



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
REDES INDUSTRIALES

“IMPLEMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN MÓDULO
DIDÁCTICO PARA LA SIMULACIÓN DEL CONTROL
PROPORCIONAL NEUMÁTICO DE PRESIÓN”

Tesis de grado previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

Presentado por:

EDISSON RIGOBERTO PILAPANTA CAGUANA

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

Agradezco a Dios por darme la vida y la fortaleza para seguir adelante, a mis padres por la comprensión, paciencia y confianza brindada, a mi hermana y amigos cercanos ya que han sido un pilar fundamental en mi vida. Gracias a todas ustedes por apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida, por aconsejarme y animarme siempre a seguir adelante.

Dedico a mis padres por su apoyo incondicional, quienes a lo largo de todos estos años han velado por mi bienestar y educación siendo un apoyo en todo momento de mi vida. Quienes depositaron su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar en mi capacidad e inteligencia para lograr mi objetivo.

A mis maestros que supieron guiarme por el camino de la enseñanza para conseguir mi más preciado anhelo ser profesional, culminando así un ciclo de mi vida para empezar nuevas metas y realizarme como un verdadero profesional en el mundo de la competencia.

FIRMAS RESPONSABLES Y NOTA

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Iván Menes DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Ing. Paúl Romero DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
Ing. Lenin Aguirre DIRECTOR DE TESIS
Ing. Diego Barba MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Tlgo. Calos Rodríguez DIRECTOR DPTO. DOCUMENTACIÓN NOTA DE TESIS

Yo, **EDISSON RIGOBERTO PILAPANTA CAGUANA**, soy el responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis de Grado, y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Edisson Rigoberto Pilapanta Caguana

INDICE DE ABREVIATURAS

ACII: American Standard Code for Information Interchange

ALU: Unidad Lógica y Aritmética

AND: Y, es un operador lógico

CPU: Unidad Central de Proceso

DOS: Sistema Operativo de Disco

E/S: Entradas/Salidas

EPROM: Erasable Programmable Read Only Memory

FUP: Diagrama de funciones

GUI: Interfaz Gráfica de Usuario

I/O: E/S

IDE: Entornos de Desarrollo Integrados

KOP: Esquema de contactos

NOT: También conocida como no. Negación lógica.

OR: También conocida como ó. Suma o unión lógica

PC: Central de procesos.

PLC: Control Lógico Programable

PID: Sistema de control en lazo cerrado

PROM: Programmable Read Only Memory

PVC: Policloruro de vinilo

RAM: Random access memory

ROM: Read Only Memory o memoria solo lectura.

SCL: structured control language control del lenguaje de estructura

TIA: TotallyIntegratedAutomation o Automatización totalmente Integrada

Vcc: Voltaje corriente continúa

XNOR: Equivale a sí y solo sí.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....

ÍNDICE DE FIGURAS.....

ÍNDICE DE TABLAS.....

INDICE DE ANEXOS.....

INTRODUCCIÓN.....

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL..... 18

1.1 TÍTULO DEL PROYECTO..... 19

1.2 ANTECEDENTES..... 20

1.3 JUSTIFICACIÓN 21

1.4 OBJETIVOS 22

1.4.1 Objetivo General..... 22

1.4.2 Objetivos Específicos..... 22

1.5 HIPÓTESIS..... 22

CAPÍTULO II

NEUMÁTICA..... 23

2.1 Generalidades..... 23

2.2 Componentes neumáticos..... 26

2.2.1 Actuadores neumáticos..... 26

2.2.1.1	Actuadores lineales.....	27
2.2.1.1.1	Cilindro de simple efecto.....	27
2.2.1.1.2	Cilindros de doble efecto.....	30
2.2.1.1.2.1	Desfase de fuerza /velocidad.....	32
2.3	Sistemas de accionamiento.....	36
2.3.1	Válvula neumática proporcional de presión.....	36
2.3.1.1	Clasificación.....	36
2.3.1.2	Funcionamiento.....	38
2.3.1.3	Válvula proporcional de presión.....	40
2.3.1.3.1	Funcionamiento.....	40
2.3.1.4	Simbología.....	42
2.3.2	Accesorios de las válvulas neumáticas.....	42
2.4	Accesorios de los cilindros.....	43
2.5	Sensores.....	45
2.5.1	Componentes de un sensor.....	46
2.5.2	Características de un sensor.....	46
2.5.3	Clasificación de los sensores.....	47
2.5.3.1	Sensores análogos de fuerza.....	49
2.6	Circuitos electro neumáticos.....	52

CAPÍTULO III

	CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE.....	54
3.1	Introducción.....	54
3.1.1	Definición de PLC's.....	55
3.1.2	Funciones básicas del PLC's.....	56
3.1.3	Características del PLC s7-1200.....	56
3.1.4	Software de programación.....	60

3.1.5	Comunicación del PC con el PLC.....	65
3.3.6	Programación del PLC s7-1200.....	66

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO.....	69
4.1 Introducción.....	69
4.2 Sistemas de control lazo cerrado.....	70
4.3 Desarrollo mecánico del módulo.....	72
4.3.1 Montaje del sistema mecánico.....	73
4.3.1.1 Estructura base.....	74
4.3.1.2 Conector de perfiles perpendiculares.....	74
4.3.1.3 Tuerca cabeza de martillo.....	75
4.3.1.4 Tapas laterales.....	75
4.3.1.5 Fijaciones.....	76
4.4 Implementación del sistema de perturbación de señales.....	77
4.6 Implementación del sistema de control proporcional.....	79
4.6 Ubicación de sensores.....	80
4.6.1 Señal de referencia (SETPOINT).....	80
4.6.1.1 Características de operación.....	81
4.6.1.2 Función de acondicionamiento de señales.....	81
4.6.1.3 Comportamiento de un amplificador en voltaje continuo.....	92
4.6.1.4 Offset o desviación de cero.....	98
4.6.2 Medidor.....	98
4.7 Desarrollo del programa PLC para el control de los procesos.....	104
4.7.1 Identificación de las entradas.....	104
4.7.2 Identificación de las señales de salida.....	104
4.8 Programación del PLC.....	105

4.8.1	Descripción del PID compact.....	105
4.8.2	Programación del PID compact.....	105
4.8.3	Programación de bloques adicionales para tesis.....	107
4.8.4	Configuración del PID compact.....	116
4.8.5	Descripción del programa para la tesis.....	118
4.8.6	Modo de operación del autoajuste “Primer Arranque”.....	123
4.8.7	Cableado de los dispositivos del proceso.....	124
4.8.8	Integración del módulo.....	127
4.9	Pruebas del sistema.....	129
4.9.1	Prueba de la válvula proporcional.....	129
4.9.2	Prueba del sensor de fuerza.....	130
4.9.3	Prueba del sensor de presión.....	132
4.9.4	Prueba de la posición del vástago.....	133

CAPITULO V

Análisis y resultados.....	134
5.1 Resultados.....	134
5.2 Análisis de encuestas.....	134
5.3 Resultado hipótesis.....	139
Conclusiones.....	
Recomendaciones.....	
Resumen.....	
Abstract.....	
Glosario.....	
Bibliografía.....	
Anexos.....	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II. 1. Cilindro de simple efecto tipo “dentro”.....	27
Figura II. 2. Simbología normalizada. Cilindro de simple efecto.....	28
Figura II. 3. Simple efecto tradicional, normalmente dentro.....	29
Figura II. 4. Simple efecto con guiado y camisa plana, normalmente fuera.....	29
Figura II. 5. Compacto simple efecto.....	29
Figura II. 6. Micro cilindro simple efecto.....	29
Figura II. 7. Cilindro de doble efecto.....	30
Figura II. 8. Selección de cilindros. Simple/Doble efecto.....	31
Figura II. 9. Diferencia entre las secciones efectivas de un cilindro.....	33
Figura II. 10. Cilindro de doble efecto convencional.....	34
Figura II. 11. Válvula proporcional de caudal.....	37
Figura II. 12. Esquema funcional de la válvula.....	38
Figura II. 13. Gráfica tensión – caudal.....	39
Figura II. 14. Válvula proporcional de presión.....	40
Figura II. 15. Diagrama de bloques.....	41
Figura II. 16. Gráfica tensión – presión.....	42
Figura II. 17. Simbología válvula proporcional.....	42
Figura II. 18. Partes de un cilindro neumático.....	43
Figura II. 19. Componentes de un sensor.....	46
Figura II. 20. Sensor defuerza.....	49
Figura II. 21. Construcción básica de una galga extensiométrica.....	50
Figura II. 22. Tipos de transductores piezoeléctricos.....	52
Figura II. 23. Mayor presión variando la señal.....	52
Figura II. 24. Balanceo del vástago con presión al variar la señal.....	53

Figura III. 25. PLC s7-1200.....	57
Figura III.26.Signal Board en el CPU.....	59
Figura III.27.CPU más SM.....	59
Figura III.28. CPU más CM.....	60
Figura III. 29. Vista de inicio TIA.....	61
Figura III. 30 .Vista del proyecto.....	62
Figura III. 31. Configuración de dirección IP en el PLC.....	66
Figura III. 32. Ejemplo de Esquema de Contactos.....	67
Figura III. 33. Ejemplo de conexión que no se debe hacer (a).....	68
Figura III. 34. Ejemplo de conexión que no se debe hacer (b).....	68
Figura IV. 35. Sistema de control en lazo cerrado.....	70
Figura IV. 36. Elementos de sistema de control lazo cerrado.....	71
Figura IV. 37. Representación en diagrama de bloques del algoritmo (PID).....	72
Figura IV. 38. Módulo.....	73
Figura IV.39. Perfiles y estructuras de aluminio.....	73
Figura IV. 40. Estructura base de aluminio.....	74
Figura IV. 41. Conector de perfiles perpendiculares.....	74
Figura IV. 42. Tuerca cabeza de martillo.....	75
Figura IV. 43. Tapas para perfiles.....	75
Figura IV. 44. Fijaciones clásicas.....	76
Figura IV. 45. Válvula reguladora de presión.....	77
Figura IV. 46.Válvula de bola.....	78
Figura IV. 47.Cilindro y sus entradas de aire.....	78
Figura IV. 48. Válvula proporcional.....	79
Figura IV. 49. Elementos neumáticos.....	79
Figura IV. 50. Sensor de presión.....	80
Figura IV. 51. Pines de conexión del sensor de presión.....	81

