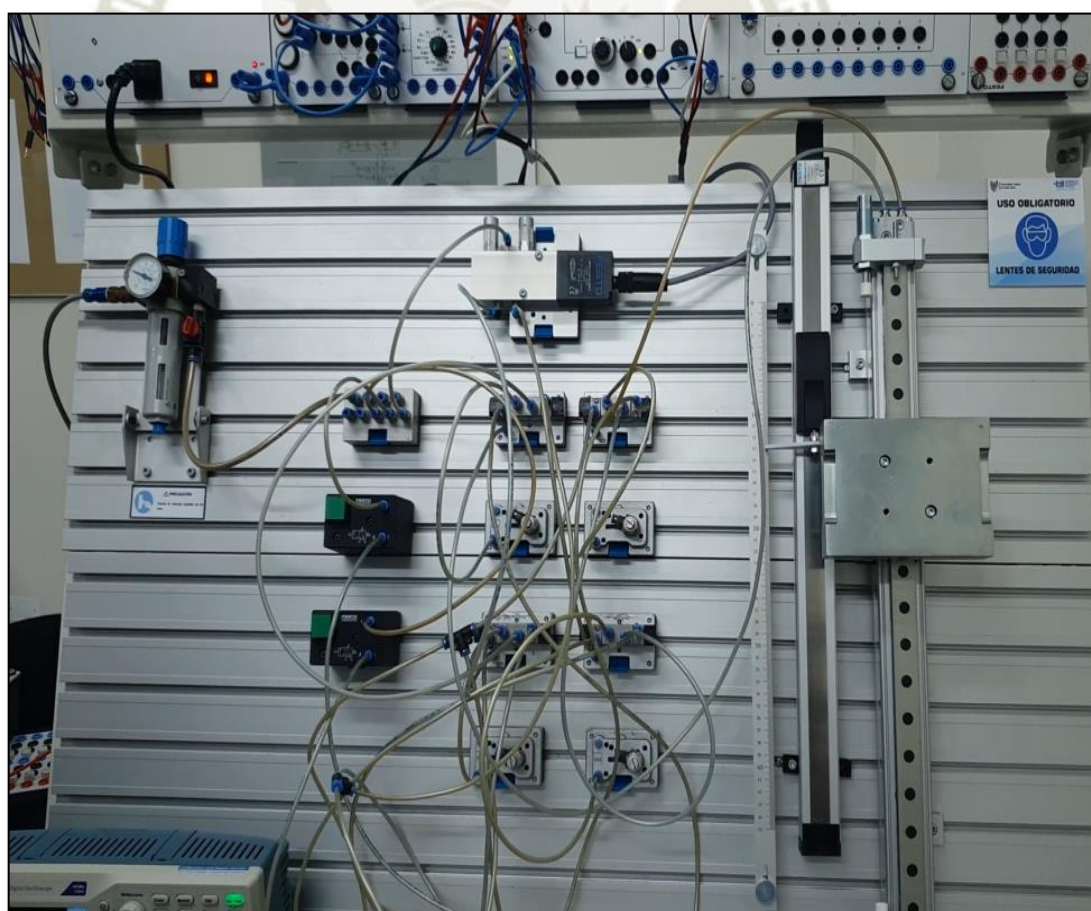


Fig. 117. Control Neumático con paro de emergencia. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

4.3. EXPERIMENTACIÓN

4.3.1. Parámetros

- Alimentación Eléctrica: 24 V.
- Señal de Control: 0 – 10 V.
- Presión: 4 Bar.
- Estado Inicial Actuador: Cámaras llenas.
- Longitud Total del Recorrido del actuador: 45 cm.
- Posición Inicial Actuador: 0 cm.
- Posición Inicial Potenciómetro: 0 cm.
- Valor Inicial Potenciómetro: 0 V.
- Posición Final Actuador: 45 cm.
- Posición Final Potenciómetro: 42 cm.
- Valores de voltaje a comprobar: 5 V, 2.5 V y 7.5 V.
- Valores de posición en relación al voltaje: 22.5 cm, 11.25 cm y 33.75 cm.
- Paso de voltaje en Osciloscopio: 2V.
- Paso de tiempo en Osciloscopio: 1 s.
- Señal de Punto consigna en Osciloscopio: Color Azul.
- Señal de valor del sensor: Color Amarillo.

4.3.2. Etapas de las Pruebas

- Prueba de respuesta de la planta con ganancia proporcional 1.
- Sintonización Manual.
- Sintonización Ziegler – Nichols Primer Método.
- Sintonización Ziegler – Nichols Segundo Método.
- Sintonización Cohen y Coon.
- Sintonización Gonzáles.
- Sintonización Aström y Hägglund Método Amigo.
- Comparación de Métodos de Sintonización y selección para un caso industrial
- Sintonización sin peso por el Segundo Método Ziegler – Nichols.

4.3.3. Prueba de respuesta de la planta con ganancia proporcional 1

Operación Realizada:

- Se ajustan los parámetros del controlador, tal que: $K_p=1$, $T_i=\infty$, $T_d=0$.

Datos Obtenidos:

- Valor ganancia Kp: 1.
- Valor ganancia Ti: ∞ .
- Valor ganancia Td: 0.
- Tiempo de retraso: 0.16 s
- Tiempo de Estabilización: 2.53 s
- Sobre Impulso: 1 V
- Medida Posición a 5 V: 24.57 cm.
- Medida Posición a 2.5 V: 10.22 cm.
- Medida Posición a 7.5 V: 36.86 cm.
- Error de Estado Estable: 9.2 %
- Estado Final del Sistema: Fijo sin oscilación de estado estable.

Comentarios:

La planta no llega al punto consigna sin un controlador.

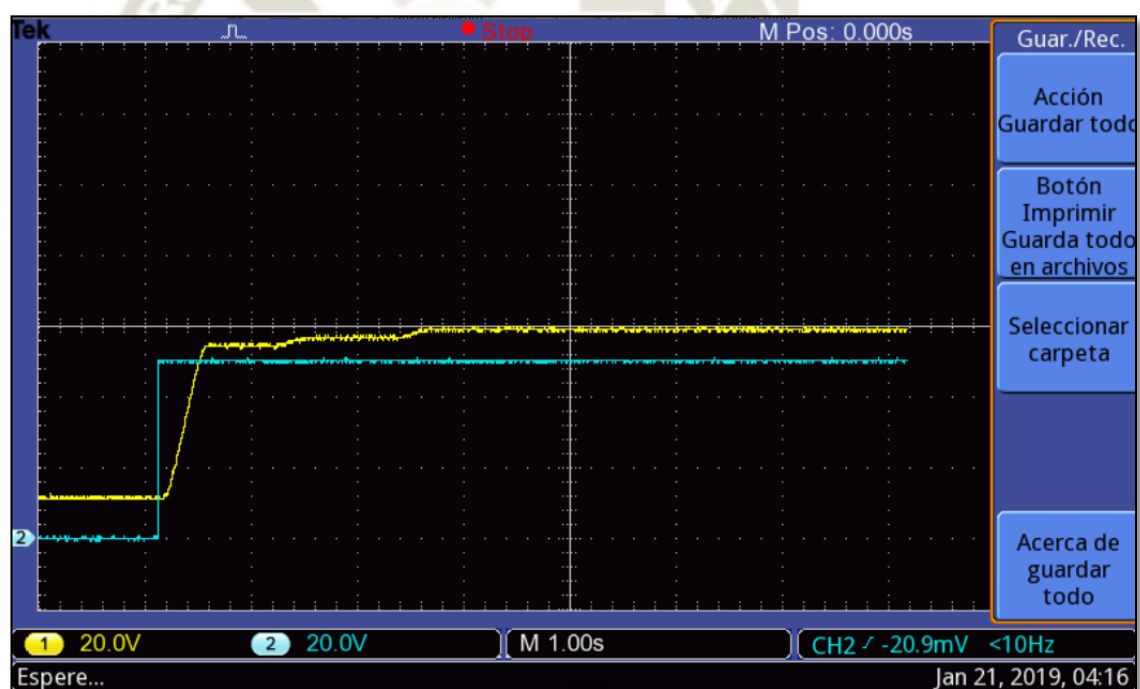


Fig. 118. Señal de Prueba 1. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Para determinar tiempo los tiempos de respuesta y sobre impulsos del sistema de sintonización sin control y obtener los datos con mayor precisión, se utilizó el entorno software Matlab, generando un código que se muestra en la figura 119, que nos facilita en la obtención de estos datos.

```
%%-----SINTONIZACION SIN CONTROL-----
clc, clear all
snc=xlsread('sinc.xlsx','hoja1')
y=plot(snc,'')
hold on
grid on
hCursorbar.Orientation = 'horizontal'; % =default
title('SINTONIZACIÓN SIN CONTROL')
axis([-1 2200 -1 7]);
xlabel('Muestras');
ylabel('Voltaje');
legend('Señal de referencia','Tiempo de muestre (8s)','Respuesta del sistema')
```

Fig. 119. Código del sintonizador sin control. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

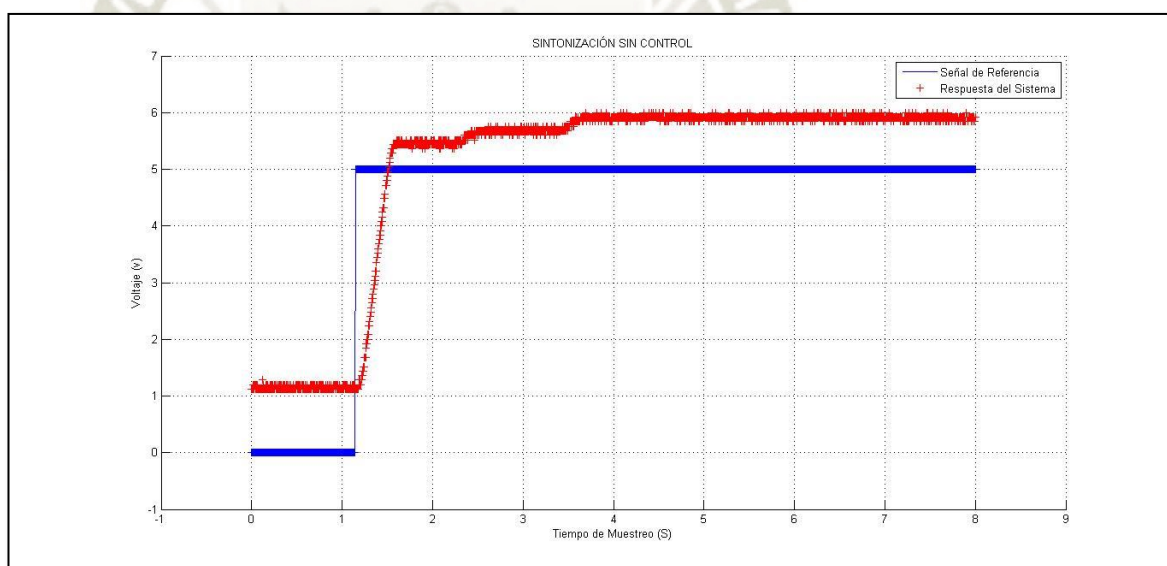


Fig. 120. Señal de Prueba 1. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

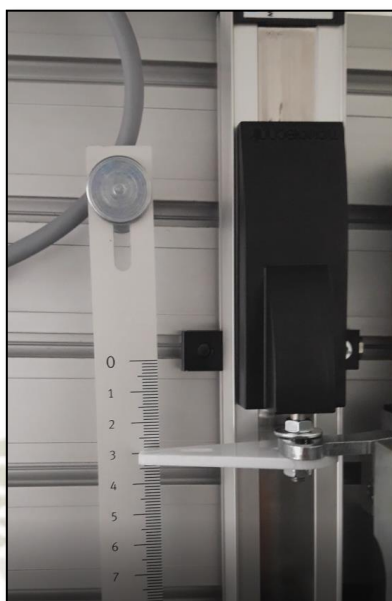


Fig. 121. Posición de 3 cm en Prueba 1. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

4.3.4. Sintonización Manual

Operación Realizada:

- Se ajustan los parámetros del controlador, tal que: $K_p=0$, $T_i=\infty$, $T_d=0$.
- Se dan incrementos de K_o hasta que el sistema se aproxima a la consigna.

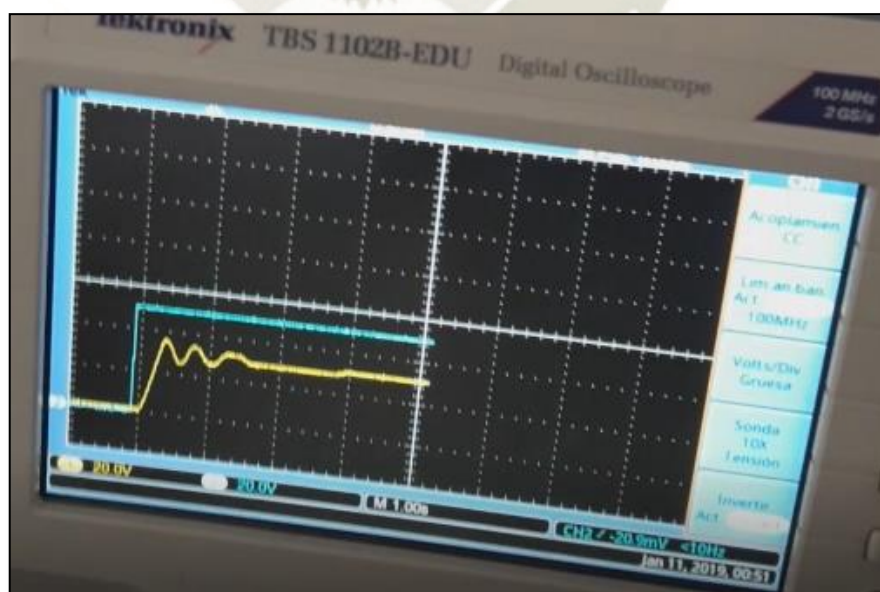


Fig. 122. Aumento de ganancia Proporcional Prueba 2. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

- Se incrementa T_d para afinar la señal del error.

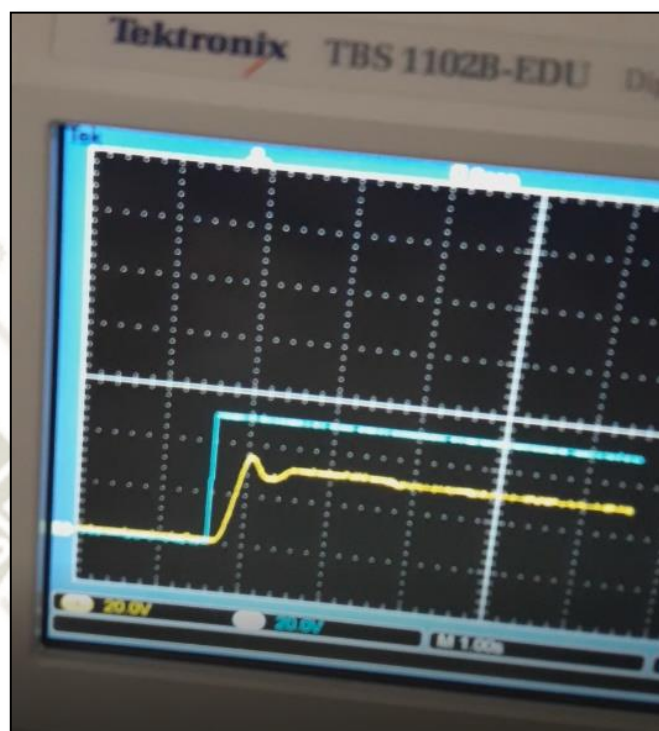


Fig. 123. Aumento de la ganancia derivativa Prueba 2. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

- Se disminuye T_i para mejorar el error de estado estable.

Datos Obtenidos:

- Valor ganancia K_p : 2.1
- Valor ganancia T_i : 1.5
- Valor ganancia T_d : 16
- Tiempo de retraso: 0.164 s
- Tiempo de Estabilización: 2.304 s
- Sobre Impulso: 0.2 V
- Medida Posición a 5 V: 22.4 – 23 cm
- Medida Posición a 2.5 V: 10.8 – 11.3 cm
- Medida Posición a 7.5 V: 33.8 – 34.3 cm
- Error de Estado Estable: 1.2 %
- Estado Final del Sistema: Oscilación de Estado Estable.