Figura IV. 52. Símbolo de un amplificador.....	82
Figura IV. 53. Lazo abierto.....	84
Figura IV. 54. Lazo cerrado.....	85
Figura IV. 55. Amplificador diferencial.....	85
Figura IV. 56. Corrientes en un transistor.....	86
Figura IV.57. Modelo del efecto de voltaje offset de entrada.....	87
Figura IV.58. Modelación de la corriente de polarización.....	88
Figura IV.59. Amplificador no inversor.....	89
Figura IV.60. Circuito amplificador diferencial.....	90
Figura IV.61. Seguidor de voltaje.....	90
Figura IV.62. Ajuste de desbalance en el amplificador no inversor.....	91
Figura IV.63. Amplificador no inversor de eliminación de corriente I_{io} ...	92
Figura IV.64. Circuito para la fuente.....	93
Figura IV.65. Amplificador seguidor de voltaje y amplificador diferencial.....	96
Figura IV.66. Amplificador diferencial.....	97
Figura IV. 67. Sensor de fuerza.....	98
Figura IV.68. Amplificador de instrumentación con dos AO.....	99
Figura IV.69. Amplificador seguidor de voltaje y amplificador diferencial	101
Figura IV. 70 Diagrama esquemático del Circuito de acondicionamiento de señales y el Circuito amplificador de instrumentación.....	102
Figura IV. 71. Diseño del PCB del Circuito de acondicionamiento de señales y el Circuito amplificador de instrumentación.....	103
Figura IV. 72. Implementación del circuito con todos sus elementos.....	103
Figura IV. 73. Bloque PID compact entradas Setpoint, input_per.....	107
Figura IV. 74. Ubicación de convertidores.....	107
Figura IV. 75. Conversor en el main principal.....	108
Figura IV. 76. Configuración de tipo de dato de entrada.....	108

Figura IV. 77. Tipo de dato Word configurado.....	108
Figura IV. 78. Configuración de tipo de dato de salida.	109
Figura IV. 79. Configuración completa de los tipos de datos del bloque.....	109
Figura IV. 80. Ubicación de funciones matemáticas.....	110
Figura IV. 81. Bloque de suma en el main principal.....	110
Figura IV. 82. Configuración del tipo de operación matemática.....	110
Figura IV. 83. Configuración del tipo de dato para las operaciones.....	111
Figura IV. 84. Configuración completa del bloque.....	111
Figura IV. 85. Insertar un contacto normalmente abierto.....	112
Figura IV. 86. Insertar un contacto normalmente abierto en otra rama.....	113
Figura IV. 87. Cierre de rama.....	113
Figura IV. 88. Introducir variable y dirección a la instrucción.....	114
Figura IV. 89. Cambiar nombre de la variable.....	115
Figura IV. 90. Introducir la dirección a la variable directamente desde la tabla de variables.....	116
Figura IV. 91. Localización del bloque de interrupción cíclica.....	116
Figura IV. 92. Parámetros del bloque de interrupción cíclica.....	117
Figura IV. 93. Localización del PID compact.....	117
Figura IV. 94. Configuración del bloque de datos para el PID compact.....	118
Figura IV. 95. Configuración de entradas y salidas del bloque PID compact...	118
Figura IV. 96. Activación del proceso.....	119
Figura IV. 97. Conversión y división del valor de %IW66.....	120
Figura IV. 98. Asignación de valor cero al setpoint.....	120
Figura IV. 99. Configuración completa del bloque PID Compact.....	121
Figura IV. 100. Algoritmo para salida del controlador.....	121
Figura IV. 101. Control para evitar valores que altos de voltaje.....	122

Figura IV. 102. Asignación de la salida del bloque PID Compact a la marca externa.....	122
Figura IV. 103. Asignación de valor figo cuando supera el control de 2,5Vcc...	122
Figura IV. 104. Ventana puesta en marcha del bloque PID Compact.....	123
Figura IV. 105. Regletas y canaletas de cableado.....	125
Figura IV. 106. Comando manual.....	125
Figura IV. 107. Pulsador normalmente abierto.....	126
Figura IV. 108. Pulsador normalmente cerrado.....	126
Figura IV. 109. Selector dos posiciones.....	126
Figura IV. 110. Foco piloto.....	126
Figura IV. 111. Fusibles.....	127
Figura IV. 112. Comportamientos de la válvula proporcional.....	130
Figura IV. 113. Comportamiento del sensor de fuerza.....	131
Figura IV. 114. Comportamiento del sensor de presión.....	132
Figura V. 115. Tabulación de datos de la encuesta, pregunta 1.....	135
Figura V. 116. Tabulación de datos de la encuesta, pregunta 2.....	136
Figura V. 117. Tabulación de datos de la encuesta, pregunta 3.....	136
Figura V. 118. Tabulación de datos de la encuesta, pregunta 4.....	138
Figura V. 119. Tabulación de datos de la encuesta, pregunta 5.....	138
Figura V. 120. Tabulación de datos de la encuesta, pregunta 6.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II. I. Tamaños normalizados de cilindros y longitudes de carreras.....	35
Tabla II. II. Clasificación de los sensores según el tipo de variable a medir....	48
Tabla III. III. Características CPU12xx.....	58
Tabla III. IV. Tipos de datos simples.....	63
Tabla III. V. Tipos de datos compuestos.....	64
Tabla III. VI. Requisitos de instalación.....	65
Tabla IV. VII. Piezas de aluminio.....	72
Tabla IV. VIII. Características Ideales y Reales.....	83
Tabla IV. IX. Valores típicos de V_{io} para diferentes amplificadores operacionales.....	87
Tabla IV. X. Valores de I_B para diferentes amplificadores.....	88
Tabla IV. X. Voltaje y presión.....	98
Tabla IV. XI. Identificación entradas.....	104
Tabla IV. XII. Identificación salidas.....	104
Tabla IV. XIII. Voltaje y presión.....	130
Tabla IV. XIV. Fuerza y voltaje.....	131
Tabla IV. XV. Presión vs voltaje.....	132
Tabla IV. XVI. Error del sistema.....	133

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de especificaciones válvula proporcional

Anexo 2. Hoja de especificaciones sensor de fuerza

Anexo 3. Hoja de especificaciones sensor de presión

Anexo 4. Conexión neumática y eléctrica

Anexo 5. Numeración de cables

Anexo 6. Diagrama de conexión del PLC

Anexo 7. Costos

Anexo 8. Manual de usuario

Anexo 9. Encuesta.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la Escuela de Ingeniería Electrónica Control y Redes Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por ser una escuela nueva, no cuenta con laboratorios para la materia de Control de Procesos Industriales, siendo este un pilar fundamental en el aprendizaje de los estudiantes, ya que a través de un laboratorio se podrá ejercitar lo aprendido en las aulas de clase. Por esta razón se vio en la necesidad de aportar con un módulo didáctico para el laboratorio de Control de Procesos Industriales, el cual consiste en simular el control proporcional neumático de presión.

El manejo de válvulas proporcionales en la actualidad es muy utilizado en procesos modernos de automatización y de neumática, simplificando varios procesos indispensables en la industria.

El módulo está conformado de elementos y equipos que generalmente son hallados en los procesos industriales, mediante este proyecto, los estudiantes van a tener la oportunidad de manipular y conocer el principio de funcionamiento de estos elementos y así adquirir la experiencia práctica tan necesaria en el manejo de los mismo, lo que les proveerá de un mayor grado de competitividad.

Con el módulo se logra entender de mejor manera cómo funciona el control proporcional y al realizar una serie de prácticas ayudaran al estudiante a familiarizarse de una mejor forma con el módulo didáctico, debiendo ser estas realizadas en el orden planteado obteniéndose así el mejor nivel de aprendizaje.

CAPÍTULO I

TÍTULO DEL PROYECTO.

“IMPLEMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA SIMULACIÓN DEL CONTROL PROPORCIONAL NEUMÁTICO DE PRESIÓN”.

1.1 ANTECEDENTES

La automatización industrial está caracterizada por períodos de constantes innovaciones tecnológicas. Esto se debe a que las técnicas de automatización están muy ligadas a los sucesos económicos mundiales.

Como se ha visto, las tendencias de globalización y segmentación internacional de los mercados son cada vez más acentuadas. Y como estrategia para enfrentar este nuevo escenario, la automatización representa una alternativa que es necesario considerar.

Hoy en día lo que se busca es mejorar la producción de los procesos de una organización y el control total de dichos procesos, pero al tener al frente un proceso se encuentran nuevos problemas y retos a los cuales se les debe dar soluciones adecuadas.

Con la automatización lo que se pretende es mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad, al realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente, mejorando así la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso, simplificando el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.

En la actualidad existen sistemas que responden a las características estructurales antiguas, presentan un funcionamiento irregular lo que provoca un riesgo eminente para las personas que están cerca de estos sistemas antiguos.

En vista de esto la búsqueda de soluciones automatizadas a estos procesos solo pueden ser desarrollados en laboratorios donde se pueda simular soluciones PID en la cual intervengan diferentes áreas tales como: mecatrónica, control de procesos, neumática, electro neumática y sensoria, apoyadas por sistemas de hardware y software de control aplicados, que desarrollen potentes programas que den soluciones estándar o personalizados a los diferentes problemas planteados.

De esta manera se puede realizar un entrenamiento teórico-práctico que pueda simular un ambiente real para que así se observe la aplicación de cada una de las cátedras recibidas en la carrera de CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la automatización de las industrias ha permitido que los procesos industriales tengan un mejor rendimiento en cuanto a sus características de funcionamiento. Se ha visto en la necesidad de que los estudiantes de Ingeniería Electrónica, Control y Redes Industriales, se familiaricen con estos temas de forma práctica, para integrar el talento humano a los recursos tecnológicos y las competencias intelectuales, se hace necesario que este tipo de proyectos y herramientas de aprendizaje se faciliten a los estudiantes, en primera instancia en los laboratorios de la escuela de Ingeniería Electrónica, Control y Redes Industriales.

Por las razones mencionadas anteriormente se desarrollará este proyecto, el sistema constará de un cilindro neumático, un sensor análogo de fuerza, una válvula neumática proporcional de presión y un sistema de introducción de señales perturbadoras. El sistema estará conectado en un sistema de control en lazo cerrado de tal manera que al introducir una señal perturbadora hace que el sistema PID reaccione de acuerdo al programa del PLC.

Además sea un programa piloto, modelo de innovación, empeño y muestra de colaboración; obteniendo como valor agregado el posicionamiento de nuestra escuela a nivel regional y nacional, ganando de este modo el desempeño brillante de sus egresados y el deseo de muchos Ecuatorianos de formarse y capacitarse en tan prestigiosa institución.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Implementar y automatizar un módulo didáctico para la simulación del control proporcional neumático de presión.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar la parte mecánica para el proceso de control proporcional la cual consta de cilindro neumático, válvula neumática proporcional de presión, y aluminio perfilado.
- Implementar el sistema neumático para el proceso.
- Desarrollar programa PID con el PLC para el control del proceso.
- Integrar de las diversas etapas del módulo.
- Realizar pruebas del sistema.

1.4 HIPÓTESIS

Al finalizar la implementación del sistema de control proporcional neumático de presión, se podrá simular procesos industriales en los que intervengan cilindros neumáticos, sensores análogos de fuerza, válvulas neumáticas proporcionales de presión, sistemas de introducción de señales perturbadoras y manejo del sistema PID.

CAPÍTULO II

NEUMÁTICA

2.1 GENERALIDADES

Una industria cada vez más automatizada, con exigencias de mayor flexibilidad, productividad, rapidez y confiabilidad de las tareas programadas, exigen personal especializado y muy altamente entrenado en los sistemas que logran realizar estas funciones. La ignorancia o falta de atención en la instalación o funcionamiento de los componentes neumáticos, puede generar gastos innecesarios en forma de reducción de capacidad o en el peor de los casos, paradas en las máquinas o procesos. La neumática ofrece una amplia gama de posibilidades de entrenamiento y de aplicación actual en la industria. La técnica neumática se emplea hoy en muchos campos, se prevé que en el futuro ocupe un puesto importante en la automatización de instalaciones y procesos industriales por su manejo sencillo y su amplia gama de soluciones.