Comentarios:

Sintonización empírica

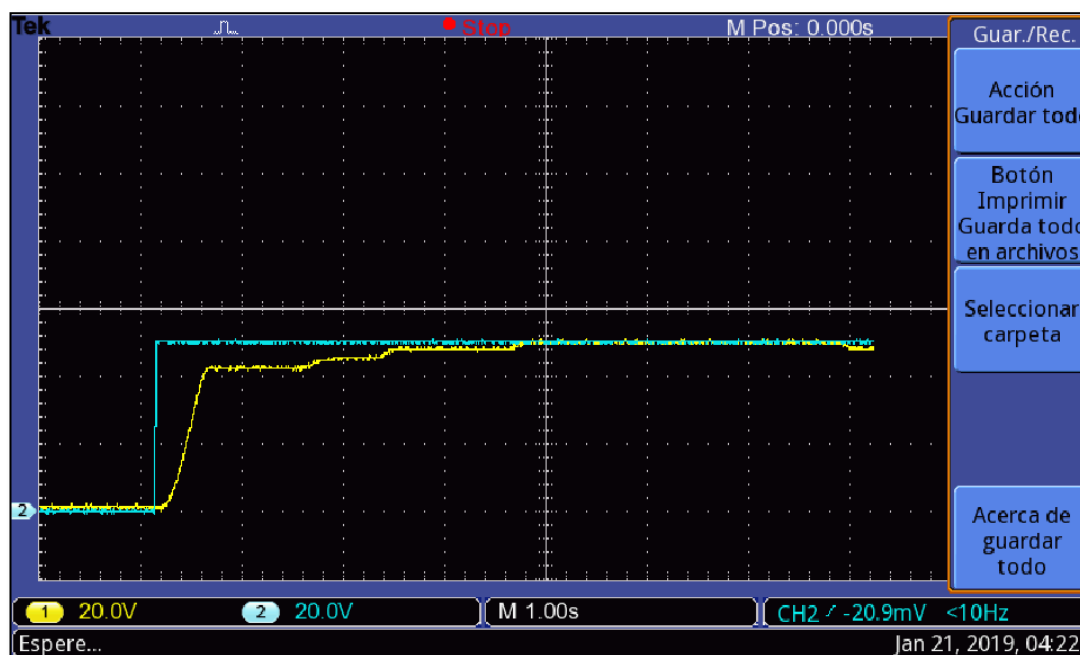


Fig. 124. Señal de Prueba 2. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

Para determinar tiempo los tiempos de respuesta y sobre impulsos del sistema de sintonización manual y obtener los datos con mayor precisión, se utilizó el entorno software Matlab, generando un código que se muestra en la figura 125, que nos facilita en la obtención de estos datos.

```
%%-----SINTONIZACION MANUAL-----
clc, clear all
manu=xlsread('manu.xlsx','hoja1')
y=plot(manu,'')
hold on
grid on
hCursorbar.Orientation = 'horizontal'; % =default

title('SINTONIZACIÓN MANUAL')
axis([-1 2200 -1 7]);
xlabel('Muestras');
ylabel('Voltaje');
legend('Señal de referencia','Tiempo de muestre (8s)','Respuesta del sistema')
```

Fig. 125. Código de sintonización Manual. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela

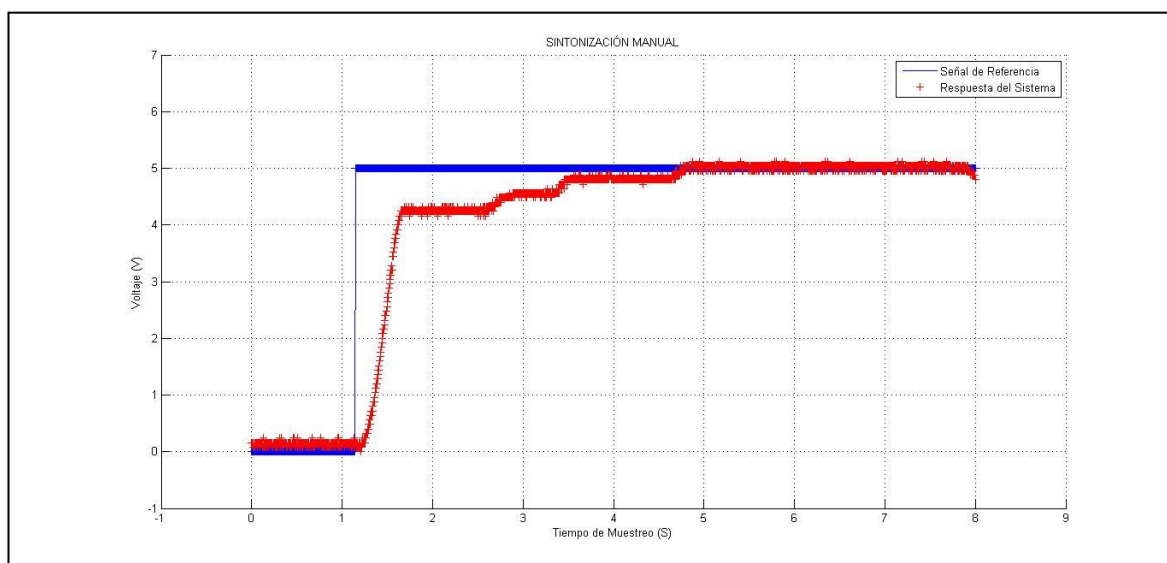


Fig. 126. Señal de Prueba 2. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela

4.3.5. Sintonización Ziegler – Nichols Primer Método

Operación Realizada:

- Se ajustan los parámetros del controlador, tal que: $K_p=1$, $T_i=\infty$, $T_d=0$.
- Se desconecta la retroalimentación.
- Se da una entrada escalón.
- Se disminuye la escala del tiempo a un paso de 0.25 s y se toma nota de la imagen obtenida.

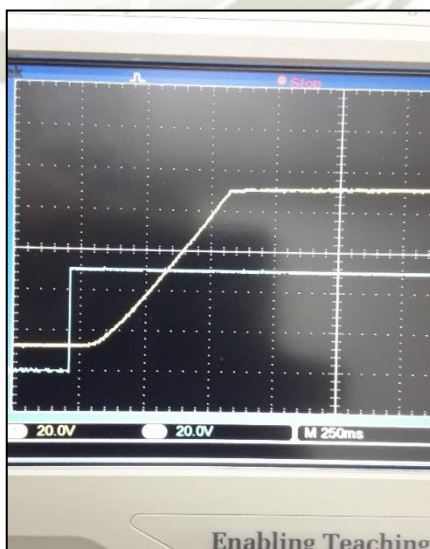


Fig. 127. Respuesta en lazo abierto prueba 3. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

- Se determinan los Parámetros “L” y “T”, donde L: 0.2 s y T=0.4 s.
- Se utiliza la Tabla 5. para hallar los valores de Kp, Ti y Td.

Datos Obtenidos:

- Valor ganancia Kp: 2.4
- Valor ganancia Ti: 0.4
- Valor ganancia Td: 0.1
- Tiempo de retraso: 0.244 s
- Tiempo de Estabilización: 2.4 s
- Sobre Impulso: 0.52 V
- Medida Posición a 5 V: 21 – 21.5 cm
- Medida Posición a 2.5 V: 9.8 – 10.2 cm
- Medida Posición a 7.5 V: 32.4 – 33 cm
- Error de Estado Estable: 4 %
- Estado Final del Sistema: Oscilación de Estado Estable.

Comentarios:

Se procedió según la teoría explicada en el Capítulo II, apartado 2.7.1.1.

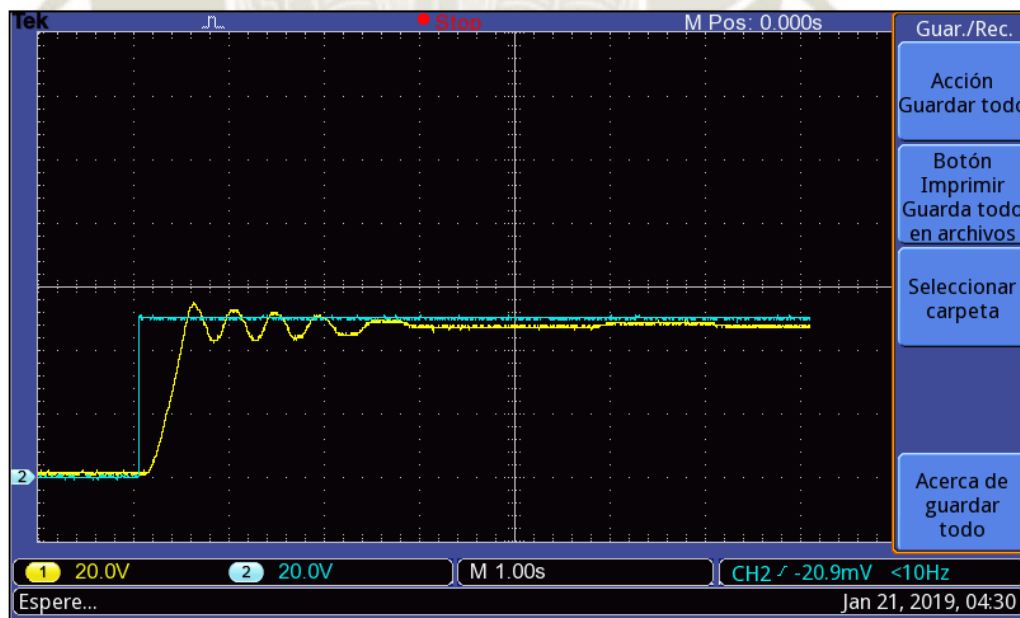


Fig. 128. Respuesta del sistema Prueba 3. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Para determinar tiempo los tiempos de respuesta y sobre impulsos del sistema de sintonización Ziegler y Nichols (método 1) y obtener los datos con mayor

precisión, se utilizó el entorno software Matlab, generando un código que se muestra en la figura 129, que nos facilita en la obtención de estos datos.

```
%%-----SINTONIZACION ZIEGLER Y NICHOLS-----
%%:::::METODO 1:::::

clc, clear all
zn1=xlsread('zn1.xlsx','hoja1')
y=plot(zn1,'+')
hold on
grid on
hCursorbar.Orientation = 'horizontal'; % =default

title('SINTONIZACIÓN Z&N METODO 1')
axis([-1 2200 -1 7]);
xlabel('Muestras');
ylabel('Voltaje');
legend('Señal de referencia','Tiempo de muestre (8s)','Respuesta del sistema')
```

Fig. 129. Código de sintonización Ziegler y Nichols. Método 1. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

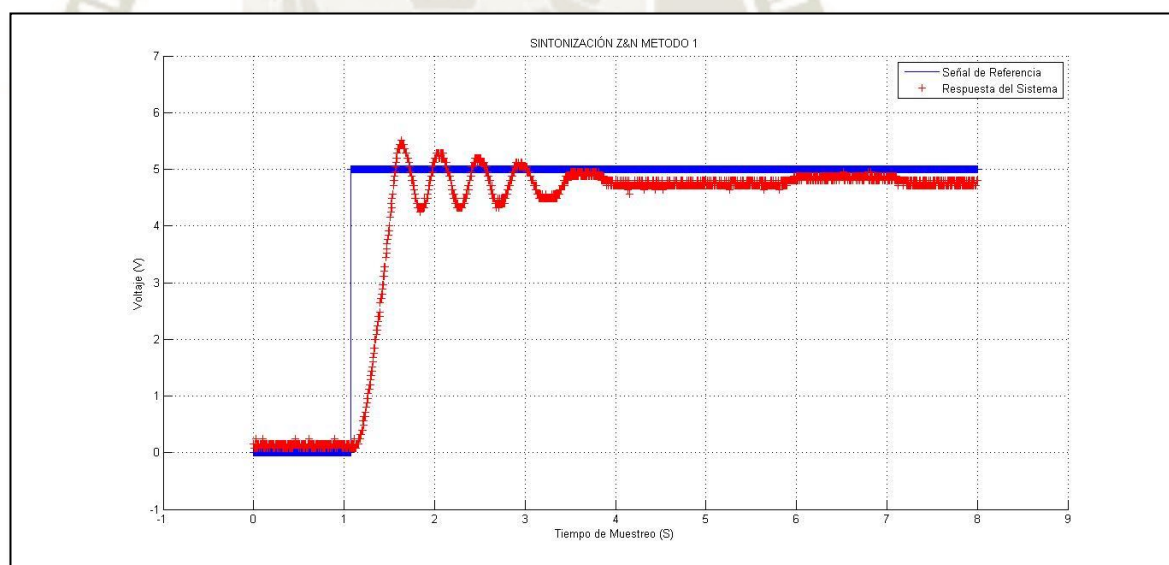


Fig. 130. Respuesta del sistema Prueba 3. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

4.3.6. Sintonización Ziegler – Nichols Segundo Método

Operación Realizada:

- Se ajustan los parámetros del controlador, tal que: $K_p=0$, $T_i=\infty$, $T_d=0$
- Se realizan incrementos de K_o hasta encontrar el punto de inestabilidad

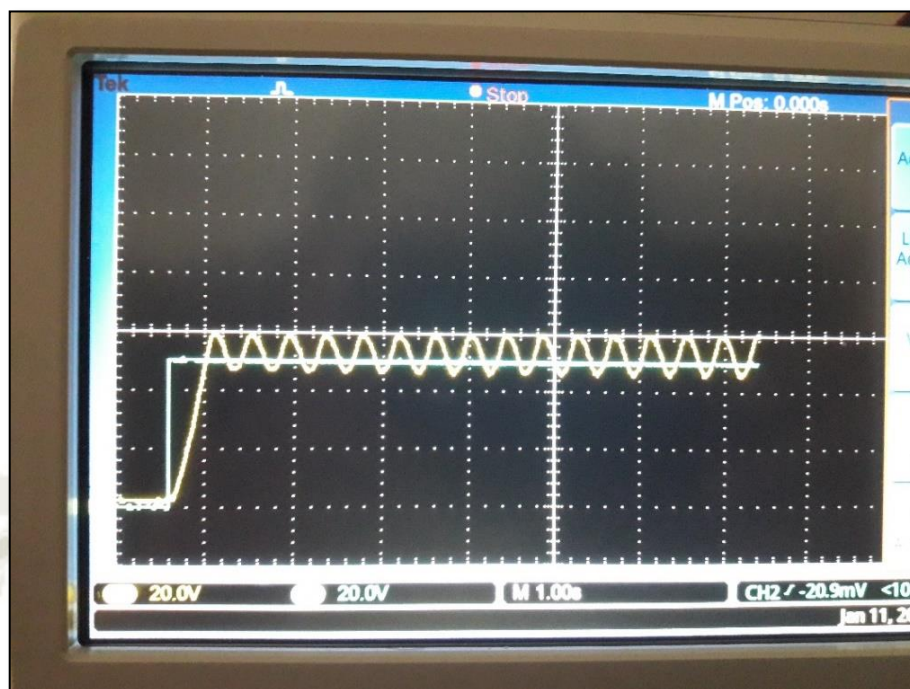


Fig. 131. Respuesta inestable Prueba 4. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

- Se afina K_o , obteniendo $K_c = 4.8$, se mide $T_c = 0.5$ s
- Se utiliza la Tabla 6. para hallar los valores de K_p , T_i y T_d .

Datos Obtenidos:

- Valor ganancia K_p : 2.7
- Valor ganancia T_i : 0.25
- Valor ganancia T_d : 0.0625
- Tiempo de retraso: 0.168 s
- Tiempo de Estabilización: 1.784 s
- Sobre Impulso: 0 V
- Medida Posición a 5 V: 21.8 cm
- Medida Posición a 2.5 V: 10.7 cm
- Medida Posición a 7.5 V: 33.5 cm
- Error de Estado Estable: 1.6 %
- Estado Final del Sistema: Oscilación de estado estable.

Comentarios:

Se procedió según la teoría explicada en el Capítulo II, apartado 2.7.1.1.

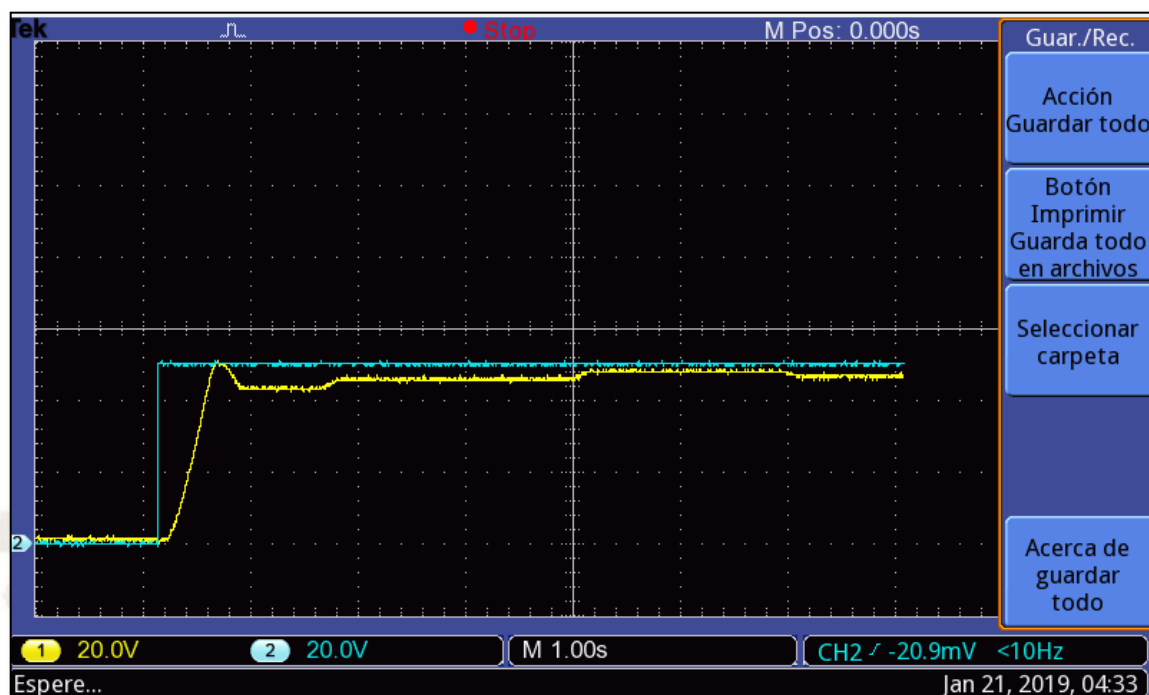


Fig. 132. Respuesta del sistema Prueba 4. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

Para determinar tiempo los tiempos de respuesta y sobre impulsos del sistema de sintonización Ziegler y Nichols (método 2) y obtener los datos con mayor precisión, se utilizó el entorno software Matlab, generando un código que se muestra en la figura 133, que nos facilita en la obtención de estos datos.

```
%%-----SINTONIZACION ZIEGLER Y NICHOLS-----
%%:::METODO 2:::

clc, clear all
zn2=xlsread('zn2.xlsx','hoja1')
y=plot(zn2,'+')
hold on
grid on
hCursorbar.Orientation = 'horizontal'; % =default

title('SINTONIZACIÓN Z&N METODO 2')
axis([-1 2200 -1 7]);
xlabel('Muestras');
ylabel('Voltaje');
legend('Señal de referencia','Tiempo de muestre (8s)','Respuesta del sistema')
```

Fig. 133. Código de sintonización Ziegler y Nichols. Método 2. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

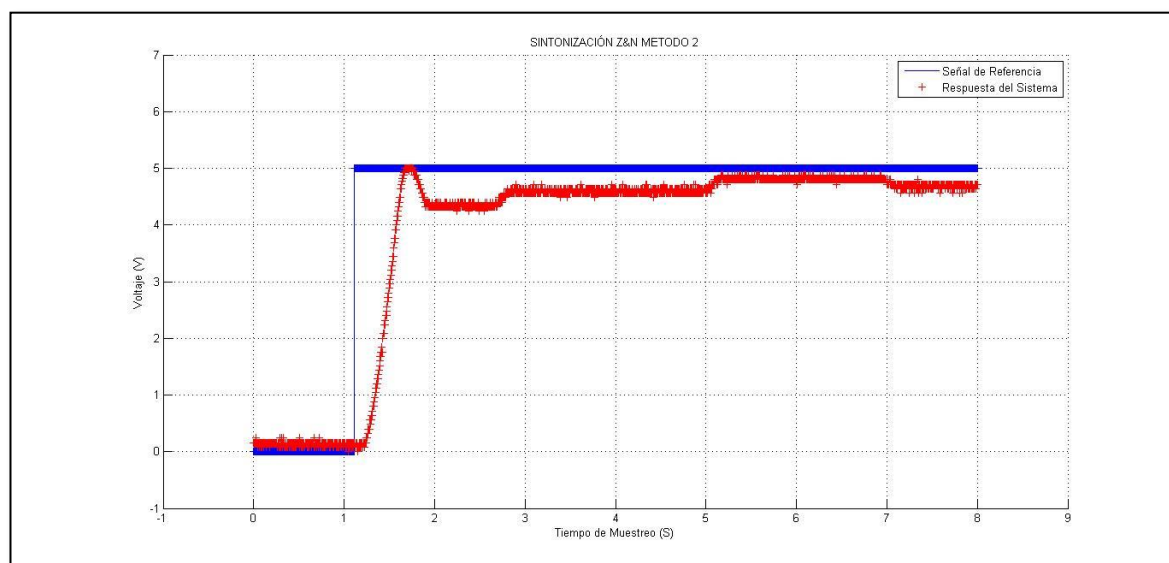


Fig. 134. Respuesta del sistema Prueba 4. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

4.3.7. Sintonización Cohen y Coon.

Operación Realizada:

- Se utiliza los datos de la Prueba 3 de $L=0.2$ s y $T=0.4$ s de la Fig.127.
- Se calcula K_o , Donde:

$$K_o = \frac{\Delta V}{\Delta U} = \frac{45}{10} = 4.5 \quad (4.3.7.1)$$

- Se utiliza la Tabla. 7. para hallar los valores de K_p , T_i y T_d .

Datos Obtenidos:

- Valor ganancia K_p : 0.65
- Valor ganancia T_i : 0.35
- Valor ganancia T_d : 0.019
- Tiempo de retraso: 0.253 s
- Tiempo de Estabilización: 4.616 s
- Sobre Impulso: 0 V
- Medida Posición a 5 V: 21.8 – 22.5 cm
- Medida Posición a 2.5 V: 9.8 – 8 cm
- Medida Posición a 7.5 V: 31.5 – 33.3 cm
- Error de Estado Estable: 3.2 %
- Estado Final del Sistema: Oscilación de Estado Estable.

Comentarios:

Se procedió según la teoría explicada en el Capítulo II, apartado 2.7.1.1.

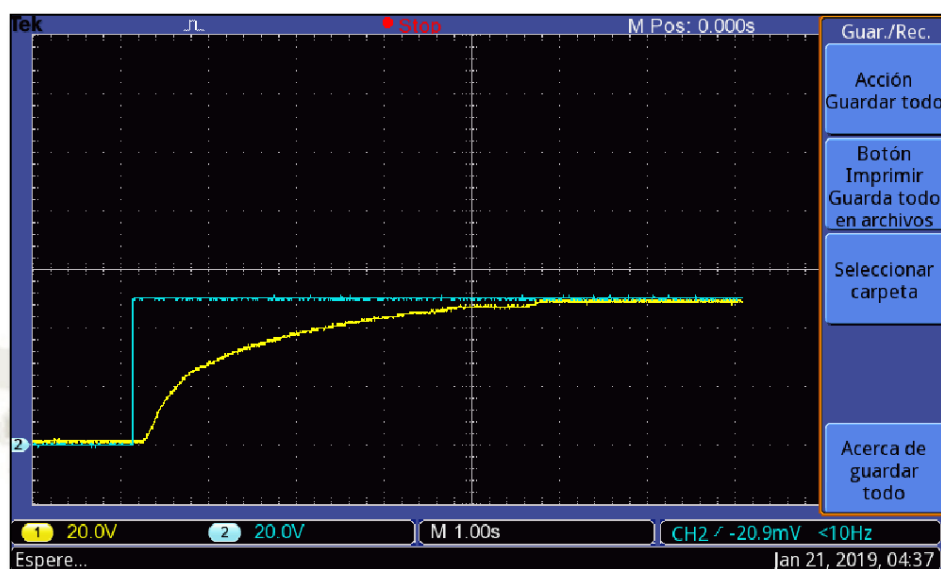


Fig. 135. Respuesta del sistema Prueba 5. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

Para determinar tiempo los tiempos de respuesta y sobre impulsos del sistema de sintonización Cohen y Coon, y obtener los datos con mayor precisión, se utilizó el entorno software Matlab, generando un código que se muestra en la figura 136, que nos facilita en la obtención de estos datos.

```
%%-----SINTONIZACION COHEN Y COON-----

clc, clear all
cyc=xlsread('cyc.xlsx','hoja1')
y=plot(cyc,'+')
hold on
grid on
hCursorbar.Orientation = 'horizontal'; % =default

title('SINTONIZACIÓN COHEN y COON')
axis([-1 2200 -1 7]);
xlabel('Muestras');
ylabel('Voltaje');
legend('Señal de referencia','Tiempo de muestre (8s)','Respuesta del sistema')
```

Fig. 136. Código de sintonización Cohen y Coon. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

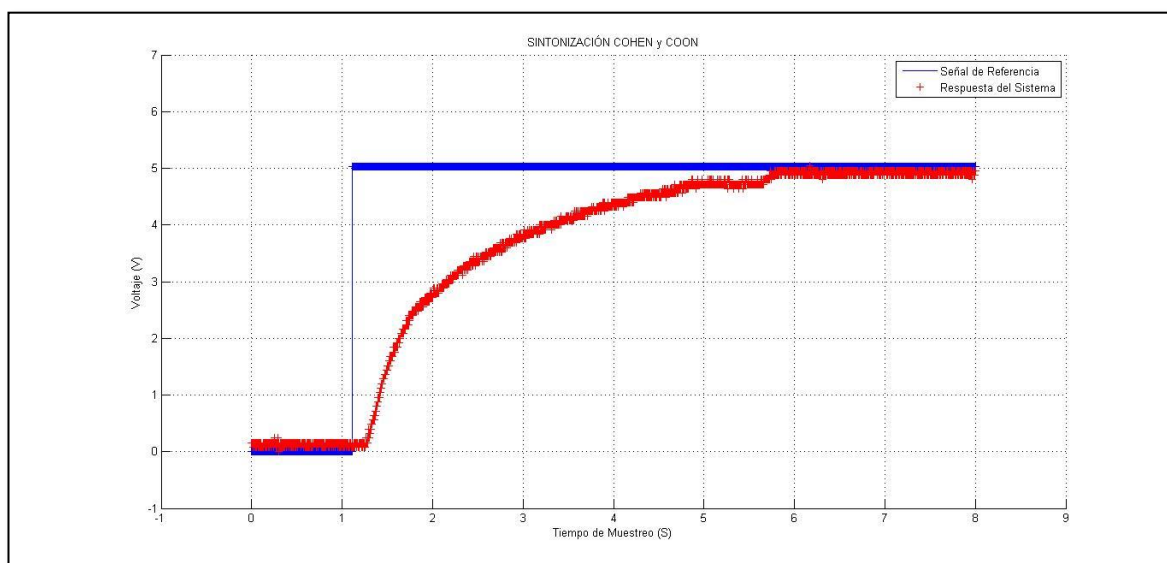


Fig. 137. Respuesta del sistema Prueba 5. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

4.3.8. Sintonización Gonzáles

Operación Realizada:

- Se utiliza los datos de la Prueba 3 de $L=0.2$ s y $T=0.4$ s de la Fig.127.
- De la Prueba 6 se toma $K_o=4.5$
- Se define $\delta=0.4$ y $\alpha=0.1$
- Se utiliza las fórmulas de la Fig. 22. para hallar los valores de K_p , T_i y T_d .

Datos Obtenidos:

- Valor ganancia K_p : 0.43
- Valor ganancia T_i : 0.1127
- Valor ganancia T_d : 0.01
- Tiempo de retraso: 0.776 s
- Tiempo de Estabilización: 6.208 s
- Sobre Impulso: 0 V
- Medida Posición a 5 V: 21.8 – 19.2 cm
- Medida Posición a 2.5 V: 9.8 – 8 cm
- Medida Posición a 7.5 V: 31.5 – 33.3 cm
- Error de Estado Estable: 9.6 %
- Estado Final del Sistema: Oscilación de Estado Estable.

Comentarios:

Se procedió según la teoría explicada en el Capítulo II, apartado 2.7.1.1.

Se observa que este metodo presenta el mayor error, dado que como se contemplo en la teoria este metodo presenta una mejor respuesta en funcion que el tiempo L y T sean mayores.

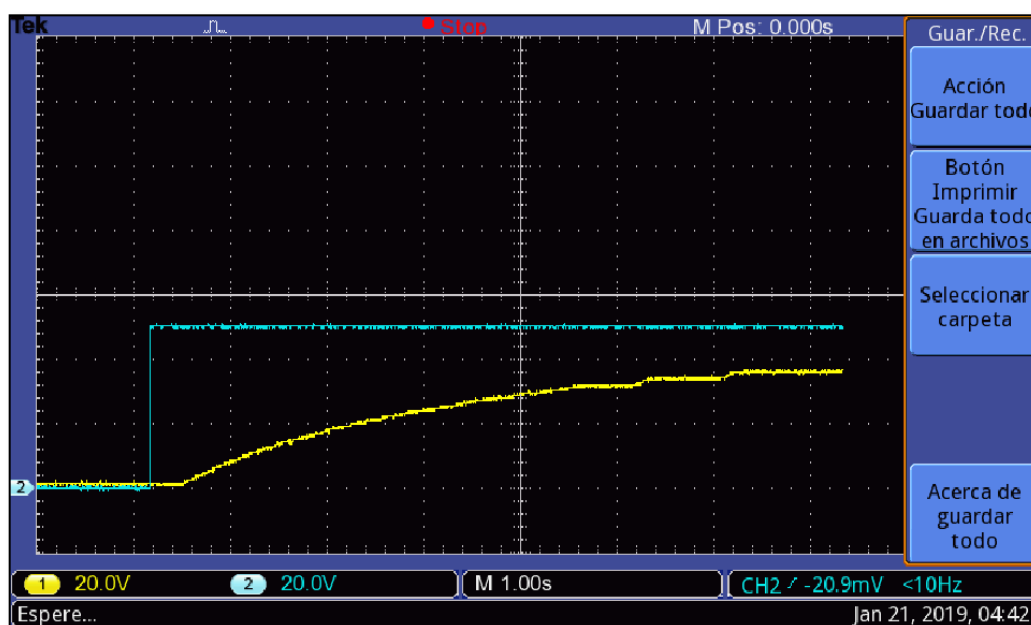


Fig. 138. Respuesta del sistema Prueba 6. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Para determinar tiempo los tiempos de respuesta y sobre impulsos del sistema de sintonización Gonzales y obtener los datos con mayor precisión, se utilizó el entorno software Matlab, generando un código que se muestra en la figura 139, que nos facilita en la obtención de estos datos.

```
%%-----SINTONIZACION GONZALES-----

clc, clear all
gonza=xlsread('gonza.xlsx','hoja1')
y=plot(gonza,'')
hold on
grid on
hCursorbar.Orientation = 'horizontal'; % =default

title('SINTONIZACIÓN GONZALES')
axis([-1 2200 -1 7]);
xlabel('Muestras');
ylabel('Voltaje');
legend('Señal de referencia','Tiempo de muestre (8s)','Respuesta del sistema')
```

Fig. 139. Código de sintonización Gonzales. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

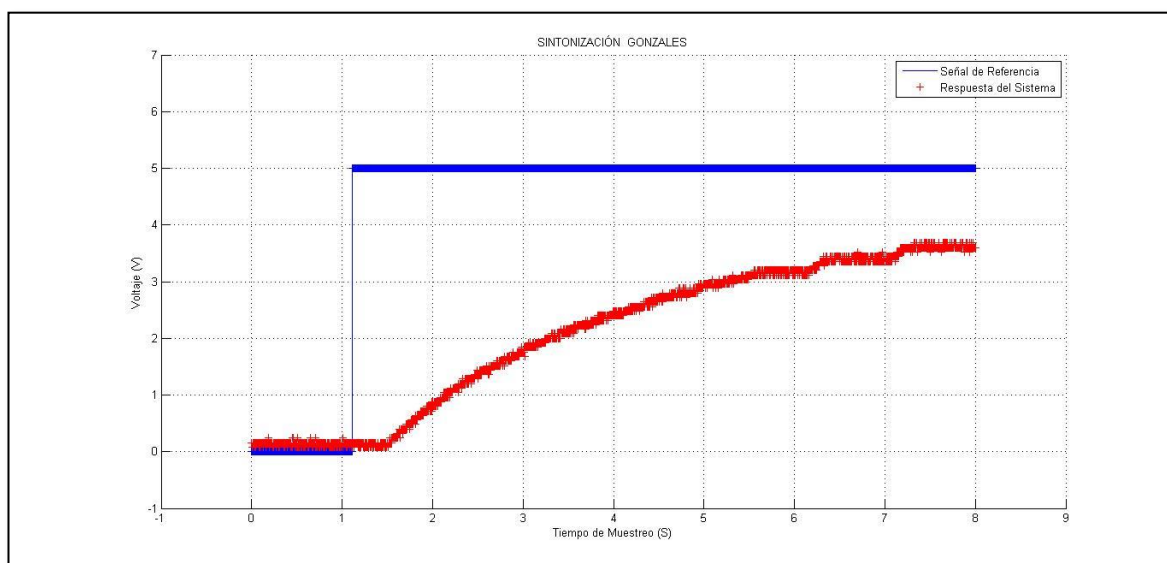


Fig. 140. Respuesta del sistema Prueba 6. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

4.3.9. Sintonización Aström y Hägglund Método Amigo

Operación Realizada:

- Se utiliza los datos de la Prueba 3 de $L=0.2$ s y $T=0.4$ s de la Fig.127.
- K_o se define como la ganancia del escalón de la Prueba 3 siendo $K_o=1$
- Se utiliza las fórmulas de la Fig. 23. para hallar los valores de K_p , T_i y T_d .