DEFINICIÓN DE NEUMÁTICA

La **Neumática** es la rama de la técnica que se dedica al estudio y aplicaciones prácticas del aire comprimido. El término proviene de la expresión griega pneuma que significa hálito, soplo, aire. El aire comprimido es aire tomado de la atmósfera y confinado a presión en un espacio reducido. Por ejemplo cuando inflamamos un globo y posteriormente lo soltamos sin cerrar, la energía acumulada por el aire lo hace revolotear rápidamente por la habitación. Se produce una transformación de la energía almacenada en trabajo útil en mover el globo. El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre y que aprovecha para fortalecer sus capacidades físicas. Aunque sus aplicaciones datan entre los más antiguos conocimientos de la humanidad, solo a partir de 1950 podemos hablar de una verdadera aplicación industrial de la neumática en los procesos de fabricación.

Ventajas de la Neumática

En forma genérica destacamos:

- Reducción de costos de mano de obra directos en la operación de los equipos.
- Uniformidad en el proceso de producción y reducción de producto no conforme.
- Posibilidad de reprogramar a mediano y largo plazo.
- Aumento de la capacidad de la instalación y eficiencia en los procesos.
- Cantidad: el aire se encuentra disponible prácticamente en todos los lugares en cantidades ilimitadas.
- Almacenamiento: Mediante acumuladores es posible recopilar aire para abastecer el equipo de trabajo.
- Transporte: El aire puede ser llevado a través de tuberías a grandes distancias sin necesidad de instalar una red de retorno y puede también ser trasladado mediante recipientes Cilindros o botellas con aire comprimido.

- Seguridad: No existe riesgo de explosión ni de incendio, lo que minimiza la necesidad de adecuar sistemas de seguridad en industrias textiles, del papel, de la madera y de la goma.
- Velocidad: Los actuadores neumáticos presentan gran rapidez en sus movimientos que pueden ser fácilmente regulables.
- Temperatura: Las variaciones de temperatura no afectan de manera representativa el comportamiento de los equipos neumáticos, permitiendo un funcionamiento seguro sin importar las condiciones extremas de trabajo.
- Limpio: El aire no contamina el medio ambiente, siempre y cuando no se le acondicionen lubricadores; este detalle es importante tenerlo en cuenta en aplicaciones donde se trabaja con alimentos, con productos farmacéuticos y aquellos productos que requieran algunas condiciones de higiene.
- Constitución de los elementos: La concepción de los elementos de trabajo es simple, por tanto el precio es económico.
- A prueba de sobrecargas: Las herramientas y elementos de trabajo neumáticos pueden ir hasta su parada completa sin riesgo alguno, puesto que éstos paran en caso de sobrecarga de los sistemas.
- Tecnología de fácil aprendizaje y agradable manejo, debido a la sencillez de sus componentes.
- Resistente a factores extremos de trabajo como instalaciones expuestas a la suciedad, la humedad, campos magnéticos etc.

Desventajas de la Neumática

La neumática comparativamente con otras tecnologías presenta algunas deficiencias:

- Fuerza: El aire comprimido es económico sólo hasta cierta fuerza. Condicionado por la presión de servicio normalmente usual de 700 kPa (7 bar), el límite, también en función de la carrera y la velocidad, es de 20.000 a 30.000 N.

- Ruido: El aire que escapa de los elementos neumáticos ocasiona bastante ruido, sin embargo éste puede ser controlado ubicando elementos silenciadores o utilizando materiales insonorizantes.
- Preparación: Antes de ser utilizado el aire debe ser llevado a un proceso de limpieza y secado, procurando conservar los elementos neumáticos exentos de desgaste, esto lo hace demasiado costoso.
- Movimientos heterogéneos: Debido a la compresión del aire se presentan variaciones en el comportamiento de las ve
- Velocidades de los actuadores no se pueden obtener movimientos uniformes ni precisos.
- Costos: La preparación del aire hace que ésta tecnología, tenga costos de funcionamiento elevados, esto es compensado con el bajo valor de sus componentes.

2.2 COMPONENTES NEUMÁTICOS

Dentro de los componentes neumáticos tenemos:

2.2.1 ACTUADORES NEUMÁTICOS

Definición.- Son los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico. En esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad.

2.2.1.1 ACTUADORES LINEALES

Los cilindros neumáticos independientemente de su forma constructiva, representan los actuadores más comunes que se utilizan en los circuitos neumáticos. Existen dos tipos fundamentales de los cuales derivan construcciones especiales.

- Cilindros de simple efecto, con una entrada de aire para producir una carrera de trabajo en un sentido.
- Cilindros de doble efecto, con dos entradas de aire para producir carreras de trabajo de salida y retroceso. Más adelante se describen una gama variada de cilindros con sus correspondientes símbolos.

2.2.1.1.1 CILINDROS DE SIMPLE EFECTO

Un cilindro de simple efecto desarrolla un trabajo sólo en un sentido. El émbolo se hace retornar por medio de un resorte interno o por algún otro medio externo como cargas, movimientos mecánicos, etc. Puede ser de tipo “normalmente dentro” o “normalmente fuera”. Ver figura 1.

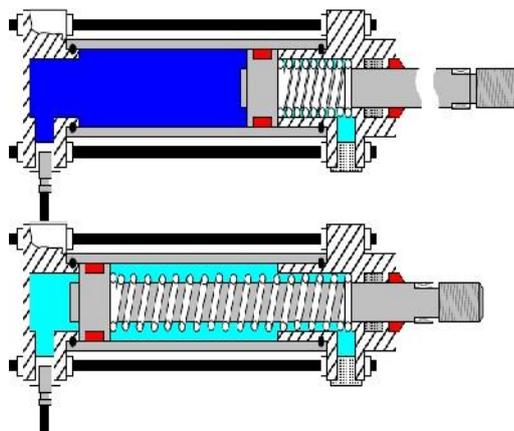


Figura II. 1. Cilindro de simple efecto tipo “dentro”

Usos de los cilindros de simple efecto

Los cilindros de simple efecto se utilizan para sujetar, marcar, expulsar, etc. Tienen un consumo de aire algo más bajo que un cilindro de doble efecto de igual tamaño. Sin embargo, hay una reducción de impulso debida a la fuerza contraria del resorte, así que puede ser necesario un diámetro interno algo más grande para conseguir una misma fuerza. También la adecuación del resorte tiene como consecuencia una longitud global más larga y una longitud de carrera limitada, debido a un espacio muerto. Ver figura 2.

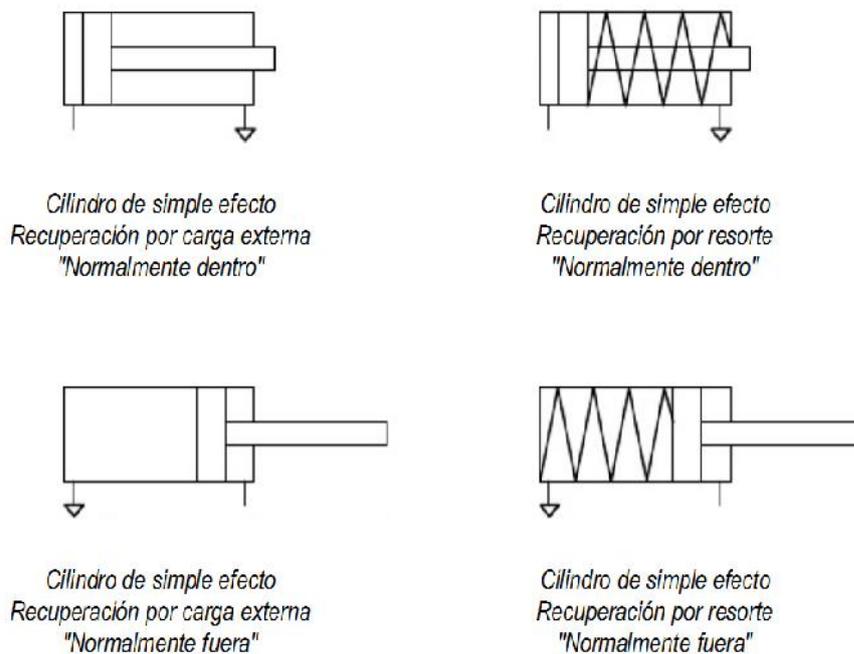


Figura II. 2. **Simbología normalizada. Cilindro de simple efecto**

La variedad constructiva de los cilindros de simple efecto es muy importante, pero todos ellos presentan la misma mecánica de trabajo. Se muestran a continuación algunos ejemplos de los mismos: Ver figuras 3, 4, 5 y 6.



Figura II. 3. **Simple efecto tradicional, normalmente dentro**

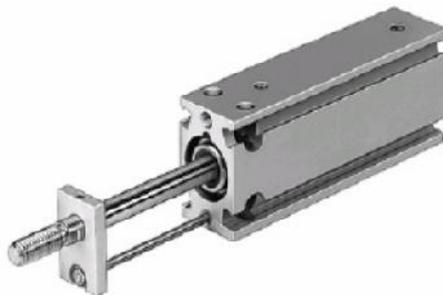


Figura II. 4. **Simple efecto con guiado y camisa plana, normalmente fuera**



Figura II. 5. **Compacto simple efecto**



Figura II. 6. **Micro cilindro simple efecto**

Como se puede observar, los fabricantes ofertan soluciones para casi todas las necesidades que se puedan presentar en el diseño del automatismo neumático. La simbología neumática no suele representar las características mecánicas de un componente sino tan sólo su principio de funcionamiento y por tanto su aplicación.

2.2.1.1.2 CILINDROS DE DOBLE EFECTO

Los cilindros de doble efecto son aquellos que realizan tanto su carrera de avance como la de retroceso por acción del aire comprimido. Su denominación se debe a que emplean las dos caras del émbolo (aire en ambas cámaras), por lo que estos componentes sí que pueden realizar trabajo en ambos sentidos. Sus componentes internos son prácticamente iguales a los de simple efecto, con pequeñas variaciones en su construcción. Algunas de las más notables las encontramos en la culata anterior, que ahora ha de tener un orificio roscado para poder realizar la inyección de aire comprimido (en la disposición de simple efecto este orificio no suele prestarse a ser conectado, siendo su función la comunicación con la atmósfera con el fin de que no se produzcan contrapresiones en el interior de la cámara). El perfil de las juntas dinámicas también variará debido a que se requiere la estanqueidad entre ambas cámaras, algo innecesario en la disposición de simple efecto. Ver figura 7.

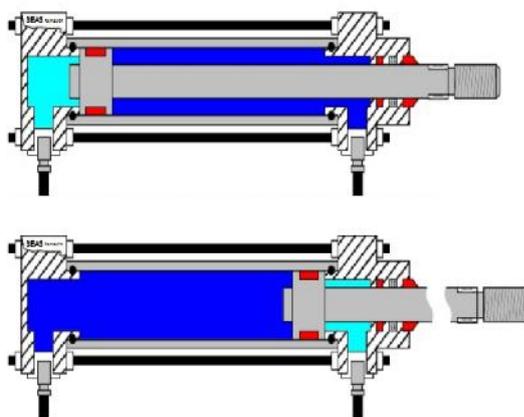
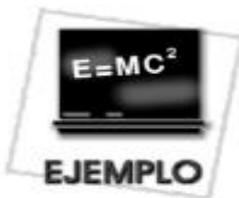


Figura II. 7. Cilindro de doble efecto

El campo de aplicación de los cilindros de doble efecto es mucho más extenso que el de los de simple, incluso cuando no es necesaria la realización de esfuerzo en ambos sentidos. Esto es debido a que, por norma general (en función del tipo de válvula empleada para el control), los cilindros de doble efecto siempre contienen aire en una de sus dos cámaras, por lo que sea seguro el posicionamiento. El concepto queda más claro con un ejemplo:



Imaginemos que una carga se coloca en el extremo del vástago de un cilindro, el cual ha sido montado con una disposición vertical. Cuando el vástago del cilindro tenga que encontrarse en mínima posición podemos encontrarnos 2 casos:

Cilindro de doble efecto: el vástago mantiene la mínima posición debido a que ésta se encuentra en ella debido a la presión introducida en la cámara. La carga se encuentra en posición correcta. La disposición escogida es satisfactoria.

Cilindro de simple efecto: Al no asegurar la posición mediante aire, el propio peso de la carga vencerá la fuerza del muelle de recuperación, por lo que el vástago será arrastrado a la máxima posición. La carga no se encuentra en posición correcta y se hace evidente la mala disposición escogida. Ver figura 8.

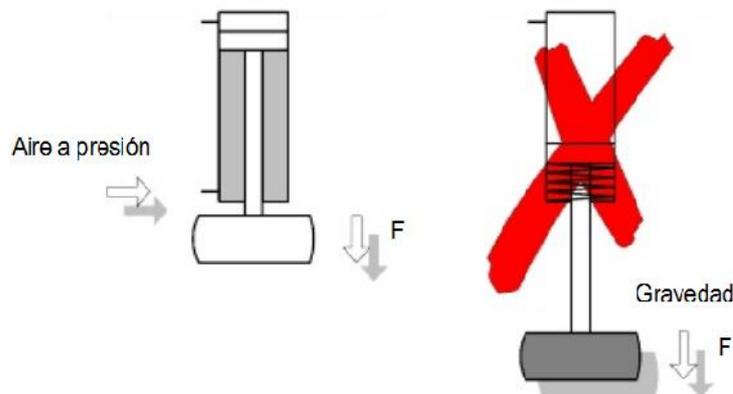


Figura II. 8. Selección de cilindros. Simple/Doble efecto

Para poder realizar un determinado movimiento (avance o retroceso) en un actuador de doble efecto, es preciso que entre las cámaras exista una diferencia de presión. Por norma general, cuando una de las cámaras recibe aire a presión, la otra está comunicada con la atmósfera y viceversa. Este proceso de conmutación de aire entre cámaras nos ha de preocupar poco puesto que es realizado automáticamente por la válvula de control asociada (disposiciones de 4 ó 5 vías con 2 ó 3 posiciones). En definitiva, podemos afirmar que los actuadores lineales de doble efecto son los componentes más habituales en el control neumático. Esto es debido a que:

- Se tiene la posibilidad de realizar trabajo en ambos sentidos (carreras e avance y retroceso).
- No se pierde fuerza en el accionamiento debido a la inexistencia de muelle en oposición.

Para una misma longitud de cilindro, la carrera en doble efecto es mayor que en disposición de simple, al no existir volumen de alojamiento. No debemos olvidar que estos actuadores consumen prácticamente el doble que los de simple efecto, al necesitar inyección de aire comprimido para producir tanto la carrera de avance como la de retroceso. También presentan un pequeño desfase entre fuerzas y velocidades en las carreras, aspecto que se detalla a continuación.

2.2.1.1.2.1 DESFASE DE FUERZA /VELOCIDAD

En los actuadores lineales de doble efecto, se produce un desfase entre la fuerza provocada a la salida y a la entrada del vástago, y lo mismo ocurre con la velocidad. Este efecto se debe a la diferencia que hay entre los volúmenes de las cámaras formadas (en consecuencia, del volumen ocupado por el vástago del cilindro). Cuando aplicamos aire en la cámara que fuerza la salida del vástago, éste actúa sobre una

superficie conocida, que denominamos A_1 . Es conocido que el valor de la fuerza provocada responde a la fórmula:

$$F = P \cdot A$$

Así pues, para calcular el valor de la fuerza de salida, realizaríamos la siguiente operación:

$$F \text{ salida} = P \cdot A_1, \text{ resultando un valor } F_1.$$

Para el cálculo de la fuerza provocada en el retroceso, aplicaremos la misma fórmula y valor de presión, pero deberemos tener en cuenta que el área sobre la cual se aplica ya no es A_1 , sino A_1 menos el área del vástago (ya que ésta no es efectiva). Nosotros la denominaremos A_2 . Ver figura 9.

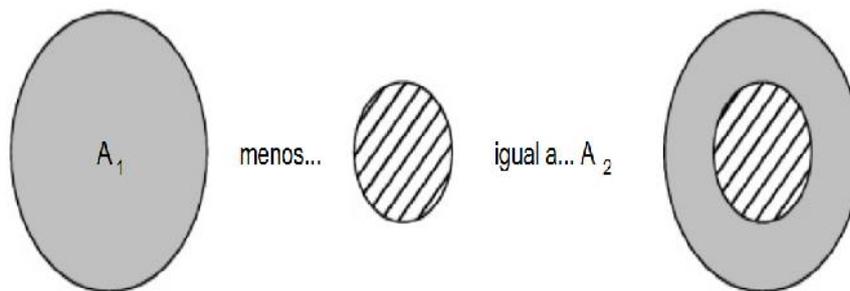


Figura II. 9. **Diferencia entre las secciones efectivas de un cilindro**

Con esto tenemos que:

$$F \text{ retorno} = P \cdot A_2, \text{ resultando un valor } F_2$$

Como podemos deducir, a igualdad de valor de presión, y debido a la desigualdad de áreas, el valor de la fuerza de salida (F_1) es mayor que el valor de la fuerza de retroceso (F_2).

Este mismo efecto es aplicable a la velocidad para el vástago, ya que si el volumen de la cámara de retorno es menor, para una igualdad de caudal le costará menos llenarse, y por ello la velocidad de retorno será mayor.

En consecuencia podemos afirmar que en los actuadores de doble efecto, para igualdad de presión y caudal:

- La velocidad de retorno es mayor que la de avance y
- La fuerza provocada a la salida es mayor que la fuerza de retorno.

$$F_{\text{salida}} > F_{\text{retorno}} \quad ; \quad V_{\text{retorno}} > V_{\text{salida}}$$

NOTA: Un cilindro de doble efecto convencional presenta desfases de fuerza y velocidad. Este efecto puede ser corregido mecánicamente o bien por automatismo.

Los desfases comentados pueden corregirse fácilmente mediante la utilización de cilindros de doble vástago. Éstos disponen de vástago a ambos lados del émbolo, consiguiendo así igualdad entre las áreas de acción y volúmenes. Debido a ello se consigue igualdad de fuerzas y velocidades en las carreras (pérdida de fuerza y aumento de la velocidad para cilindros de igual tamaño). Ver figura 10.



Figura II. 10. Cilindro de doble efecto convencional

CÁLCULO DEL CILINDRO

El sensor soporta 200N de acuerdo a los datos del manual de funcionamiento (Ver ANEXO 2) con este dato tenemos (Ver tabla I) de fabricación de los cilindros para utilizar el más adecuado.

Tabla II. I. **Tamaños normalizados de cilindros y longitudes de carreras**

Ø VASTAGO [mm]	Ø EMBOLO [mm]	FUERZA NETA [N] a P=6 bar	LONGITUDES DE CARRERAS NORMALIZADAS [mm]
—	6	15	10, 25, 40, 80
4	12	60	10, 25, 40, 80, 140, 200
6	18	100	10, 25, 40, 80, 140, 200, 300
10	25	260	25, 40, 80, 140, 200, 300
12	35	509	70, 140, 200, 300
16	40	665	40, 80, 140, 200, 300
18	50	1039	70, 140, 200, 300
22	70	2037	70, 140, 200, 300
25	100	4156	70, 140, 200, 300
30	140	8146	70, 140, 200, 300
40	200	16625	70, 140, 200, 300
50	250	25977	70, 140, 200, 300

Tamaños normalizados de cilindros y longitudes de carreras

Características estándar que usan los fabricantes a la hora de construir los cilindros.

Dando como resultado el de diámetro de 25mm a una presión de 6 bares.

Cálculos para determinar la presión que necesito para el sensor:

Datos:

Fuerza: 200N

Diámetro del pistón: 25mm

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi (1.25)^2$$

$$A = 491 \text{ cm}^2$$

$$P = F/A$$

$$P = 200\text{N}/491\text{cm}^2$$

$$P = 40.73 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$P = 4.07 \text{ bares}$$

Se ha determinado que la presión para el sensor es de 4 bares, ahora con esta presión la válvula debe soportar dicha presión, se observó de acuerdo a los manuales de funcionamiento que la apropiada es la válvula proporcional de la **SERIES VY1** datos técnicos.(Ver **ANEXO 1**).

2.3 SISTEMAS DE ACCIONAMIENTO

2.3.1 VÁLVULA NEUMÁTICA PROPORCIONAL DE PRESIÓN

Válvula proporcional.- Es aquella en la que una magnitud física del fluido (caudal o presión) a la salida de la válvula es proporcional a una señal eléctrica analógica de entrada $X=K \times V$. Donde X es presión o caudal; K una constante de proporcionalidad y V es la señal analógica de tensión continua que se introduce en la válvula. No se alimentan las válvulas con 0 V ó 24 V, como en las válvulas convencionales, sino que se hace con una señal que puede variar en un rango determinado (por ejemplo de 0 a 10 V).De esta forma se obtienen valores intermedios de presión o caudal, a diferencia de las válvulas convencionales.

2.3.1.1 CLASIFICACIÓN

Las válvulas proporcionales pueden clasificarse en primer lugar en:

- Válvulas de caudal
- Válvulas de presión

Las **válvulas de caudal** regulan esta entidad de manera continua entre un valor nulo y uno máximo. Por otra parte son válvulas distribuidoras con corredera, teniendo un número de vías y de posiciones variable.

Las **válvulas de presión** regulan este parámetro en su salida, igualmente de manera continua, entre un valor mínimo y un valor máximo, equivalente a la presión de entrada. Dentro de las válvulas empleadas frecuentemente tenemos:

Válvula proporcional de caudal 5/3

La válvula proporcional que se describe es la MPYE-5-1/8 de FESTO, representada en la figura 11 y esquematizada en la figura 12. Su símbolo ISO, que aparece también en la figura 11, es análogo al de una válvula convencional 5/3 añadiendo dos rayas encima y debajo. Además la flecha en el solenoide indica la posibilidad de variación en la señal de entrada.