Datos Obtenidos:

- Valor ganancia K_p : 1
- Valor ganancia T_i : 0.8
- Valor ganancia T_d : 0.05
- Tiempo de retraso: 0.18 s
- Tiempo de Estabilización: 3.336 s
- Sobre Impulso: 0.12 V
- Medida Posición a 5 V: 21.7 cm
- Medida Posición a 2.5 V: 10.3 cm
- Medida Posición a 7.5 V: 32.7 cm
- Error de Estado Estable: 1.2 %
- Estado Final del Sistema: Fijo sin oscilación de estado estable.

Comentarios:

Se procedió según la teoría explicada en el Capítulo II, apartado 2.7.1.1.

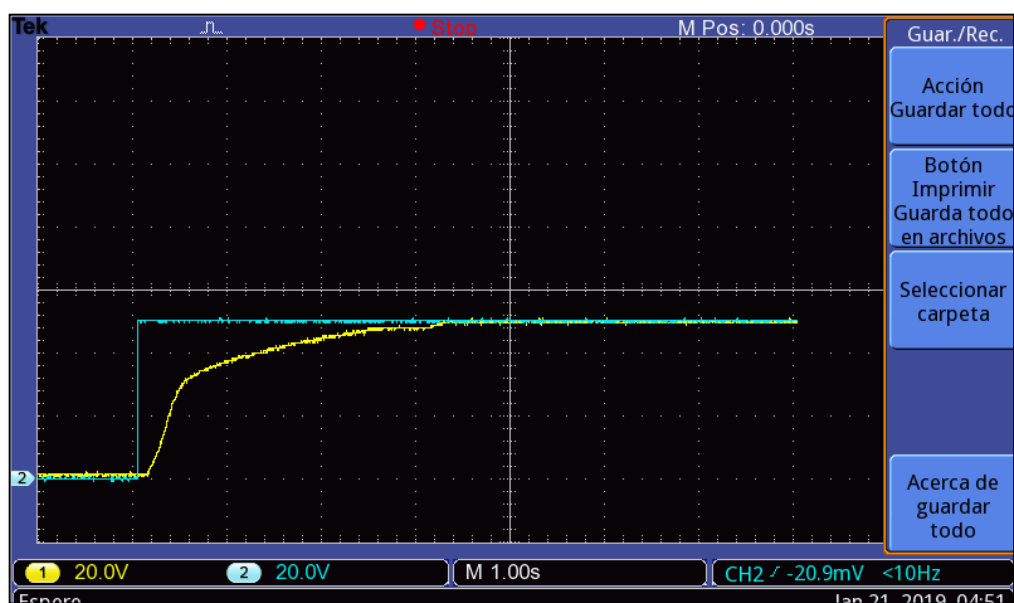


Fig. 141. Respuesta del sistema Prueba 7. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

Para determinar tiempo los tiempos de respuesta y sobre impulsos del sistema de sintonización Aström y Hägglund, y obtener los datos con mayor precisión, se utilizó el entorno software Matlab, generando un código que se muestra en la figura 143, que nos facilita en la obtención de estos datos.

```
%%-----SINTONIZACION ASTRÖM Y HÄGGLUND-----

clc, clear all
amigo=xlsread('amigo.xlsx','hoja1')
y=plot(amigo,'+')
hold on
grid on
hCursorbar.Orientation = 'horizontal'; % =default

title('SINTONIZACIÓN ASTRÖM Y HÄGGLUND')
axis([-1 2200 -1 7]);
xlabel('Muestras');
ylabel('Voltaje');
legend('Señal de referencia','Tiempo de muestre (8s)','Respuesta del sistema')
```

Fig. 142. Código de sintonización Amigo. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

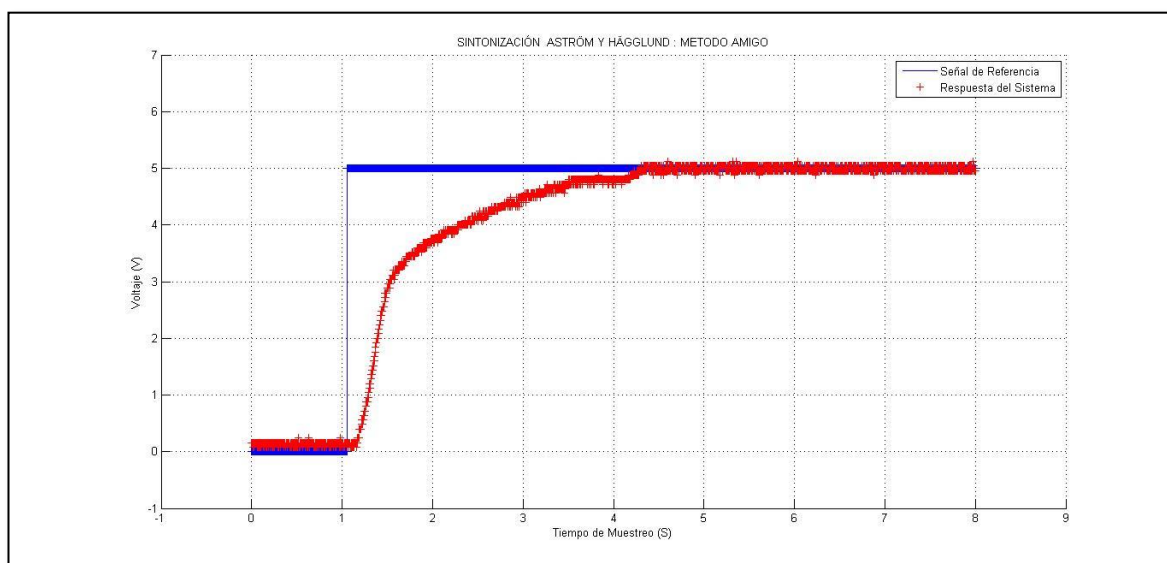


Fig. 143. Respuesta del sistema Prueba 7. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

4.3.10. Comparación de Métodos de Sintonización y selección para un caso industrial

Para la selección de un método de sintonización, se planteará el control de posición neumática de un polipasto eléctrico en un carril de 5m, Donde el sistema debe tener:

- El menor error de estado estable posible.
- Sobre Impulso 0.

A partir de las 7 pruebas de sintonización realizadas, los resultados de estas se muestran en la tabla 14, donde se puede observar que tenemos 3 métodos de sintonización que se acomodan a nuestros requerimientos.

Además, dentro de los 3 se puede observar, que el modelo de sintonización de Ziegler y Nichols (método 2) con respecto a Cohen y Gonzales indica un tiempo de retraso bajo y el tiempo de estabilización es corto, siendo dos factores fundamentales para nuestra elección, de igual forma es aceptable para el control de posición neumática en un polipasto eléctrico. Así mismo este modelo nos ofrece un Error de estado estable bajo y no genera sobre impulso, favoreciendo en el control de las acciones que se realizan en el sistema.

Tabla. 14.

Contraste de métodos de Sintonización.

Prueba	Sintonización	Kp	Ti	Td	Retraso (s)	Estabilización (s)	Sobre impulso (V)	Error Estado Estable (%)	Aplicable a Control de Posición de Polipasto
1	Sin controlador	1	∞	0	0.16	2.53	1	9.2	No
2	Manual	2.1	1.5	16	0.164	2.304	0.2	1.2	No
3	Z-N Método 1	2.4	0.4	0.1	0.244	2.4	0.52	4	No
4	Z-N Método 2	2.7	0.3	0.063	0.168	1.784	0	1.6	Si
5	Cohen y Coon	0.7	0.4	0.019	0.253	4.616	0	3.2	Si
6	Gonzales	0.4	0.1	0.01	0.776	6.208	0	9.6	Si
7	Aström y Hägglund AMIGO	1	0.8	0.05	0.18	3.336	0.12	1.2	No

Fuente: Propia. Autores: Basurco y Orihuela.

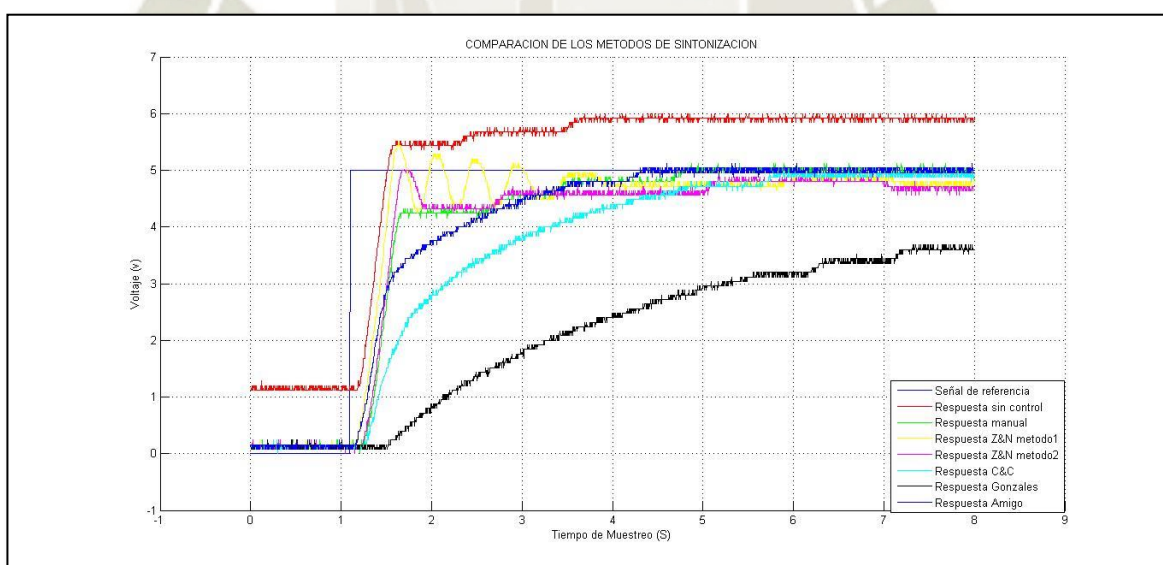


Fig. 144. Comparación de los métodos de sintonización. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

La Figura 144 se graficó en la plataforma Matlab, a partir del siguiente programa:

```
%%_____Agrupación de las gráficas de todos los métodos de
sintonización_____
clc, clear all
glo=xlsread('global.xlsx','hoja2')
```

```
y=plot(glo,'-')
hold on
%grid on
hCursorbar.Orientation = 'horizontal'; % =default
title('COMPARACION DE LOS METODOS DE SINTONIZACION')
axis([-1 2200 -1 7]);
xlabel('Muestras');
ylabel('Voltaje');
legend('Señal de referencia','Tiempo de muestre (8s)','Respuesta sin
control','Respuesta manual','Respuesta Z&N metodo1','Respuesta Z&N
metodo2','Respuesta C&C','Respuesta Gonzales','Respuesta Amigo')
```

En la figura 144 se pueden apreciar todos los métodos de sintonización aplicados, donde el objetivo de cada uno es la estabilización en el punto consigna. El método más simple es el primero dado que no presenta control, en él se obtuvo un mayor error y a su vez posee un sobre impulso, siendo estos los factores para su no elección. Del mismo modo, el segundo método es uno de los más sencillos, pero siendo un modelo empírico, se debería evaluar la robustez de la respuesta debido a que no contempla un estudio que lo fundamente, este modelo no se seleccionó. Del tercer y cuarto modelo de sintonización, Ziegler y Nichols método 1 y método 2 respectivamente, se muestra que el primero posee un sobre impulso lo que lo descarta, aun así, este método tiene un tiempo de respuesta y un error de estado estable aceptables; El segundo se acomoda a nuestros requerimientos y debido a que solo se determinan dos parámetros durante el proceso de sintonización es una alternativa rápida y eficiente.

Por otro lado, Cohen y Coon muestran una respuesta sin mucha perturbación en su respuesta, sin embargo, presenta un tiempo de estabilización mayor y así mismo una oscilación en su estado estable.

En cuanto al sexto método (Gonzales), presenta un retraso mayor, al igual que su tiempo de estabilización. Debido a la corta carrera en nuestro sistema experimental, presenta un mayor error, pero se estima que para una carrera de 5m este error disminuiría en función del tiempo de estabilización.

Por último, el método Amigo, se asemeja bastante a la respuesta de Ziegler y Nichols (método 2). Posee un corto tiempo de retraso y un bajo porcentaje de error de estado estable, pero este método posee un sobre impulso por ello al igual que los métodos anteriores es descartado.

4.3.11. Sintonización sin peso por el Segundo Método Ziegler – Nichols

Operación Realizada:

- Para la comparativa cuando la planta no tiene peso se realizará el segundo método de Ziegler y Nichols, tomando como punto consigna 5V. como se ve en la Fig. 145.



Fig. 145. Determinación del K_c , por el segundo método Ziegler y Nichols. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

- Se ajustan los parámetros del controlador, tal que: $K_p=0$, $T_i=\infty$, $T_d=0$
- Se realizan incrementos de K_o hasta encontrar el punto de inestabilidad



Fig. 146. Ajuste del K_C , por el método Ziegler y Nichols. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

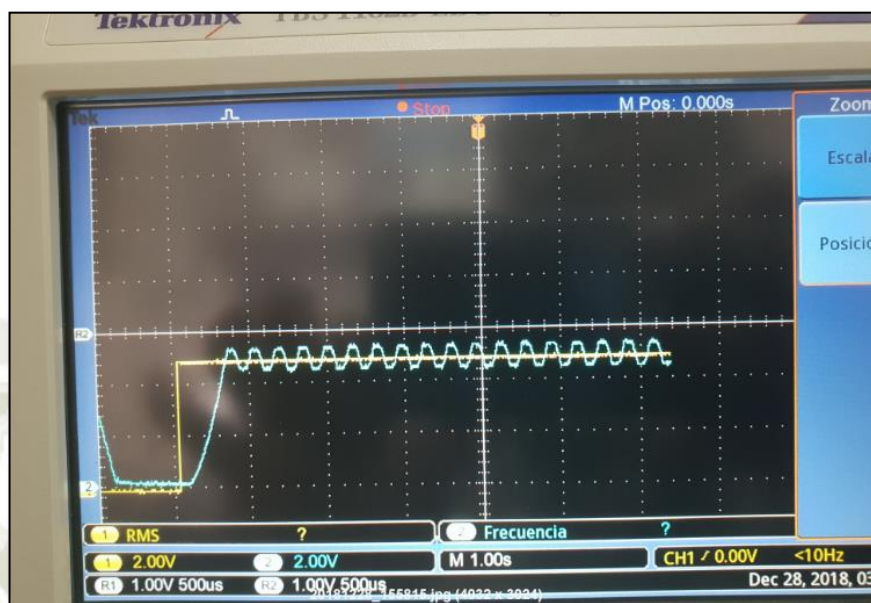


Fig. 147. Respuesta del sistema. Fuente: Propia.

Autor: Basurco y Orihuela.

- Se afina K_o , obteniendo $K_c = 12$, se mide $T_c = 0.3$ s
- Se utiliza la Tabla.6. para hallar los valores de K_p , T_i y T_d .

Datos Obtenidos:

- Valor ganancia K_p : 7.2
- Valor ganancia T_i : 0.125
- Valor ganancia T_d : 0.037
- Tiempo de retraso: 0.1 s
- Tiempo de Estabilización: 1.2 s
- Sobre Impulso: 0.4 V
- Medida Posición a 5 V: 21.8 cm
- Error de Estado Estable: 1.55 %
- Estado Final del Sistema: Oscilación de estado estable

Comentarios:

Se procedió según la teoría explicada en el Capítulo II, apartado 2.7.1.1.

Como se puede apreciar la planta para un mismo método presenta parámetros diferentes debido al peso, por ende, se entiende que para realizar la sintonización heurística, la planta debe presentar todos sus componentes.

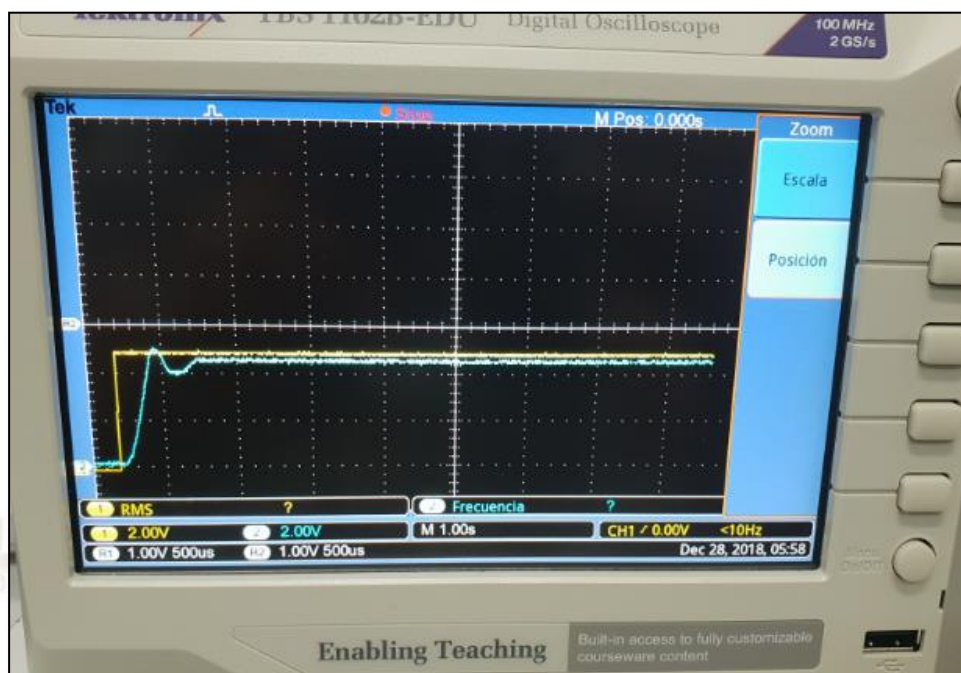


Fig. 148. Respuesta del sistema sin peso. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

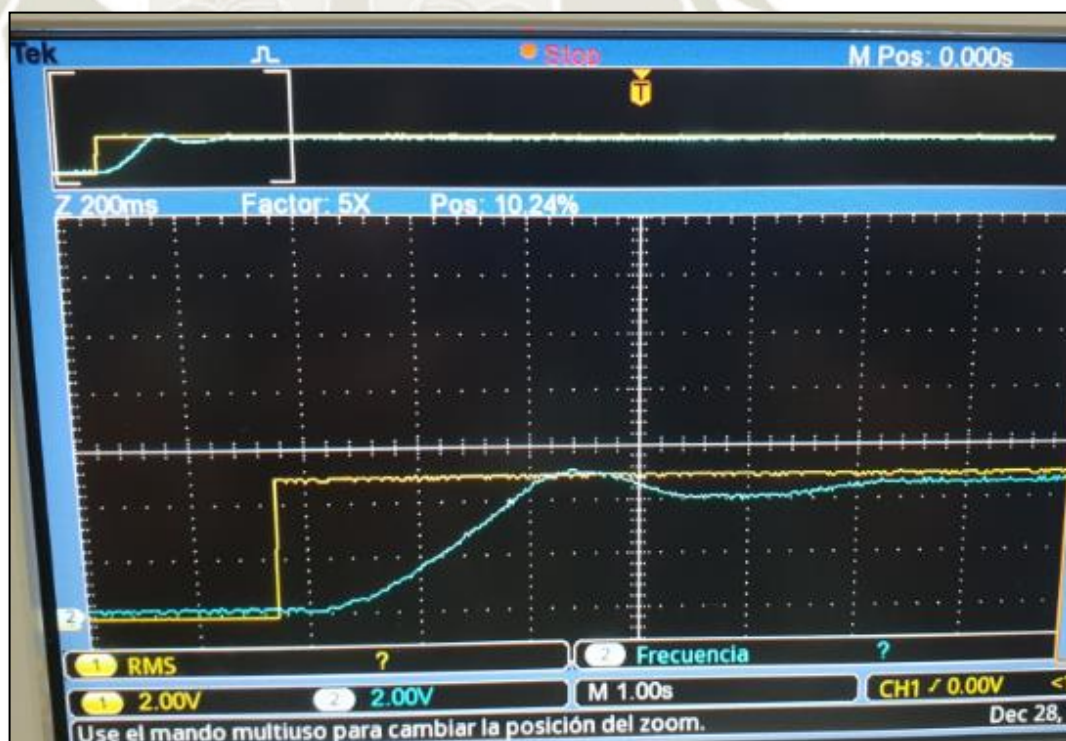


Fig.149. Respuesta del sistema aumentada. Fuente: Propia.
Autor: Basurco y Orihuela.

4.4. CONCLUSIONES

- Se logro la implementación de un sistema neumático con una carga referencial aplicado al laboratorio de Automatización y Control.
- De la evaluación de distintas propuestas para la implementación del módulo, la Propuesta 2 Festo seleccionada, presenta la mejor compatibilidad con el laboratorio de Control y Automatización, a su vez dado que no requiere la adquisición de componentes extras para su montaje y adaptación con los componentes existentes del laboratorio, se concluye que es la alternativa óptima para el sistema requerido.
- Como se desea emular un sistema industrial, se tomó en consideración el posicionamiento neumático de un polipasto eléctrico, donde el actuador con su carrera de 45 cm cumple el objetivo para una escala didáctica y el peso de 5 kg emulo a la carga ocasionada por el propio polipasto.
- De la prueba 1, se comprobó que la respuesta de la planta con un controlador proporcional 1 es estable, no presenta oscilaciones, dando a entender que la planta no presenta integradores ni polos complejos conjugados.
- Con las 6 pruebas de sintonización realizadas, se demuestra que la planta se presta para la experimentación constante de diversas teorías de sintonización, a su vez, del grafico obtenido y los parámetros seleccionados se puede emular el caso industrial del polipasto como otros según sea el requerimiento del operador.

4.5. RECOMENDACIONES

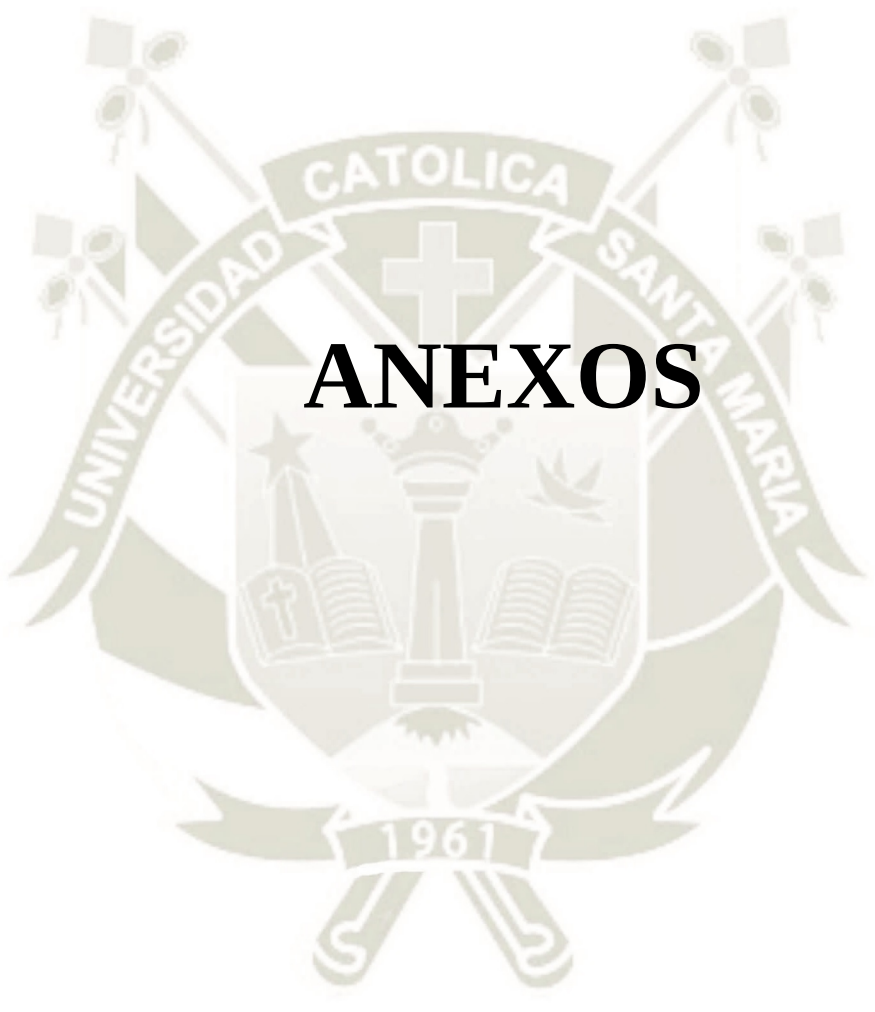
- El presente trabajo busca como objetivo generar un módulo didáctico, los parámetros seleccionados según los métodos de sintonización son exclusivos para el sistema, de requerir aplicarlo en un sistema industrial se puede referenciarse del presente trabajo, sin embargo, se deben especificar los requerimientos y los estados iniciales y finales del sistema para poder hacer el cálculo de los parámetros del controlador en caso de ser PID.
- Se puede referenciarse del presente trabajo en caso de que el actuador presente vástago o no, dado que la ubicación de la posición depende del sensor o sensores que se utilicen para el posicionamiento.
- Durante la experimentación de la planta neumática en tiempos prolongados, se recomienda contemplar el estado de la alimentación (Compresor) dado que se debe revisar si este, permite la operación constante en intervalos de tiempo prolongados.
- De requerir cambiar el controlador, el sistema de fuerza lo permite, sin embargo, se debe tener en consideración las señales emitidas que serán recibidas por la válvula proporcional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Cavada, H.* (1998). “Automatización de lazos de control PID en controladores programables”. (Tesis de Pregrado). UANL, México.
- [2] *Burbano, J., Bacca, G. y Hoyos, M.* (2003). “Control de posición y presión para para manipulador neumático a través de PC”. SCIENTIA ET TECHNICA. Vol 21, Pag 71-76
- [3] *Anaya, M., Benitez, 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. Vol 16, Pag 13-21.
- [4] *Bolton, W.* (2001). “Ingeniería de control”. México D.F. Alfa Omega.
- [5] *Ogata, K.* (2010). “Ingeniería de control moderna”. España. Pearson Education.
- [6] *Ellis, G.* (2004). “Control system design guide”. EEUU. Elsevier Academic Press.
- [7] *Creus, A.* (2010). “Instrumentación Industrial”. España. Alfaomega.
- [8] *Ponce, P.* (2010). “Inteligencia Artificial con Aplicaciones a la Ingeniería”. México. Alfaomega.
- [9] *FESTO.* (2015). “Neumática en Bucle Cerrado TP111”. Alemania. Festo.
- [10] *Baudilio, L.* (2011). “Automatización del aire comprimido para ahorro de energía”. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- [11] *Pallás, R.* (1998). “Sensores y Acondicionadores de Señal”. Marcobombo.
- [12] *Zhimnaycela, R. y Camposano, F.* (2011). “Implementación de un Sistema de Aire Comprimido para un Taller de Mecánica Automotriz”. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnico del Litoral, Ecuador.

- [13] Serrano, A. (2009). “Neumática Práctica”. Zaragoza, España. Paraninfo.
- [14] Morales, F. y Valdivia, C. (2018). “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”. (Tesis de Pregrado). Universidad Católica de Santa María, Perú.
- [15] Romero, J. (2016). “Modelado, Identificación y Control de una Planta Piloto”. (Tesis de Pregrado). Universidad de Sevilla, España.
- [16] Cova, W. (2005). “Control PID, un enfoque descriptivo”. Argentina. UTN.
- [17] Aström, K y Hägglund, T. (2004). “Revisiting the Ziegler – Nichols step response method for PID control”. ELSEVIER. Vol 14, Pag 635-650.
- [18] Agramonte, J. (2019). “Diseño e Implementación de un sistema de control de posicionamiento lineal para un cilindro hidráulico con tarjetas PID”. (Tesis de Pregrado). Universidad Católica de Santa María, Perú.
- [19] Rodríguez, E. y Zárate, M. (2015). “Diseño e Implementación de un sistema de clasificación por visión artificial basado en redes neuronales y servo posicionamiento lineal industrial”. (Tesis de Pregrado). Universidad Católica de Santa María, Perú.

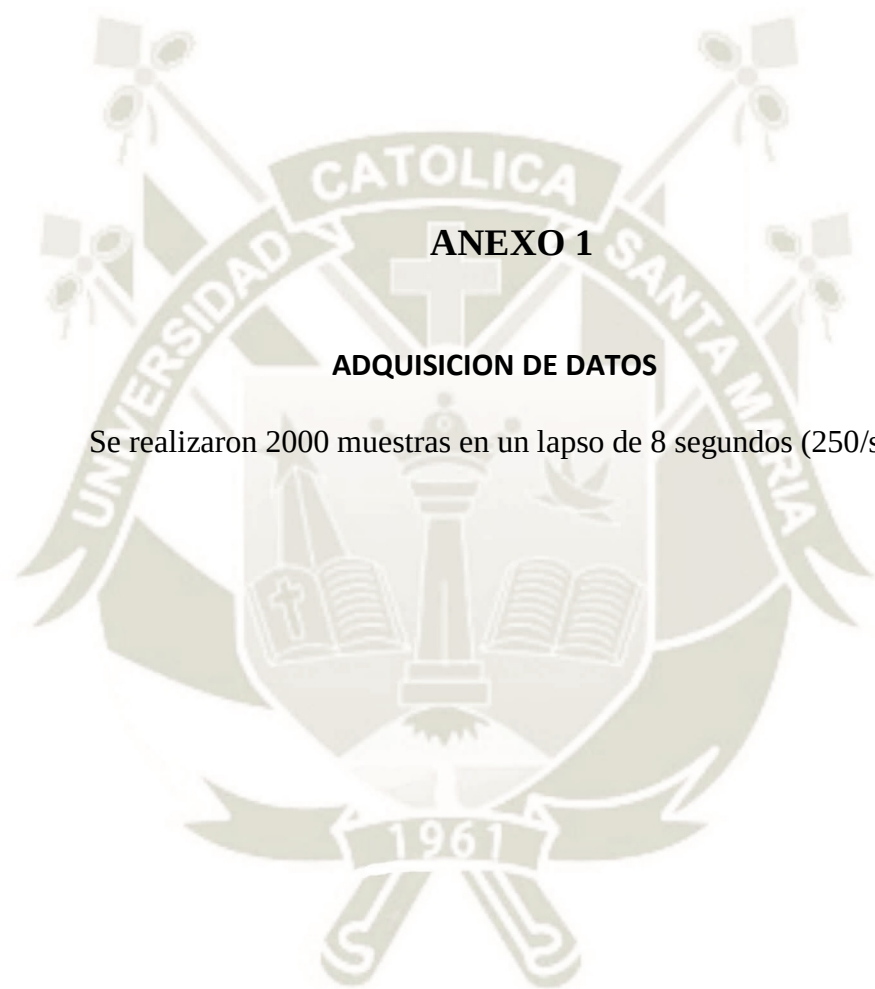


ANEXOS

ANEXO 1

ADQUISICION DE DATOS

Se realizaron 2000 muestras en un lapso de 8 segundos (250/s).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

[illegible]

[illegible]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
130																											
131																											
132																											
133																											
134																											
135																											
136																											
137																											
138																											
139																											
140																											
141																											
142																											
143																											
144																											
145																											
146																											
147																											
148																											
149																											
150																											
151																											
152																											
153																											
154																											
155																											
156																											
157																											
158																											
159																											
160																											
161																											
162																											
163																											
164																											
165																											
166																											
167																											
168																											
169																											
170																											
171																											
172																											
173																											

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

[illegible]

[illegible]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
133																															
134																															
135																															
136																															
137																															
138																															
139																															
140																															
141																															
142																															
143																															
144																															
145																															
146																															
147																															
148																															
149																															
150																															
151																															
152																															
153																															
154																															
155																															
156																															
157																															
158																															
159																															
160																															
161																															
162																															
163																															
164																															
165																															
166																															
167																															
168																															
169																															
170																															
171																															
172																															
173																															
174																															
175																															
176																															

autorizada con fines académicos e investigativos

[illegible]

[illegible]

Utilizada con fines académicos e investigativos
No olvide referenciar esta tesis

[illegible]

autorizada con fines académicos e investigativos
 No olvide referenciar esta tesis

da con fines académicos e investigativos
no olvide referenciar esta tesis

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Datos de sintonización Cohen y Coon.

[illegible]

METODO COHEN Y COOM

[illegible]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AE
134																												
135																												
136																												
137																												
138																												
139																												
140																												
141																												
142																												
143																												
144																												
145																												
146																												
147																												
148																												
149																												
150																												
151																												
152																												
153																												
154																												
155																												
156																												
157																												
158																												
159																												
160																												
161																												
162																												
163																												
164																												
165																												
166																												
167																												
168																												
169																												
170																												
171																												
172																												
173																												
174																												
175																												
176																												

Datos de sintonización Gonzales – Amigo.