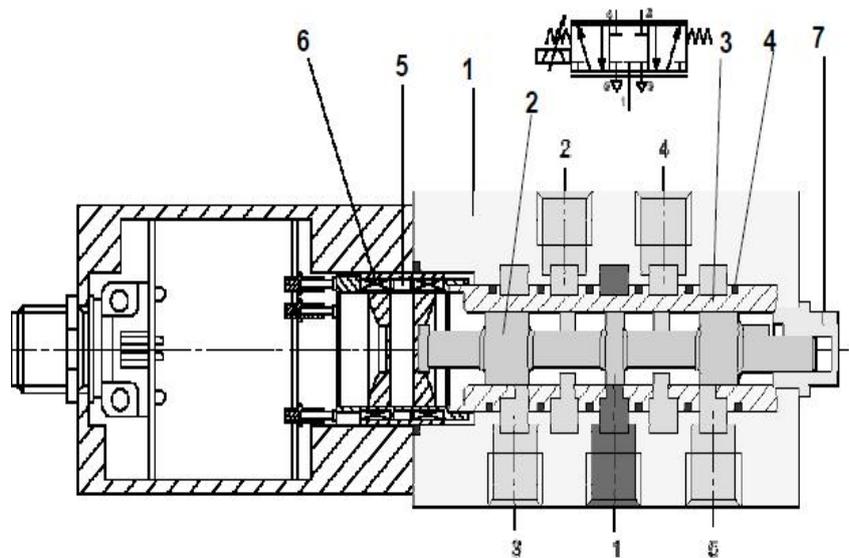


Figura II. 11. **Válvula proporcional de caudal**

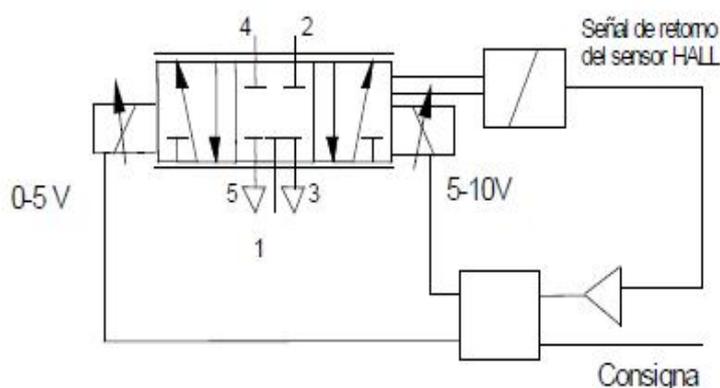


Figura II. 12. Esquema funcional de la válvula

La válvula proporcional dispone de un cuerpo (1) en el que se aloja la corredera (2), ésta se desplaza dentro de un casquillo fijo (3) alojado en el interior del cuerpo. Entre el casquillo y el cuerpo se disponen unas juntas (4) para mejorar la estanqueidad. La corredera se desplaza directamente gracias a un solenoide proporcional (5), y por lo tanto puede posicionarse de manera variable y continua en función de la tensión de alimentación. Por otra parte tiene un sensor de posición (6) que controla la posición de la corredera y permite su realimentación, es decir, modifica su posición si no se ha alcanzado la que debiera tener. El tapón (7) sirve para el mantenimiento, pudiendo extraer la corredera para su limpieza y puesta a punto. Ver figura 12.

2.3.1.2 FUNCIONAMIENTO

La válvula proporcional convierte una señal eléctrica analógica de entrada en una determinada posición de la corredera y por ende, una concreta apertura de la sección transversal del paso de aire a través de la corredera. Para 5V la válvula se coloca en la posición intermedia con centros cerrados. No hay paso de aire más que la mínima fuga natural hacia escape, debida a la forma constructiva de la válvula. A 10V y a 0V la corredera de la válvula se coloca en sus posiciones finales, bien hacia un extremo,

dejando pasar el máximo caudal desde la vía 1 a la 2, bien en el otro, dejando pasar el máximo caudal de 1 a 4, y un caudal nulo en los dos casos en las otras vías de trabajo, 4 a 5 y 2 a 3 respectivamente. En posiciones intermedias circula un caudal menor, de 1 a 2 ó 4, y un caudal nulo hacia la otra vía (4 ó 2). Existen pequeñas fugas de 1 a 3 y de 1 a 5 en todo caso.

Un solenoide actúa directamente sobre la corredera de la válvula como un transductor electromecánico de posición. Un control electrónico de la posición de la corredera (realimentación del control de posición) permite obtener buenas respuestas estáticas y dinámicas, que quedan reflejadas en la baja histéresis (por debajo del 0,3%), bajo tiempo de respuesta (5 ms) y alta frecuencia máxima (100 Hz). La válvula es particularmente apropiada para el uso como un elemento final de control, y por lo tanto como un controlador de posición de un cilindro neumático.

En la figura 13 se representa el diagrama tensión - caudal de la válvula proporcional MPYE-5-1/8 de FESTO, donde se define el caudal que llega al actuador. Ver figura 13

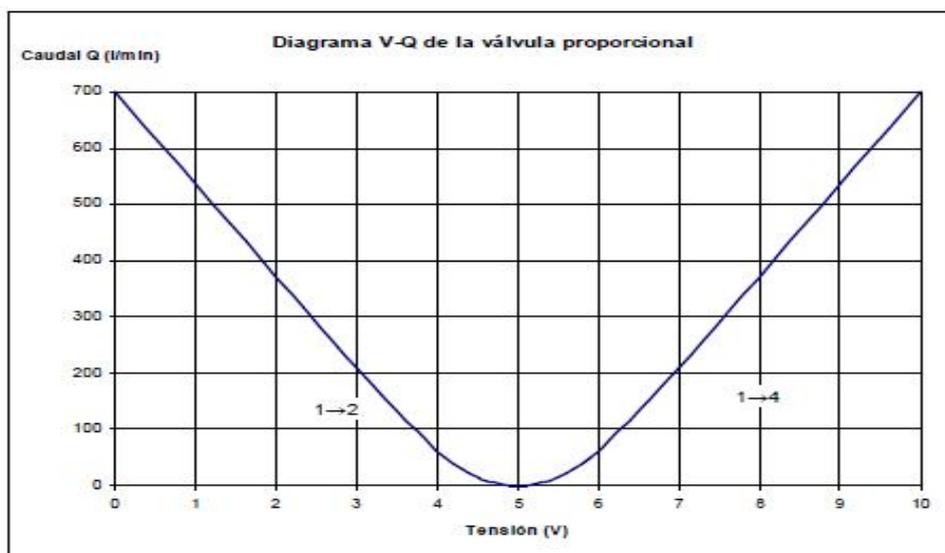


Figura II. 13. Gráfica tensión – caudal

2.3.1.3 VÁLVULA PROPORCIONAL DE PRESIÓN

La válvula proporcional de presión tiene la misma finalidad que la válvula reguladora de presión convencional es decir, conseguir mantener constante la presión de salida, independientemente de la magnitud de la presión a su entrada, con la condición de que aquella siempre sea menor que ésta. Por otra parte la presión constante de salida puede variarse, igual que en aquella. La válvula proporcional de presión tiene una parte neumática análoga a la convencional, pero además posee determinados elementos electrónicos que la distinguen de aquella y que la hace más exacta.

2.3.1.3.1 FUNCIONAMIENTO

Una tensión de alimentación de consigna hace que una lengüeta (4) ocupe una determinada posición ante una tobera (5), de tal manera que salga a escape un cierto caudal de aire, y se obtenga un determinado equilibrio, en el que la válvula principal (6) adquiera una determinada posición. Ver figura 14.

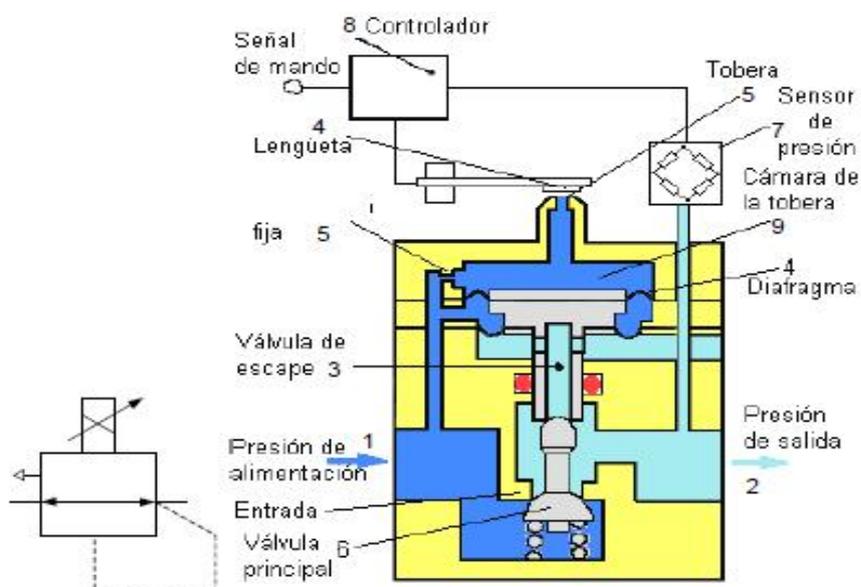


Figura II. 14. Válvula proporcional de presión

En esta posición, esta válvula principal produce una pérdida de carga el punto de alimentación a la entrada de la válvula proporcional (1) y la de su salida (2), consiguiendo así que la presión de salida sea la de consigna. Si la presión obtenida en (2) fuese superior a la deseada, habría que aumentar la pérdida de carga, para ello el sensor de presión (7) se lo comunicaría al controlador (8), que haría que la lengüeta (4) abriese el paso hacia escape, disminuiría la presión en la cámara de la tobera (9) y la válvula principal (6) se cerraría, produciendo mayor pérdida de carga, hasta alcanzar un nuevo equilibrio en el que la presión de salida fuese la deseada. Si la presión obtenida fuese inferior a la requerida las cosas sucederían a la inversa. La presión de salida de consigna puede variarse modificando la tensión de alimentación del controlador. La figura 15 representa el proceso mediante un diagrama de bloques; mientras que, la figura 16 representa la relación entre la tensión de entrada y la presión de consigna de salida en la válvula.EIT2040 de SMC descrita.