[illegible]

autorizada con fines académicos e investigativos
No olvide referenciar esta tesis

[illegible]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AE
134																												
135																												
136																												
137																												
138																												
139																												
140																												
141																												
142																												
143																												
144																												
145																												
146																												
147																												
148																												
149																												
150																												
151																												
152																												
153																												
154																												
155																												
156																												
157																												
158																												
159																												
160																												
161																												
162																												
163																												
164																												
165																												
166																												
167																												
168																												
169																												
170																												
171																												
172																												
173																												
174																												
175																												
176																												

Datos de sintonización Aström y Hägglund – Amigo.

[illegible]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Elaborada con fines académicos e investigativos
No olvide referenciar esta tesis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
134																												
135																												
136																												
137																												
138																												
139																												
140																												
141																												
142																												
143																												
144																												
145																												
146																												
147																												
148																												
149																												
150																												
151																												
152																												
153																												
154																												
155																												
156																												
157																												
158																												
159																												
160																												
161																												
162																												
163																												
164																												
165																												
166																												
167																												
168																												
169																												
170																												
171																												
172																												
173																												
174																												
175																												
176																												
177																												



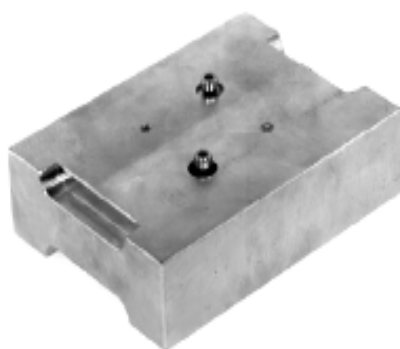
ANEXO 2

HOJA DE DATOS FESTO

034065

Peso

m



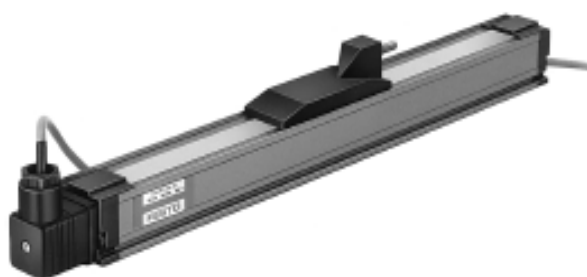
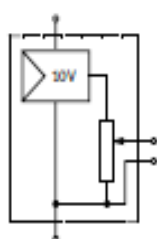
- Diseño** Peso metálico con dos tornillos Allen y cuatro rebajes para facilitar el agarre y transporte
- Función** El peso se utiliza para experimentos con carga en actuadores lineales.
- Montaje** Para compensar los diferentes patrones de taladros, Festo Didactic suministra una placa intermedia (Nº de artículo 019500). Para fijarlos, se insertan ambos tornillos Allen en los agujeros previstos en el peso y se unen junto con la corredera.
- Pueden apilarse varios pesos disponiéndolos unos encima de los otros y asegurándolos con tornillos Allen.
- Recomendamos usar botas de seguridad cuando se maneja el peso, ya que puede causar lesiones si cae encima de los pies.

Datos técnicos

Mecánicos	
Masa	5 kg
Dimensiones	Largo 150 mm Ancho 110 mm Alto 40 mm
Sistema de montaje	2 Tornillos Allen M5

152628

Potenciómetro lineal



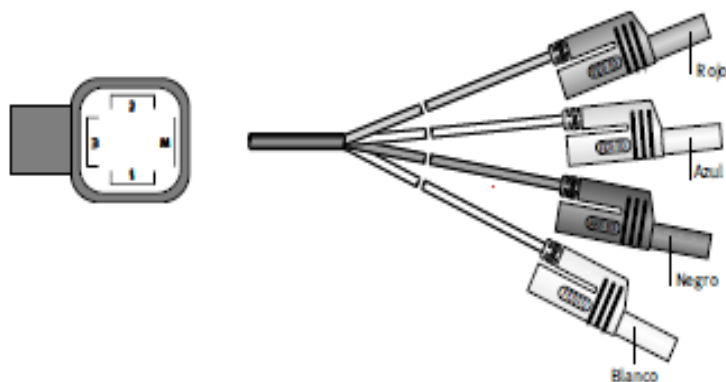
Diseño

Este potenciómetro lineal es un potenciómetro deslizable sin vástago y con conexiones en ambos extremos. Está montado en un cuerpo de aluminio y se fija al actuador lineal LA-450 (Nº de artículo 192501) con ayuda de un kit de montaje (Nº de artículo 376177). El cable tiene una clavija rectangular en un extremo para el potenciómetro lineal y cuatro clavijas tipo banana en el otro. El cable incorpora una fuente de alimentación de referencia y un convertidor de impedancia.

Función

El potenciómetro lineal proporciona una tensión de salida que es proporcional a la tensión de alimentación y a la posición de la escobilla. El material resistivo consiste en un recubrimiento de plástico conductor, que tiene la ventaja sobre los potenciómetros bobinados, de una mayor resolución y una vida útil más larga.

Asignación de pines



- 1 Masa (0 V)
- 2 Tensión de señal (0 – 10 V)
- 3 Alimentación (10 V)
- M Apantallamiento

- rojo Alimentación (13 – 30 V)
- azul Alimentación (0 V)
- negro Señal+ (0 – 10 V)
- blanco Señal–

Datos técnicos

Eléctricos, Mecánicos	
Tensión de funcionamiento permisible **	13 – 30 V DC
Resistencia del potenciómetro	5 k Ω
Tolerancia de la resistencia	± 20 %
Intensidad recomendada en la escobilla	≤ 1 μ A
Distancia de trabajo efectiva eléctrica	457 mm
Tensión de salida **	0 – 10 V DC
Temperatura de funcionamiento ambiental **	-30 – +100 °C
Error máximo de linealidad	$\pm 0,07$ % FS*
Resolución y repetibilidad	$\pm 0,01$ mm
A prueba de polaridad inversa **	sí
Resistencia de aislamiento (potenciómetro)	<100 M Ω a 500 V; 0,1 bar
Rigidez dieléctrica (potenciómetro)	500 V _{ms} a 50 Hz; 1 min; 1 bar
Velocidad de ajuste	≤ 10 m/s
Aceleración durante el ajuste	≤ 200 m/s ²
Fuerza de accionamiento (horizontal)	<1 N
Número máx. de actuaciones	10 ⁸
Material (cuerpo)	Aluminio
Peso	1000 g
Conexiones	Cable con clavijas

* FS = A final de escala

** Se aplica al potenciómetro, incluyendo el convertidor de impedancia

152860

Válvula de 3/2 vías con pulsador, cerrada en reposo



Diseño

La válvula de 3/2 vías con racores rápidos está montada en un cuerpo de polímero. La unidad se monta sobre una placa perfilada por medio de un sistema de fijación rápido con palanca azul (alternativa de montaje "A").

Función

La válvula se acciona presionando un pulsador. Al soltar el pulsador, la válvula regresa a su posición normal de reposo a través de un muelle de retorno.

Datos técnicos

Neumática	
Fluido	Aire comprimido (con o sin lubricación) (o vado; conexión 1)
Diseño	Válvula de asiento, accionada directamente y con muelle de retorno
Accionamiento	Pulsador
Margen de presión	-95 – 800 kPa (-0,95 – 8 bar)
Caudal nominal estándar 1...2	60 l/min
Fuerza de accionamiento a 600 kPa (6 bar)	6 N
Conexión	Racores QSM-4 para tubo de plástico PUN 4 x 0.75

152865

Manómetro



Diseño

El manómetro está atornillado en una placa de función que se está dotada de dos conexiones con racores rápidos que se hallan comunicadas. La unidad se monta en la placa perfilada a través de un sistema de retención rápido con leva azul (alternativa de montaje "A").

Función

El manómetro indica la presión en un sistema de control neumático.

Nota

Durante el funcionamiento continuo, el manómetro sólo debe ser cargado al 75% del final de la escala, y en caso de una variación alternativa de la presión, al 66% del final de la escala de lectura.

Datos técnicos

Neumática	
Fluido	Aire comprimido filtrado (con o sin lubricación)
Diseño	Manómetro con tubo de Bourdon
Margen de indicación	0 – 1000 kPa (0 – 10 bar)
Conexión	Racores QSM-M5-4 para tubo de plástico PUIN 4 x 0.75
Grado de calidad	1.6

152881

Regulador de caudal unidireccional



Diseño

El regulador de caudal unidireccional está atornillado en una placa de función, que incorpora un racor rápido. La unidad se inserta en la placa perfilada, a través de un sistema de fijación rápido con leva azul (alternativa de montaje "A").

Función

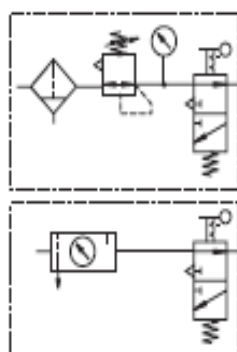
El regulador consiste en la combinación de una válvula de estrangulación y de una válvula de antirretorno. Mientras el aire atraviesa la estrangulación en un sentido, la válvula de antirretorno bloquea el flujo del aire en el otro sentido. La sección de paso estrangulada puede ajustarse mediante un tornillo moleteado. El ajuste puede asegurarse por una contratuerca moleteada. Dos flechas indican el sentido del flujo en el cuerpo. En sentido opuesto, el aire puede fluir libremente sin restricción a través de la válvula de antirretorno.

Datos técnicos

Neumática	
Fluido	Aire comprimido filtrado (con o sin lubricación)
Diseño	Válvula reguladora unidireccional
Margen de presión	20 – 1000 kPa (0.2 – 10 bar)
Caudal nominal estándar	en sentido regulado: 0 – 150 l/min en sentido libre: 160 l/min (regulador abierto) 130 l/min (regulador cerrado)
Conexión	QSM-M 5-4 para tubo de plástico PUN 4 x 0.75

152894

Unidad de mantenimiento con válvula de cierre



Diseño

El filtro regulador con manómetro, racores rápidos y válvula de interrupción, se halla montado en un soporte basculante. El vaso del filtro se halla protegido por una funda metálica. La unidad se monta sobre la placa perfilada por medio de tornillos Allen y tuercas en Te (alternativa de montaje "C"). Hay montado un acoplamiento rápido con casquillo roscado y tuerca de racor para tubo de plástico PUN 6 x 1.

Función

El filtro con separador de agua, limpia el aire comprimido de suciedad, virutas de la tubería, óxidos y condensados.
El regulador de presión ajusta el aire comprimido suministrado a la presión de funcionamiento requerida y compensa las fluctuaciones de la presión de entrada. Una flecha en el cuerpo indica el sentido del flujo. El vaso del filtro posee un tornillo de drenaje. El manómetro muestra la presión ajustada. La válvula de interrupción corta y descarga la presión del sistema. La válvula de 3/2 vías se acciona deslizando la corredera cilíndrica azul.

Nota

Cuando se monta el circuito, asegurarse de que el filtro regulador se monta en posición vertical. El regulador está provisto de un pomo, que permite ajustar la presión requerida girándolo. Apretando el tornillo ranurado en la cabeza del regulador, el ajuste puede bloquearse.

152894

Unidad de mantenimiento con válvula de cierre

Datos técnicos

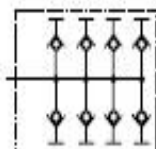
Neumática	
Medio	Aire comprimido
Diseño	Filtro sinterizado con separador de agua, regulador de presión tipo émbolo
Posición de montaje	Vertical $\pm 5^\circ$
Caudal nominal estándar *	750 l/min
Presión máx. entrada.	1600 kPa (16 bar)
Presión máx. de funcionamiento.	1200 kPa (12 bar)
Conexión	Racor rápido para zócalo de G 1/8 Racores QS para tubo de plástico PUN 6 x 1

* Presión máx. entrada: 1000 kPa (10 bar), Presión máx. de funcionamiento: 600 kPa (6 bar), Presión diferencial : 100 kPa (1 bar).



152896

Distribuidor



Diseño

Este distribuidor de aire con ocho salidas autobloqueadas, se halla sujeto sobre una placa universal. La unidad se fija a la placa perfilada por medio de un sistema de fijación rápido con leva azul (alternativa de montaje "A").

Función

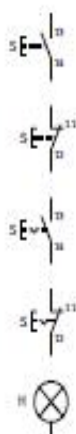
El distribuidor con una alimentación P común, permite alimentar de aire comprimido hasta ocho puntos en un sistema de control neumático.

Datos técnicos

Neumática	
Conexión	G 1/8 1 racor QSK-1/8-6 para tubo de plástico PUN 6 x 1 8 racores QSK-1/8-4 para tubo de plástico PUN 4 x 0.75

162242

Entrada de señales eléctricas



Diseño

Este componente consiste en dos pulsadores iluminados en forma de contactos momentáneos y un pulsador iluminado en forma de interruptor con enclavamiento. Todas las conexiones eléctricas son en forma de zócalos de 4 mm. La unidad puede montarse en un bastidor de montaje o en la placa perfilada utilizando adaptadores enchufables.

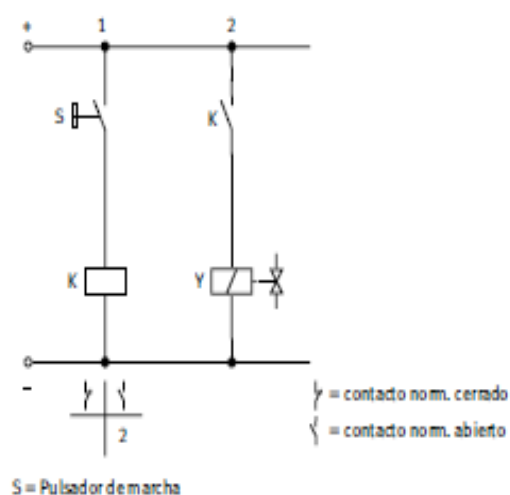
Función

Los **pulsadores iluminados** en forma de contactos momentáneos consisten en un bloque de contactos con dos contactos normalmente abiertos y dos normalmente cerrados, junto con un pulsador con caperuza transparente y una lámpara miniatura. El bloque de contactos se acciona presionando el pulsador. Los circuitos eléctricos se abren o cierran a través del bloque de contactos. Al soltar el pulsador, el conjunto de contactos regresa a su posición inicial.

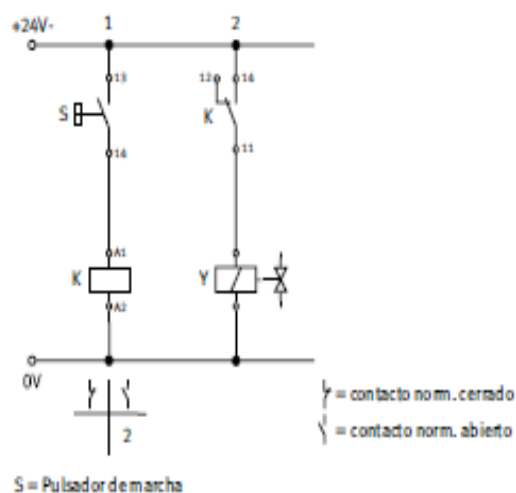
El **pulsador iluminado** en forma de interruptor con enclavamiento contiene un bloque de contactos con dos contactos normalmente abiertos y dos normalmente cerrados, junto con un pulsador con caperuza transparente y una lámpara miniatura. El bloque de contactos se acciona presionando el pulsador. Los circuitos eléctricos se abren o cierran a través del bloque de contactos. Al soltar el pulsador, se mantiene el estado de conmutación. El bloque de contactos regresa a su posición inicial presionando de nuevo el pulsador.

162242

Entrada de señales eléctricas



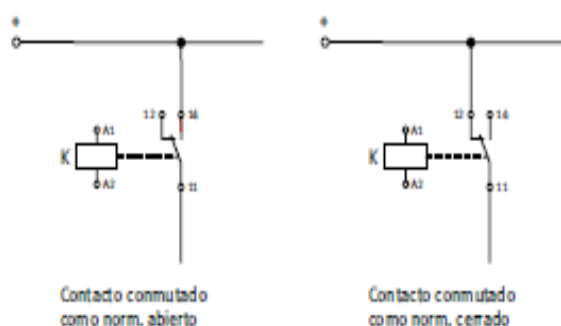
Ejemplo de aplicación: Esquema del circuito eléctrico



Ejemplo de aplicación: Montaje práctico, eléctrico

162242

Entrada de señales eléctricas



Contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados: Situación en la placa de relés

Datos técnicos

Eléctrica	
Tensión	24 VDC
Bloques de contactos	2 contactos normalmente abiertos, 2 contactos normalmente cerrados
Corriente nominal	Max. 1 A
Consumo (lámpara minúscula)	0.48 W
Conexiones	Para clavijas de 4 mm
Compatibilidad electromagnética	
Interferencias emitidas	Verificadas según EN 500 81-1
Inmunidad a interferencias	Verificadas según EN 500 82-1

Regulador de estados 162253

Regulador de estado



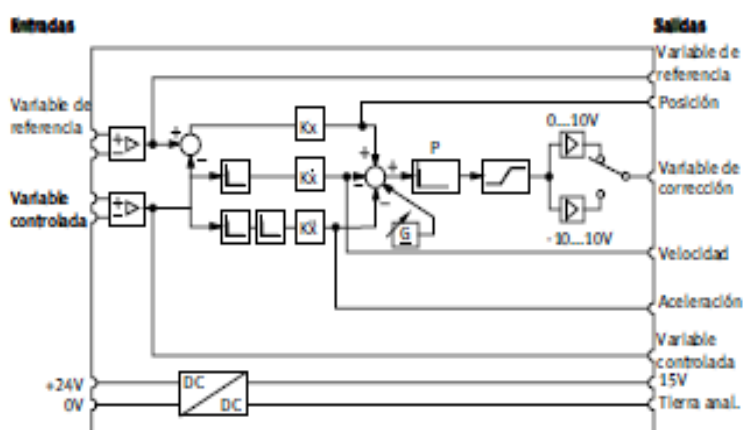
Diseño

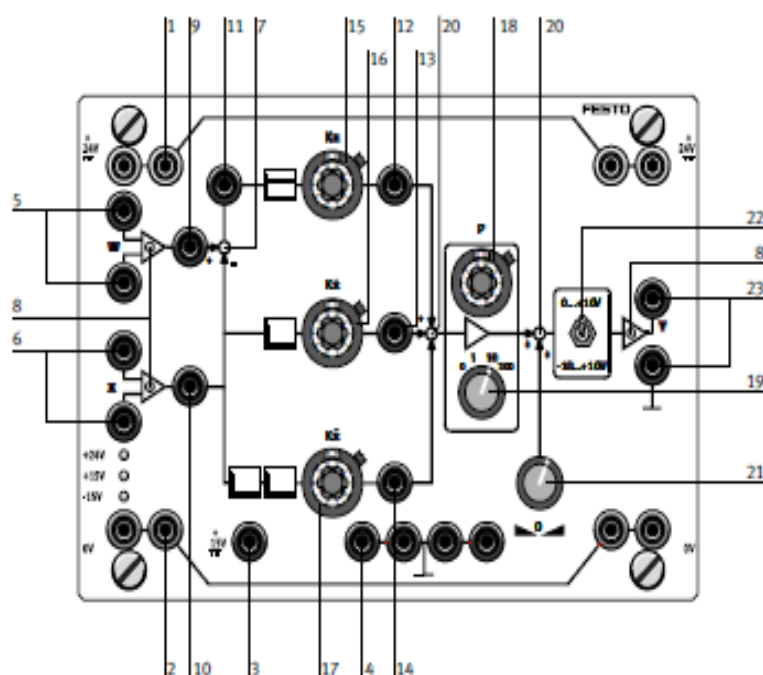
El regulador de estado se compone de las siguientes áreas:

- Alimentación
- Entradas diferenciales
- Comparador
- Componentes del regulador: componente de Posición, componente de Velocidad, componente de Aceleración
- Ganancia general
- Offset de la variable de corrección
- Punto de suma
- Limitador
- Salida

Función

El regulador de estado se utiliza como controlador en circuitos de posicionado neumáticos e hidráulicos en bucle cerrado.





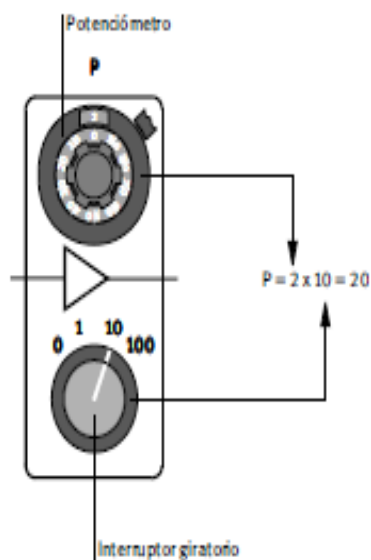
Significado de los
componentes

- 1 Alimentación + 24 V
- 2 Masa de la alimentación 0 V
- 3 Alimentación al sensor + 15 V
- 4 Masa del sensor o tierra analógico
- 5 Entrada de consigna diferencial
- 6 Entrada de valor actual diferencial
- 7 Comparador
- 8 Indicador de sobremodulación
- 9 Zócalo de prueba Setpoint (punto de consigna)
- 10 Zócalo de prueba Actual value (valor real)
- 11 Zócalo de prueba System deviation (Desviación del sistema)
- 12 Zócalo de prueba Position gain (Ganancia de posición)
- 13 Zócalo de prueba Speed gain (Ganancia de velocidad)
- 14 Zócalo de prueba Acceleration gain (Ganancia de aceleración)
- 15 Potenciómetro giratorio Position component (Componente de posición)
- 16 Potenciómetro giratorio Speed component (Componente de velocidad)
- 17 Potenciómetro giratorio Acceleration component (Componente aceleración)
- 18 Potenciómetro giratorio Overall gain (Ganancia global)
- 19 Interruptor giratorio Overall gain (Ganancia global)
- 20 Summation point (Punto de suma)
- 21 Potenciómetro giratorio para corregir el offset de la variable
- 22 Interruptor selector de margen
- 23 Salida de la variable de corrección

Alimentación	El regulador de estado requiere una alimentación de 24 V. Esta tensión es convertida internamente a ± 15 V y alimentada a la electrónica del regulador. Las tensiones están eléctricamente aisladas unas de otras, es decir, la tarjeta controladora tiene dos potenciales cero (tierra analógico y tierra de la alimentación (0 V)).
Nota	El tierra analógico y el de la alimentación nunca deben unirse, ya que ello puede producir interferencias en las señales. Los 15 V deberían ser utilizados junto con el tierra analógico como la alimentación para sensores para asegurar que las señales de ruidos se mantienen a niveles mínimos.
Entradas diferenciales	Una entrada diferencial está prevista en cada caso en el regulador de estado para el punto de consigna y las señales de valor real. La señal diferencial puede medirse contra el tierra analógico. Las entradas diferenciales están montadas con filtros pasa-bajos para eliminar las interferencias. La sobremodulación por debajo de los -10 V o por encima de los +10 V se indica por LEDs.
Comparador	El comparador conectado en serie con las entradas de señal y calcula la desviación del sistema entre el punto de consigna y el valor real.
Componentes del regulador	Los tres coeficientes del regulador (K_x , $K_{\dot{x}}$ y $K_{\ddot{x}}$) pueden ajustar infinitamente por medio de potenciómetros en el margen de [0..10].
Ganancia global	La ganancia global de la variable de corrección, que consiste en la suma de las señales de los componentes del regulador, pueden ajustarse por medio de un potenciómetro giratorio y un interruptor de etapas.
Offset de la variable de corrección	El offset de la variable de corrección puede utilizarse para imponer tensiones constantes a la señal de control, por ejemplo, para compensar el desplazamiento del punto cero de los actuadores.
Limitador de la variable de corrección	El limitador de la variable de corrección convierte las señales del regulador al margen de trabajo requerido por los actuadores. Cualquier sobremodulación en la señal de salida es indicada por el LED.
Salida	La variable de corrección puede tomarse con referencia al tierra analógico en la salida.
Zócalos de prueba	Varios zócalos de prueba permiten medir señales de tensión con referencia al tierra analógico.

Ajuste de los coeficientes

La ganancia global es el producto de los valores establecidos en el potenciómetro giratorio y en el interruptor giratorio.



Datos técnicos

Eléctricos	
Alimentación	24 V DC $\pm 10\%$
Indicador de sobremodulación	$-10 > U_e > +10$ V
Margen de tensión de entrada	-13 V – $+13$ V
Coefficiente de posición K_x	0 – 10
Coefficiente de velocidad $K_{\dot{x}}$	0 – 100 ms
Coefficiente de aceleración $K_{\ddot{x}}$	0 – 10 ms ²
Ganancia global P	0 – 1000
Limitación de la tensión de salida	[0 V – $+10$ V] [-10 V – $+10$ V]
Offset de la variable de corrección	5 V $\pm 3,5$ V con [0 V – $+10$ V] 0 V ± 7 V con [-10 V – $+10$ V]
Conexión	para clavijas de seguridad de 4 mm
Compatibilidad electromagnética	
Interferencias emitidas	verificada según EN 500 81-1
Inmunidad ruidos	verificada según EN 500 81-1

Tarjeta PID 162254

Regulador PID



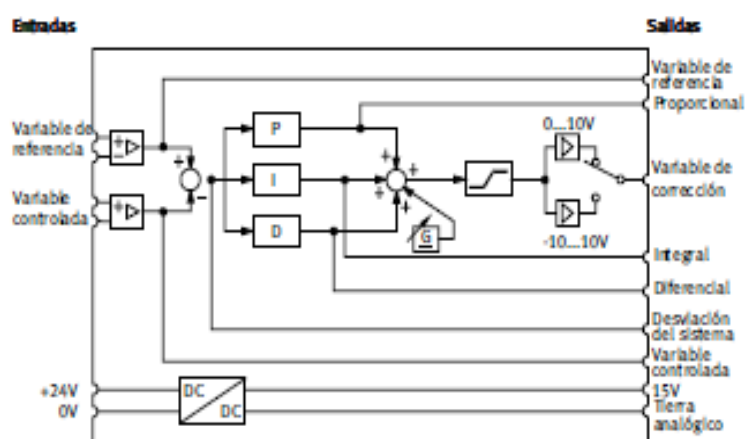
Diseño

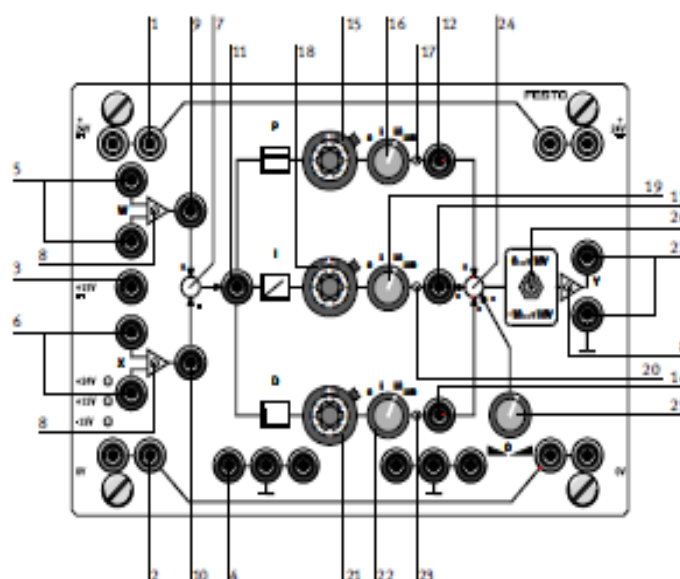
El regulador PID se compone de las siguientes áreas:

- Alimentación
- Entradas diferenciales
- Comparador
- Componentes del regulador: componente Proporcional, componente Integral y componente Diferencial
- Offset de la variable de corrección
- Punto de suma
- Limitador
- Salida

Función

Este regulador PID puede utilizarse, entre otras cosas, como un regulador para circuitos de regulación neumáticos e hidráulicos en bucle cerrado.





Clave de los componentes	1	Alimentación + 24 V
	2	Tierra de la alimentación 0 V
	3	Alimentación a sensores + 15 V
	4	Masa del sensor o tierra analógico
	5	Entrada de consigna diferencial
	6	Entrada de valor real diferencial
	7	Comparador
	8	Indicador de sobremodulación
	9	Zócalo de prueba Setpoint (punto de consigna)
	10	Zócalo de prueba Actual value (Valor real)
	11	Zócalo de prueba System deviation (Desviación del sistema)
	12	Zócalo de prueba Proportional gain (ganancia Proporcional)
	13	Zócalo de prueba Integral gain (Ganancia Integral)
	14	Zócalo de prueba Differential gain (Ganancia Diferencial)
	15	Potenciómetro giratorio componente P
	16	Interruptor giratorio componente P
	17	Indicación de power on componente P
	18	Potenciómetro giratorio componente I
	19	Interruptor giratorio componente I
	20	Power-on indicator componente I
	21	Potenciómetro giratorio componente D
	22	Interruptor giratorio componente D
	23	Power-on indicator componente D
	24	Summation point (Punto de suma)
	25	Potenciómetro giratorio para corregir el offset de la variable
	26	Interruptor selector de margen
	27	Salida de la variable de corrección

Regulador PID

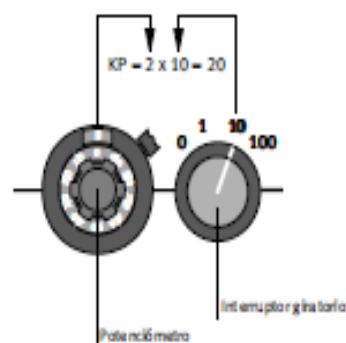
Alimentación	El regulador PID requiere una alimentación de 24 V. Esta tensión es convertida internamente a ± 15 V y alimentada a la electrónica del regulador. Las tensiones están eléctricamente aisladas unas de otras, es decir, la tarjeta controladora tiene dos potenciales cero (tierra analógico y tierra de la alimentación (0 V)).
Nota	El tierra analógico y el de la alimentación nunca deben unirse, ya que ello puede producir interferencias en las señales. Los 15 V deberían ser utilizados junto con el tierra analógico como la alimentación para sensores para asegurar que las señales de ruidos se mantienen a niveles mínimos.
Entradas diferenciales	Una entrada diferencial está prevista en cada caso en el regulador PID para el punto de consigna y las señales de valor real. La señal diferencial puede medirse contra el tierra analógico. Las entradas diferenciales están montadas con filtros pasa-bajos para eliminar las interferencias. La sobremodulación por debajo de los -10 V o por encima de los +10 V se indica por LEDs.
Comparador	El comparador conectado en serie con las entradas de señal y calcula la desviación del sistema entre el punto de consigna y el valor real.
Componentes del regulador	Los tres componentes del regulador (componentes P, I y D) pueden conectarse y desconectarse por separado, permitiendo utilizar diferentes combinaciones. Los parámetros de regulación individuales se ajustan con la ayuda de potenciómetros e interruptores giratorios.
Offset de la variable de corrección	El offset de la variable de corrección puede utilizarse para imponer tensiones constantes a la señal de control, por ejemplo, para compensar el desplazamiento del punto cero de los actuadores.
Limitador de la variable de corrección	El limitador de la variable de corrección convierte las señales del regulador al margen de trabajo requerido por los actuadores. Cualquier sobremodulación en la señal de salida es indicada por el LED.
Salida	La variable de corrección puede tomarse con referencia al tierra analógico en la salida..
Zócalos de prueba	Varios zócalos de prueba permiten medir señales de tensión con referencia al tierra analógico..

162254

Regulador PID

Ajuste de los coeficientes

Los coeficientes KP, KI y KD de los componentes del regulador son el producto de los valores establecidos en el potenciómetro giratorio y el interruptor giratorio.

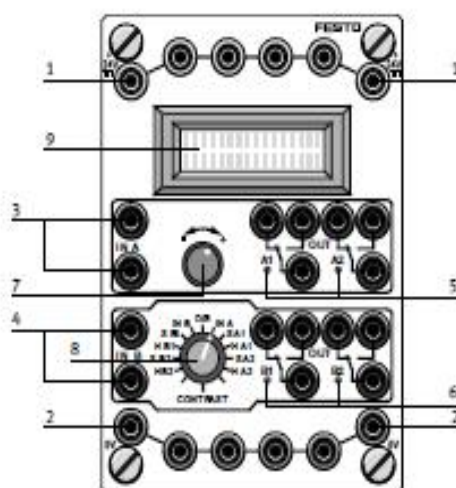
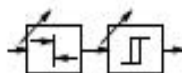


Datos técnicos

Eléctricos	
Alimentación	24 V DC $\pm$ 10 %
Indicador de sobremodulación	$-10 > U_e > +10$ V
Margen de tensión de entrada	-13 V $- +13$ V
Coefficiente de posición K _x	0 – 10
Coefficiente de velocidad K _v	0 – 100 ms
Coefficiente de aceleración K _a	0 – 10 ms ²
Ganancia global P	0 – 1000
Limitación de la tensión de salida	[0 V – +10 V] [–10 V – +10 V]
Offset de la variable de corrección	5 V $\pm$ 3,5 V con [0 V – +10 V] 0 V $\pm$ 7 V con [–10 V – +10 V]
Conexión	para clavijas de seguridad de 4 mm
Compatibilidad electromagnética	CE
Interferencias emitidas	verificada según EN 500 81-1
Inmunidad ruidos	verificada según EN 500 81-1

Tarjeta punto consigna 162257

Tarjeta comparadora



Significado de los
componentes

- 1 Alimentación +24 V DC
- 2 Alimentación 0 V
- 3 Entrada A: tensión de entrada $0 - \pm 10$ V
- 4 Entrada B: tensión de entrada $0 - \pm 10$ V
- 5 Contactos de salida A1, A2
- 6 Contactos de salida B1, B2
- 7 Botón de ajuste
- 8 Interruptor selector
- 9 Display

Tarjeta comparadora

Diseño

Esta tarjeta comparadora tiene dos entradas separadas (IN A, IN B), cada una de las cuales actúa en uno de dos comparadores independientes. Las salidas de estas, están designadas como OUT A1, A2 y OUT B1, B2. la activación de las salidas se indica mediante LEDs.