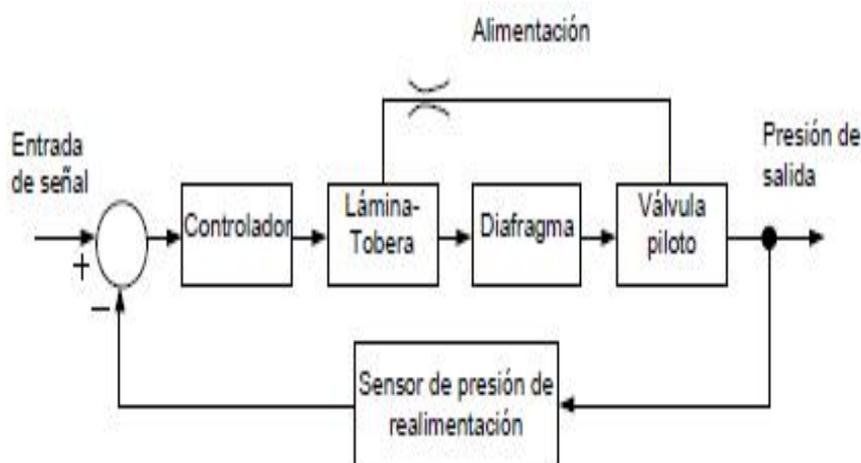


Figura II. 15. Diagrama de bloques

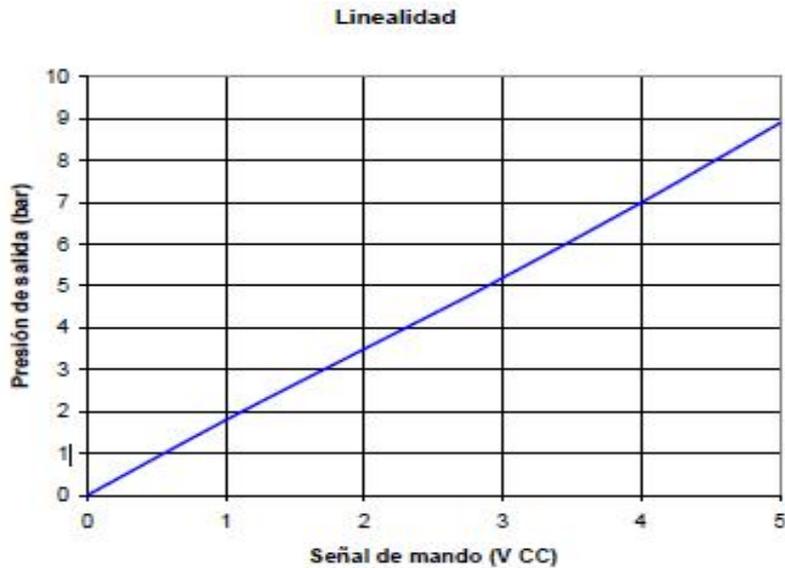


Figura II. 16. Gráfica tensión – presión

2.3.1.4 SIMBOLOGÍA

Los símbolos más utilizados en este tema son:

Ver figura 17.

Válvula proporcional (símbolo neumático)	
Válvula proporcional (símbolo eléctrico)	

Figura II. 17. Simbología válvula proporcional

2.3.2 ACCESORIOS DE LAS VÁLVULAS NEUMÁTICAS

Dentro de los accesorios neumáticos tenemos:

Racores

Racor rápido

Racor

Conectores de anillo cortante

Conector enchufable

Conectores	Acoplamiento rápidos
Conectores manguera	Manómetros
Racores de tubería	Motor neumático
Distribuidores giratorios	Válvulas magnéticas
Mangueras	Interruptores de presión
Material de instalación	Interruptores de temperatura
Válvulas de bola	Válvulas de tiempo
Válvulas de bola neumática	Filtros finos
Válvulas de bloqueo neumático	Unidades de mantenimiento
Válvulas de bloqueo	Cabezas de horquilla
Válvulas de corriente	Cojinetes articulados
Válvulas de seguridad	Interruptores magnéticos
Válvulas de función	

2.4 ACCESORIOS DE LOS CILINDROS

Generalmente, el cilindro neumático está constituido por un tubo circular cerrado en los extremos mediante dos tapas, entre las cuales se desliza un émbolo que separa dos cámaras. Al émbolo va unido a un vástago que saliendo a través de una de ambas tapas, permite utilizar la fuerza desarrollada por el cilindro (gracias a la presión del fluido al actuar sobre las superficies del émbolo). Ver figura 18.



Figura II. 18. Partes de un cilindro

Descripción de los accesorios neumáticos.

Dentro de los accesorios neumáticos tenemos:

➤ **Juntas**

Uno de los componentes importantes en la construcción de los cilindros neumáticos son las juntas, cuya función es impedir las fugas de aire comprimido entre las piezas mecánicas que configuran el cilindro para que éste permanezca estanco. Las juntas, según la función que desarrollan, se clasifican en dos grupos: juntas estáticas y juntas dinámicas.

Las juntas estáticas son las que se colocan entre piezas que no están en movimiento. Su función es cerrar herméticamente un volumen o proporcionar uniones perfectas. Las juntas dinámicas trabajan entre una superficie móvil y otra fija, debiendo, además, conservar las condiciones adecuadas para trabajar como juntas estáticas cuando el cilindro está parado.

➤ **Racordajes**

Es muy importante no olvidar que el aire comprimido que dirigimos a los diferentes componentes del circuito debe ser conducido a través de racordajes y tuberías, en general de pequeño diámetro, que aseguren rapidez en la conexión, que permitan la instalación con ausencia de fugas y que resistan bien la acción de la corrosión, vibraciones y esfuerzos mecánicos. Los tipos o familias de racores de conexión se agrupan de la siguiente manera:

- *Racores instantáneos.* Se usan principalmente para tuberías de nylon o poliuretano.

- *Racores con bicono de compresión.* Se emplea indistintamente con tuberías plásticas de nylon, con tubos metálicos de cobre o con tubos de nylon armado interiormente de aluminio.
- *Racores con espiga-tuerca moleteada.* Se emplea con tubos de nylon, PVC y poliuretano, en todo caso para efectuar las últimas conexiones con los tubos de pequeño diámetro.

En la fabricación de estos tipos de racores se emplea como material base: el latón estampado para asegurar que están exentos de poros y un niquelado exterior que los protege de la oxidación ambiental.

2.5 SENSORES

Definición: un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles de dicha magnitud. Esto se realiza en tres fases:

- Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.
- La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.
- El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor A/D, conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

2.5.1 COMPONENTES DE UN SENSOR.

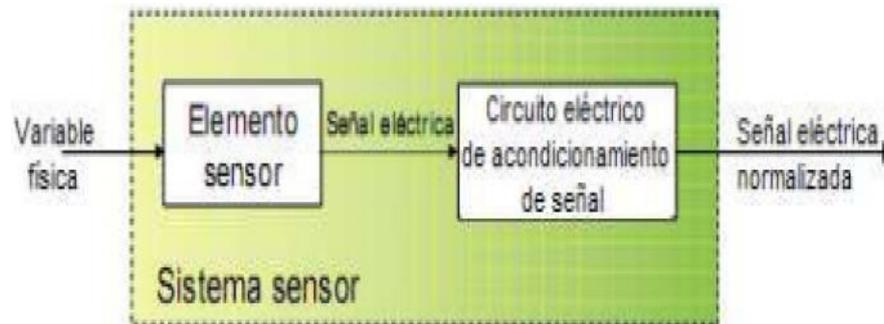


Figura II. 19. Componentes de un sensor

2.5.2 CARACTERÍSTICAS DE UN SENSOR

- Rango de medida: dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- Precisión: es el error de medida máximo esperado.
- Offset o desviación de cero: valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.
- Linealidad o correlación lineal.
- Sensibilidad de un sensor: relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- Rapidez de respuesta: puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- Derivas: son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones

ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.

- Respetabilidad: error esperado al repetir varias veces la misma medida.

2.5.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES

Los sensores pueden ser clasificados por diferentes criterios:

Según el funcionamiento

a) Sensores de deflexión: en este tipo de sensores, la deformación de un material emplea para medir una magnitud física.

b) Sensores de comparación: como su nombre lo indica se basa en la comparación de fuerzas aplicadas, este funcionamiento se puede observar en las balanzas, donde el operario coloca un cuerpo de igual masa al que se mide, con el objetivo de encontrar un balance entre ambos pesos que permita mantener el equilibrio.

Según su aporte de energía

Se pueden dividir en moduladores (activos) y generadores (pasivos); los modulares se caracterizan por utilizar una fuente de energía auxiliar para alimentar la señal de salida, mientras que en los pasivos la energía de la señal de salida es suministrada por la entrada.

Según el tipo de salida

Esta clasificación se hace según el tipo de señal a ser medida, la cual puede ser analógica o digital.

Según el orden

También pueden ser clasificados según el orden: primero, segundo o de orden superior. Esta clasificación se hace según el número de elementos almacenadores de energía independientes que contenga el sensor.

Según el tipo de variable física a medir

La clasificación subdivide a los sensores de acuerdo a la magnitud física por medir, tal es el caso de caudal, temperatura, presión, nivel, entre otros. Para este trabajo se realizó una clasificación, primero con el criterio de que la señal eléctrica generada es de tipo analógica y segundo, el tipo de variable física medida. Ver tabla N° 2.

Tabla II. II. Clasificación de los sensores según el tipo de variable a medir

Señal de salida	Magnitud Física	Transductor
Analógica	Posición lineal o angular	Potenciómetros
Analógica	Pequeños desplazamientos o deformaciones	Transformadores diferenciales (LVDT)
		Galgas extensiométricas
Analógica	Velocidad lineal o angular	Dinamos Tacométricas
Analógica	Aceleración	Acelerómetros
Analógica	Fuerza y Par	Medición indirecta (mediante galgas o transformadores diferenciales)
Analógica	Nivel	Capacitivos
Analógica	Presión	Membrana + detector de desplazamiento
		Piezoeléctricos
Analógica	Caudal	Presión diferencial (Diafragmas/tubos de Venturi)
		De Turbina
		Magnético
Analógica	Temperatura	Termopares
		Termo resistencias (PT100)
		Resistencias NTC
		Resistencias PTC
Analógica	Sensores de presencia o Proximidad	Inductivos
		Capacitivos
		Ultrasónicos

2.5.3.1 SENSORES ANÁLOGOS DE FUERZA

Definición.- Son aquellos que detectan la presencia y la fuerza ejercida. Ej. Compresión de un muelle en la zona de contacto. Está constituido por una varilla accionada por un resorte mecánicamente enlazada con un eje giratorio, de tal manera que el desplazamiento de la varilla debida a una fuerza lateral da lugar a una rotacional proporcional al eje. Se mide la rotación con un potenciómetro, y conociendo la constante del resorte se conoce la fuerza correspondiente a un desplazamiento dado: $F = k \cdot x$.

Especificaciones de estos sensores:

- Alta rigidez para asegurar que las perturbaciones se amortigüen rápidamente para permitir lecturas exactas en cortos períodos de tiempo.
- Diseño compacto para no restringir el movimiento del manipulador.
- Linealidad.
- Baja histéresis y rozamiento interno. Ver figura 20.

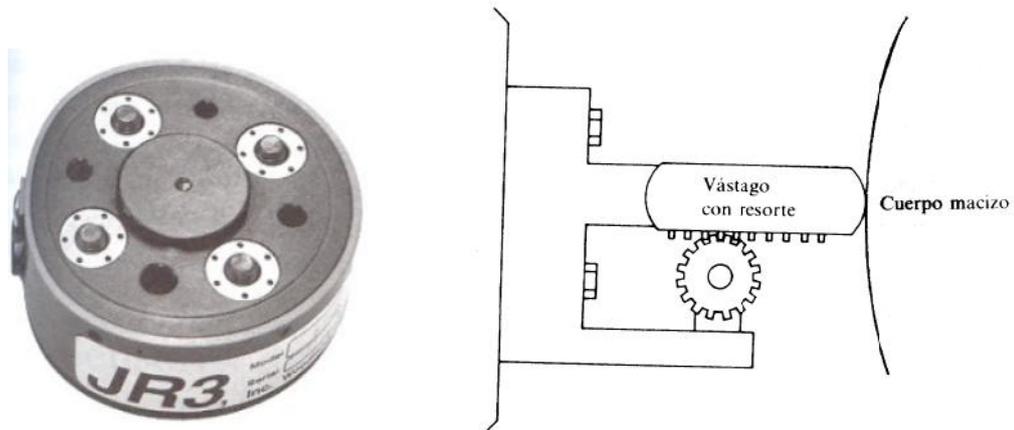


Figura II. 20. **Sensor de fuerza**

El método que tiene por objeto medir las deformaciones superficiales de los cuerpos, se denomina Extensometría. Una fuerza/par se puede transducir principalmente de

dos maneras; la primera es comparándola con otra conocida, por ejemplo en una balanza, y la segunda es aplicando la fuerza/par a un elemento elástico denominado célula de carga. En las células de carga eléctricas el efecto es una deformación que se medirá normalmente con galgas extensiométricas, en el caso de las hidráulicas y neumáticas, se tiene que el efecto es un aumento de la presión ya sea de un líquido o de un gas, según sea el caso. Las galgas extensiométricas, es un procedimiento ampliamente utilizado para convertir las deformaciones en señales eléctricas proporcionales. Como se observa en la figura 21, estas se basan en la variación de longitud y de diámetro y por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión.