En cada comparador pueden establecerse los siguientes valores:

Tensión de consigna: -10 V ... +10 V,

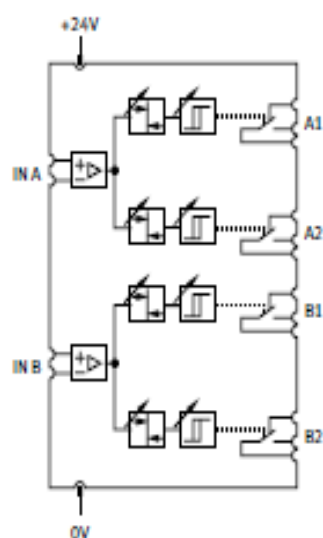
Histéresis (diferencia de conmutación): 0 V ... 5 V.

Los valores de conexión y desconexión se definen como sigue:

Valor de conexión = Punto de consigna + $\frac{1}{2}$ histéresis,

Valor de desconexión = Punto de consigna - $\frac{1}{2}$ histéresis.

Los valores de consigna e histéresis se determinan por medio de un interruptor selector. Los ajustes se hacen con ayuda del botón de ajuste. El contraste del LCD es ajustable. El sistema de guiado por menú también ofrece la elección del idioma en Alemán o en Inglés. La alimentación para la tarjeta comparadora es de 24 V.



Circuit diagram

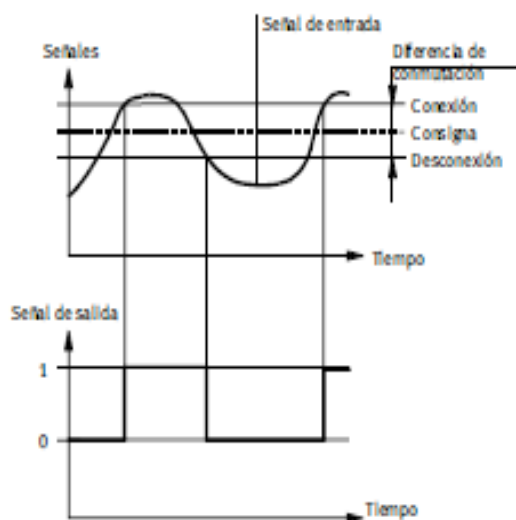
162257

Tarjeta comparadora

Función

Un comparador de conmutación positiva con diferencia de conmutación tiene las siguientes características:

- La salida se activa cuando la señal de entrada sobrepasa el valor de conexión.
- La salida se desactiva cuando la señal de entrada cae por debajo del valor de desconexión.



Modo de funcionamiento de un comparador positivo con diferencia de conmutación

Datos técnicos

Eléctrico	
Alimentación	24 V DC $\pm 10\%$
Tensión de entrada, entradas A y B	-10 – +10 V
Resistencia de entrada, entradas A y B	$>10\text{ k}\Omega$
Precisión de indicación	$\pm 30\text{ mV}$
Salidas A y B	Relé con contactos flotantes, conmutadores
Potencia de los contactos	24 V DC/2 A 120 V AC/1 A
Conexión	para clavijas de seguridad de 4 mm
Compatibilidad electromagnética	
Interferencias emitidas	verificada según EN 500 81-1
Inmunidad a ruidos	verificada según EN 500 82-1

Las entradas están a prueba de cortocircuitos y de picos hasta 24 V.



167073

Electroválvula de 3/2 vías, cerrada en reposo



Diseño

Esta válvula de 3/2 vías de una sola bobina, con racores rápidos esta unida a una placa de función que se halla provista de una conexión P y un silenciador. La unidad se monta sobre la placa perfilada con un sistema de bloqueo rápido con leva azul (alternativa de montaje "A").

Función

La electroválvula invierte cuando se aplica tensión a la bobina del solenoide ($1 \rightarrow 2$) y regresa a su posición inicial ($1 \rightarrow 0$) por un muelle de retorno cuando cesa la señal. El estado de conmutación se visualiza por medio de un LED en la carcasa del terminal. La válvula está dotada de un accionamiento manual.

Nota

La bobina del solenoide se caracteriza por un muy bajo consumo y una baja generación de calor. La conexión eléctrica incorpora protección contra polaridad incorrecta para el LED y un circuito de protección.

167073

Electroválvula de 3/2 vías, cerrada en reposo

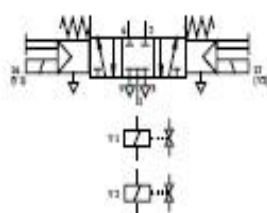
Datos técnicos

Neumática	
Medio	Aire comprimido, filtrado (con o sin lubricación)
Diseño	Válvula de corredera pilotada, con muelle de retorno
Margen de presión	250 – 800 kPa (2.5 – 8 bar)
Tiempo de conmutación a 600 kPa (6 bar)	con.: 20 ms, Descon.: 30 ms
Caudal nominal estándar	500 l/min
Conexión	Racor QS 3 para tubo de plástico PUN 4 x 0.75

Eléctrica	
Tensión	24 V DC
Consumo	1.5 W
Tiempo de utilización	100 %
Conexión	Para clavijas de seguridad de 4 mm

167077

Válvula de 5/3 vías, centro cerrado



Diseño	Esta electroválvula de 5/3 vías con racores rápidos está montada sobre una placa equipada con una entrada P y un silenciador. La unidad se fija sobre la placa perfilada utilizando el sistema de fijación rápida con leva azul (variante de montaje "A")
Función	La electroválvula se activa en un sentido cuando se aplica tensión a la bobina 14 (1 → 4 y 2 → 3) y regresa a su posición inicial cerrada (1 → 0) por medio de un muelle de retorno al retirar la señal. Cuando se aplica tensión a la otra bobina 12, la válvula se activa en el otro sentido (4 → 5 y 1 → 2). El estado de conmutación se indica a través de un LED en el cuerpo del terminal.
Nota	Las bobinas se caracterizan por su bajo consumo y baja generación de calor. Las conexiones eléctricas incorporan LEDs con protección contra polaridad incorrecta y un circuito de protección.

167077

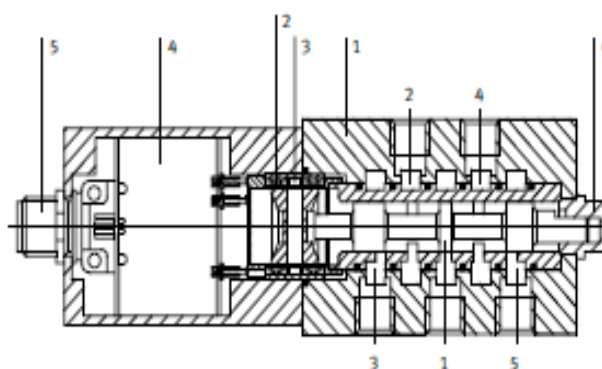
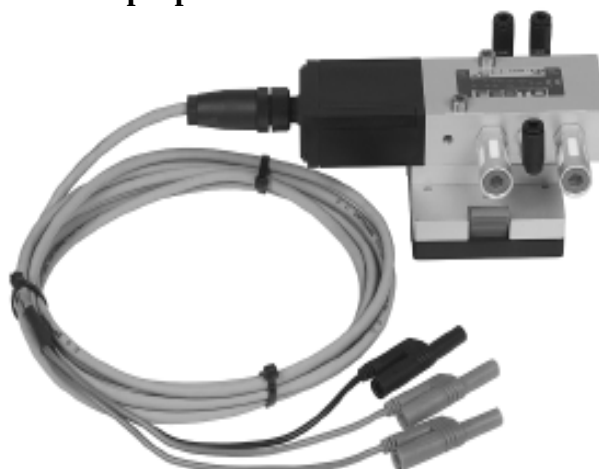
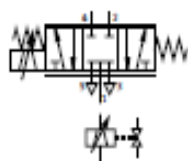
5 Válvula de 5/3 vías, centro cerrado

Datos técnicos

Neumática	
Fluido	Aire comprimido filtrado (con o sin lubricación)
Diseño	Válvula de corredera pilotada, con centrado por muelle
Margen de presión	300 – 800 kPa (3 – 8 bar)
Tiempo de respuesta a 600 kPa (6 bar)	Conexión: 15 ms, Desconexión: 40 ms
Caudal nominal estándar	250 l/min
Conexiones	QS para tubo de plástico PUN 4 x 0.75

Eléctrica	
Tensión	24 V DC
Consumo	1,5 W
Tiempo de funcionamiento	100 %
Conexiones	Para clavijas de 4 mm y clavijas tipo jack de 2 vías

Válvula proporcional 5/3 Vías 167078



- 1 Válvula de 5/3 vías
- 2 Actuador del electroimán
- 3 Sensor
- 4 Electrónica de la válvula
- 5 Conexión eléctrica
- 6 Tapa de la válvula

Diseño

La válvula proporcional MPYE-5-1/8 está montada en una base que incorpora el sistema de retención rápido (alternativa de montaje "A"), adecuado para montaje en placa perfilada. La válvula está equipada con racores rápidos LCU y dos silenciadores. Los principales componentes internos de una válvula distribuidora de control proporcional son:

- Una válvula neumática de 5/3 vías en versión de corredera, cerrada en posición media (1)
- Un actuador del electroimán (2) para posicionar la corredera de la válvula
- Un sensor (3) para medir la posición de la corredera de la válvula
- Electrónica de la válvula integrada (4) para regular la posición de la corredera.

167078

Válvula proporcional de 5/3 vías

Función

La válvula de control proporcional convierte una señal de entrada eléctrica analógica en las correspondientes aberturas de las salidas. A la mitad de la tensión nominal, es decir a 5 V, la válvula asume su posición media, en la que todos los bordes de control están cerrados, de forma que, aparte de unas mínimas fugas, no pasa aire a través de la válvula. A 0 y 10 V respectivamente, la válvula asume sus posiciones finales, con una máxima sección de abertura.

Un actuador de electroimán accionando directamente sobre la corredera de la válvula hace las veces de transductor electromecánico. Un control electrónico integrado para el recorrido de la corredera de la válvula (posición subordinada en bucle cerrado) permite obtener unas buenas características estáticas y dinámicas, que se reflejan en una baja histéresis (por debajo del 0,3%), cortos tiempos de respuesta (típicamente 5 ms) y elevada frecuencia máxima (aprox. 100 Hz).

La válvula es así especialmente adecuada para ser utilizada como elemento final de control junto con un controlador de posición de alto nivel para el posicionado de cilindros neumáticos.

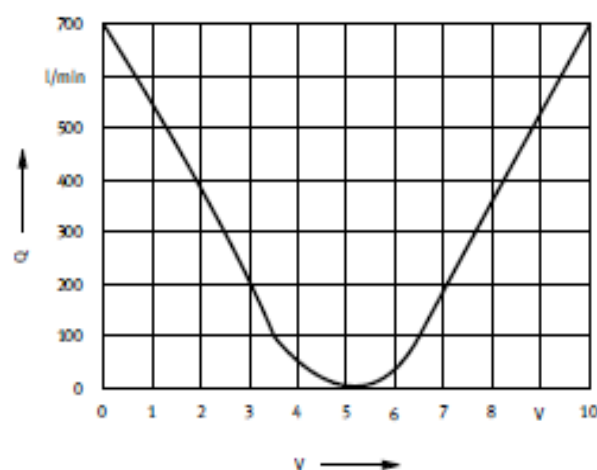
Si la corredera de la válvula se atasca, por ejemplo debido a suciedad, puede retirarse la tapa de la válvula (6) y desatascar la corredera a mano.

Conexión eléctrica

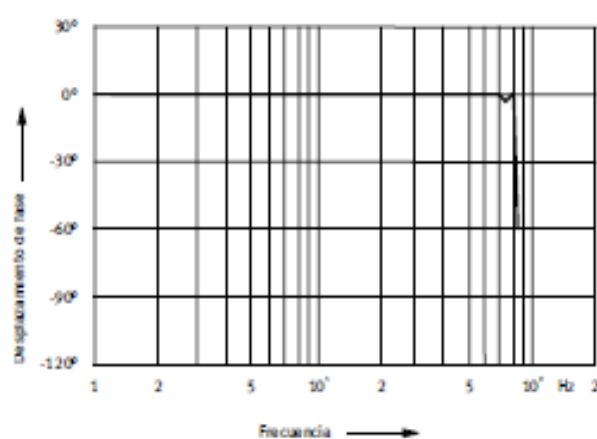
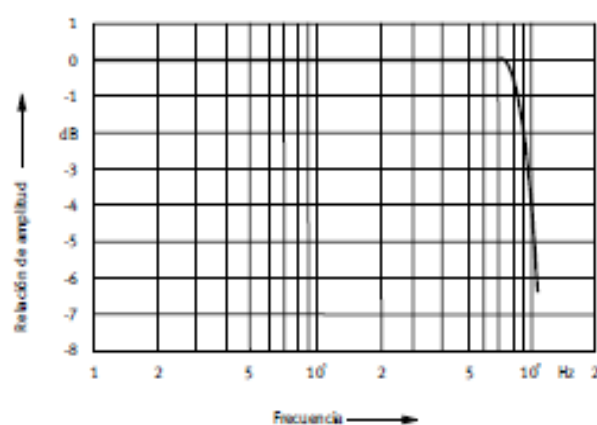


La asignación de pines del zócalo de conexión y el código de colores para las clavijas del cable, se muestran en la tabla siguiente.

Pin	Conexiones	Clavija
1	Alimentación +24 V	Roja
2	Alimentación 0 V	Azul
3	Tensión de la señal	Negra
4	Masa de la señal	Blanca



Características de frecuencia MPYE-5-1/8



Características de caudal MPYE-5-1/8

167078

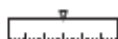
Válvula proporcional de 5/3 vías

Datos técnicos

Neumáticos, Eléctricos	
Fluido	Aire comprimido microfiltrado (sin lubricar)
Margen de temperatura del fluido	+5 – +40°C, sin condensar
Paso nominal	6 mm
Presión de funcionamiento, valor nominal/máximo	6 bar/10 bar
Caudal máximo a la presión nominal	700 l/min
Fuga normal máxima (de origen)	20 l/min
Tensión nominal de funcionamiento	24 V DC
Consumo, émbolo en posición media	2 Watt
Consumo, valor máximo	20 Watt
Tensión de consigna analógica	0 – 10 V DC
Valor nominal en posición media	5 V DC
Resistencia de entrada	70 kΩ
Tiempo de funcionamiento según VDE 0580	100%
Grado de protección según DIN 40 050 con la clavija SIM-GD 18.4 94	IP 65
Frecuencia límite (-3 dB) a P_{max} y con carrera de correa del 20 % al 80 %	100 Hz
Tiempo de accionamiento a P_{max} y con carrera de correa del 20 % al 80 %	5 ms
Histéresis relativa a la posición de la válvula	0.4%
Linealidad relativa a la posición de la válvula	1,0%
Conexiones neumáticas	G 1/8, QSI para tubo de plástico PUN 4 x 0.75
Conexiones eléctricas	para clavijas de seguridad de 4 mm A prueba de inversión de polaridad
Compatibilidad electromagnética	
Interferencias emitidas	verificada según EN 500 81-1
Inmunidad a ruidos	verificada según EN 500 82-1

525927

Regla, 450 mm



Diseño

Regla impresa en milímetros, con dos tornillos moleteados.

Función

La regla se utiliza para medir la posición de la corredera en el actuador lineal LA-450 (Nº de artículo 192501).

Montaje

La regla se monta como sigue:

- Empujar la corredera a su posición.
- Colocar la regla en el lado del actuador lineal con la lectura hacia arriba.
- Asegurar ligeramente la regla utilizando los dos tornillos moleteados suministrados en los agujeros roscados de las placas finales del actuador (yugos).
- Ajustar la regla hasta que las líneas de marca cero estén alineadas con el borde exterior de la corredera.
- Apretar completamente los tornillos moleteados.

Datos técnicos

Mecánicos	
Longitud total	580 mm
Longitud de la regla	450 mm
Unidades de la regla	mm
Resolución	1 mm
Método de montaje	2 tornillos moleteados
Distancia entre agujeros de montaje	510 – 565 mm