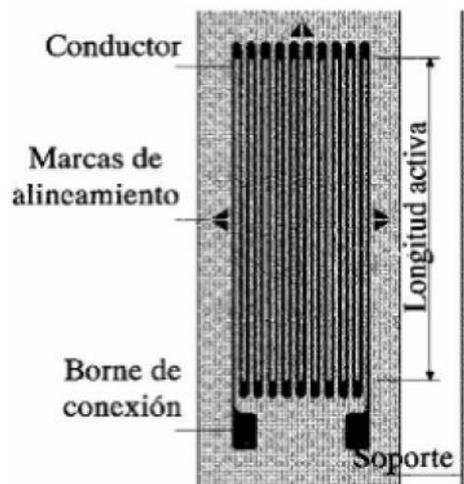


Figura 21. **Construcción básica de una galga extensiométrica**

Existen varios tipos de galgas extensiométricas, dentro de las cuales se pueden mencionar:

- a) Galgas extensiométricas semiconductoras: el elemento sensible es una banda de cristal semiconductor con cierto grado de contaminación. Su salida no es

lineal con respecto a la deformación unitaria pero presentan histéresis y tienen una larga vida con respecto a la fatiga.

- b) Galgas extensiométricas de resistencia eléctrica: cuando se sujeta una longitud de cable dentro de su límite de tensión, ocasiona que se incremente la longitud, que de un decremento del diámetro, y que cambie su resistencia eléctrica, entonces el material conductor es unido a un elemento elástico en condiciones de deformación, y es posible medir el cambio en la resistencia y con esto se puede calcular la fuerza. Para la fabricación de este tipo de galga se utilizan aleaciones de Níquel-Cromo, Cobre-Níquel, Platino-Tungsteno.

Además de las galgas extensiométricas, se pueden utilizar los transductores de efecto piezoeléctrico, los cuales tienen la característica de ser ligeros, de pequeño tamaño y de construcción robusta.

Los transductores de efecto piezoeléctrico se presentan de dos tipos: resistivo y capacitivo (Ver figura 22). En los resistivos la presión desplaza un cursor a lo largo de una resistencia a modo de potenciómetro cuyo valor se modifica proporcionalmente a la presión aplicada. En los capacitivos se mide la presión por medio de un diafragma metálico que constituye una de las placas del condensador. Cualquier cambio de presión hace variar la separación entre el diafragma y la otra placa, modificándose la capacidad del condensador. En los transductores piezoeléctrico, su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas, al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo. Tienen la desventaja de que su señal de salida es bastante débil, por lo que se requiere colocarles amplificadores y acondicionadores de señal, además son muy sensibles a los cambios de temperatura.

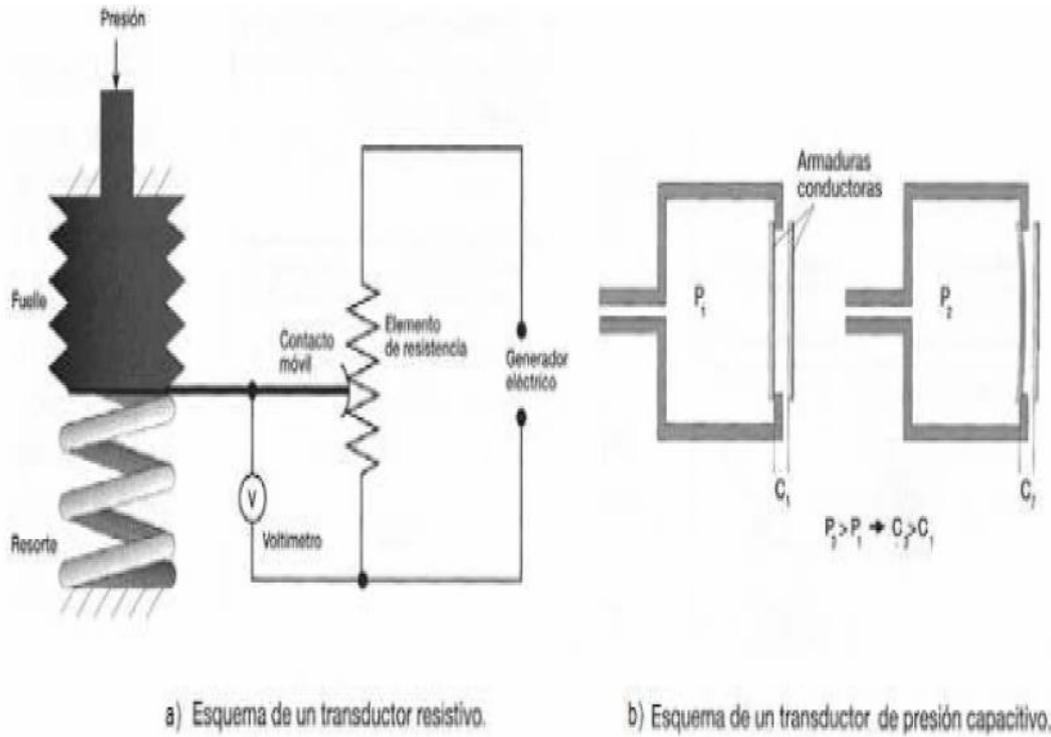


Figura II. 22. Tipos de transductores piezoeléctricos

2.6 CIRCUITOS ELECTRO NEUMÁTICOS

Posibilidad de mayor presión variando la señal. Ver figura 23.

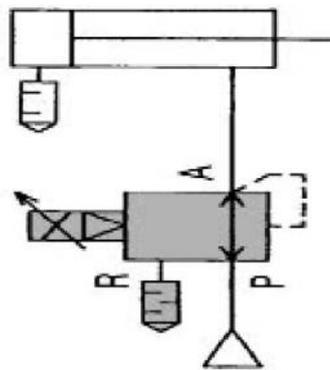


Figura II. 23. Mayor presión variando la señal

Facilidad de balanceo del vástago con presión al variar la señal de entrada a la válvula. Ver figura 24.

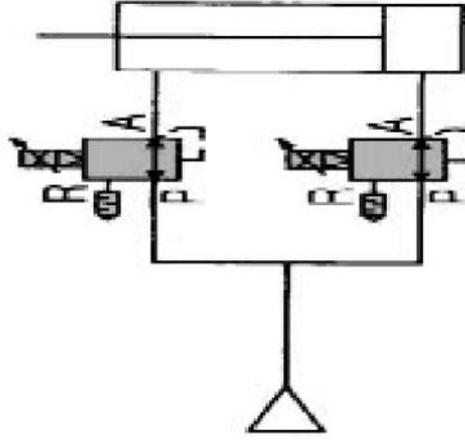


Figura II. 24. **Balanceo del vástago con presión al variar la señal**

CAPÍTULO III

CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC'S)

3.1 INTRODUCCIÓN

Las empresas de hoy, que piensan en el futuro, se encuentran provistas de modernos dispositivos electrónicos en sus máquinas y procesos de control. Hoy las fábricas automatizadas deben proporcionar en sus sistemas, alta confiabilidad, gran eficiencia y flexibilidad. Una de las bases principales de tales fábricas es un dispositivo electrónico llamado Controlador Lógico Programable. Este dispositivo fue inicialmente introducido en 1970 y se ha ido refinando con nuevos componentes electrónicos, tales como Micro-procesadores de alta velocidad, agregándole funciones especiales para el control de proceso más complejos. Hoy los Controladores Programables son diseñados usando lo último en diseño de Micro-procesadores y circuitería electrónica lo cual proporciona una mayor confiabilidad en su operación en aplicaciones industriales donde existen peligro debido al medio ambiente, alta repetitividad, altas

temperaturas, ruido ambiente o eléctrico, suministro de potencia eléctrica no confiable, vibraciones mecánicas etc.

3.1.1 DEFINICIÓN DE PLC's

Los PLC's o **controladores lógicos programables**, son dispositivos electrónicos creados específicamente para automatización industrial. Un PLC controla la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, procesan y reciben señales digitales y analógicas y pueden aplicar estrategias de control.

El término PLC proviene de las siglas en inglés Programmable Logic Controller, que traducido al español significa "Controlador Lógico Programable". Se trata de un equipo electrónico que como su mismo nombre lo indica se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Para que un PLC logre cumplir con su función de controlar es necesario programarlo con cierta información acerca de los procesos que se quiere secuenciar. Esta información es recibida por captadores que gracias al programa lógico interno, logran implementarla a través de los accionadores de la instalación.

Dentro de las funciones que un PLC puede cumplir se encuentran operaciones como la de detección y de mando, en las que se elaboran y envían datos de acción a los preaccionadores y accionadores. Además cumplen la importante función de programación facilitando la introducción, creación y modificación de las aplicaciones del programa.

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentra el ahorro de tiempo en la elaboración de proyectos pudiendo realizar modificaciones sin costos

adicionales. Por otra parte son de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo, además permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo. Sin embargo y como sucede en todos los casos los controladores lógicos programables o PLC's, presentan ciertas desventajas como es la necesidad de contar con técnicos calificados y adiestrados específicamente para ocuparse de su buen funcionamiento.

3.1.2 FUNCIONES BÁSICAS DEL PLC

Dentro de las funciones básicas del PLC tenemos:

- **Detección:** Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.
- **Mando:** Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.
- **Diálogo hombre máquina:** Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.
- **Programación:** Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómeta. El diálogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómeta controlando la máquina.

En esta tesis se utilizó el PLC s7-1200 con la finalidad de facilitar la automatización del proceso. A continuación se detalla el funcionamiento de dicho PLC.

3.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL PLC's7-1200

El controlador lógico programable S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de

automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones. Ver figura 25.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

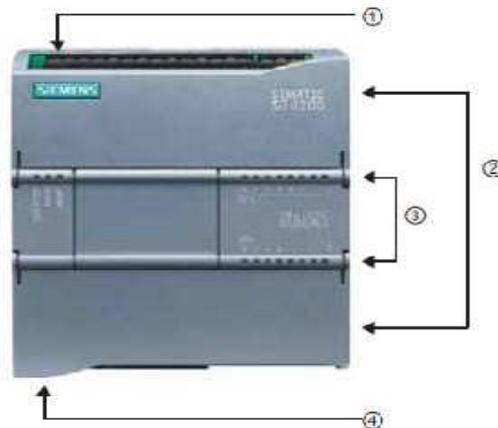


Figura III. 25. **PLC s7-1200**

1. Conector de corriente.
2. Tapas extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas)
3. LEDs de estado para las E/S integradas.
4. Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU).

Los diferentes modelos de CPUs ofrecen una gran variedad de funciones y prestaciones que permiten crear soluciones efectivas destina para numerosas aplicaciones.

Tabla III. III. **Características CPU12xx**

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario			
• Memoria de trabajo	• 25 KB		• 50 KB
• Memoria de carga	• 1 MB		• 2 MB
• Memoria remanente	• 2 KB		• 2 KB
E/S integradas locales			
• Digitales	• 6 entradas/4 salidas	• 8 entradas/6 salidas	• 14 entradas/10 salidas
• Analógicas	• 2 entradas	• 2 entradas	• 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos	3	4	6
• Fase simple	• 3 a 100 kHz	• 3 a 100 kHz 1 a 30 kHz	• 3 a 100 kHz 3 a 30 kHz
• Fase en cuadratura	• 3 a 80 kHz	• 3 a 80 kHz 1 a 20 kHz	• 3 a 80 kHz 3 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		

Signal Boards (SB).

Una (SB) permite agregar E/S ala CPU. Es posible agregar una SB con E/S digitales o analógicas. Una SB se conecta en el frente de la CPU.

- SB con 4 E/S digitales (2 entradas DC y 2 salidas DC)

- SB con 1 entrada analógica. Ver figura 26.

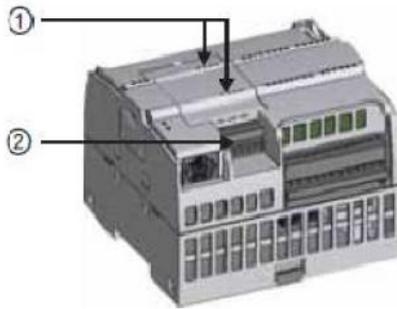


Figura III.26. **Signal Board en el CPU**

1. LEDs de estado en la SB
2. Conector extraíble para el cableado de usuario

Módulos de señales

Los módulos de señales se pueden utilizar para agregar funciones a la CPU. Los módulos de señales se conectan a la derecha de la CPU. Ver figura 27.

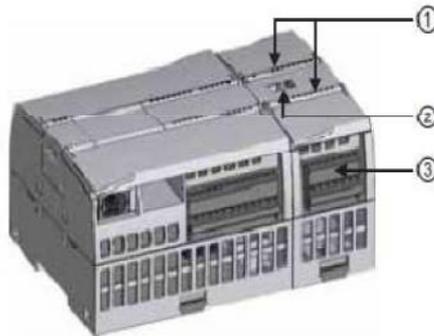


Figura III.27. **CPU más SM**

1. LEDs de estado para las E/S del módulo de señales
2. Conector de bus
3. Conector extraíble para el cableado de usuario

Módulos de comunicación

La gama S7-1200 provee CMs que ofrecen funciones adicionales para el sistema.

Hay dos módulos de comunicación, a saber: RS232 y S485.

- La CPU soporta como máximo 3 módulos de comunicación
- Todo CM se conecta en lado izquierdo de la CPU (o en lado izquierdo de otro CM). Ver figura 28.

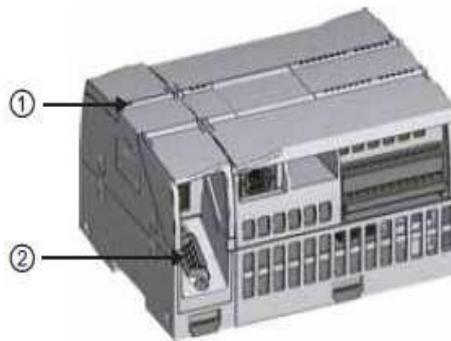


Figura III. 28. CPU más CM

1. LEDs de estado del módulo de comunicación
2. Conector de comunicación

3.1.3 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN

STEP7 Basic.- Es un software de programación que ofrece un entorno amigable permitiendo desarrollar, editar y observar la lógica del programa necesaria para controlar la aplicación, incluyendo herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos del proyecto, como: PLCs y dispositivos HMI. Ofrece dos lenguajes de programación (KOP y FUP) que permiten desarrollar el programa de control de la aplicación de forma fácil y eficiente.

Diferentes vistas que facilitan el trabajo

Para aumentar la productividad, el Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal), figura 29, ofrece dos vistas diferentes de las herramientas disponibles, a saber: distintos portales orientados a tareas organizados según las funciones de las herramientas (vista del portal) o una vista orientada a los elementos del proyecto (vista del proyecto). El usuario puede seleccionar la vista que considere más apropiada para trabajar eficientemente. Con un solo clic es posible cambiar entre la vista del portal y la vista del proyecto. La vista del portal ofrece una vista funcional de las tareas del proyecto y organiza las funciones de las herramientas según las tareas que deban realizarse como por ejemplo la configuración de los componentes de hardware y las redes .Es posible determinar fácilmente el procedimiento y la tarea que debe seleccionarse.

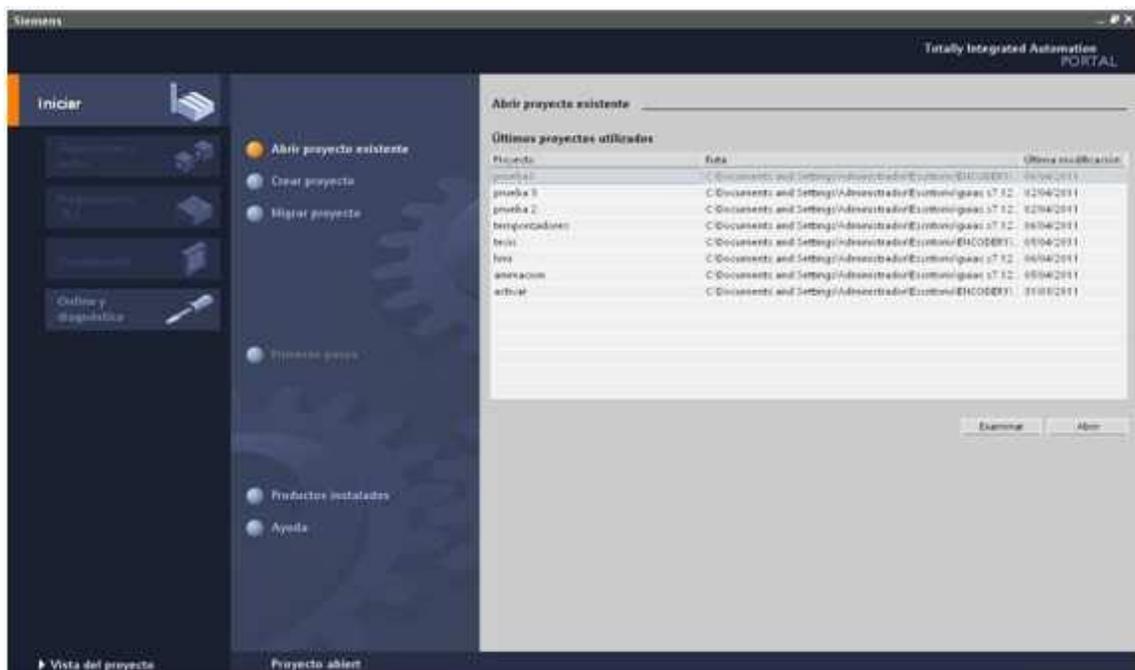


Figura III. 29. Vista de inicio TIA

La vista del proyecto proporciona acceso a todos los componentes del proyecto. Puesto que todos estos componentes se encuentran en un solo lugar, es posible

acceder fácilmente a todas las áreas del proyecto. El proyecto contiene todos los elementos que se han creado o finalizado. Ver figura 30.

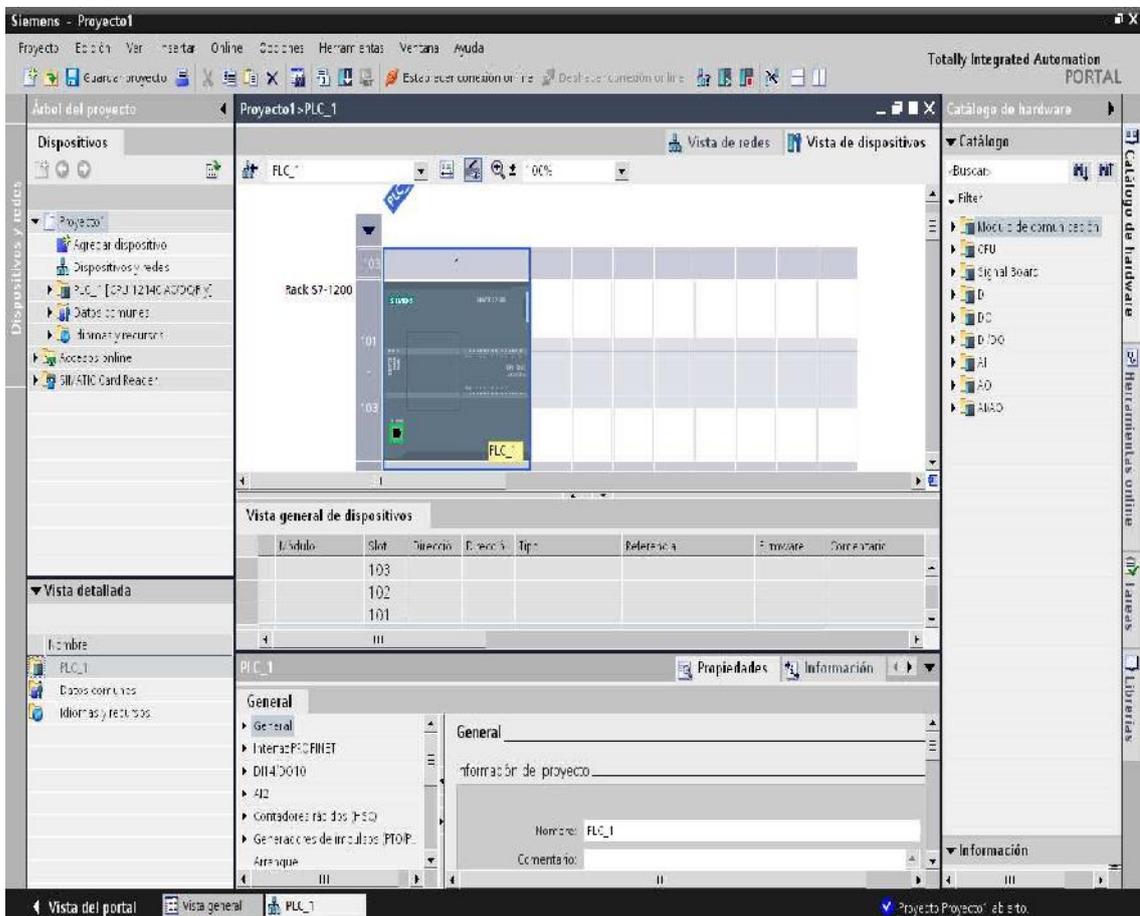


Figura III. 30. Vista del proyecto

Tipos de datos simples

Los tipos de datos permiten determinar la longitud, los rangos admisibles y tipos de representación de los valores de una variable o constante.

A continuación se muestran las propiedades básicas de los tipos de datos simples.

Tabla III.IV. Tipos de datos simples

Tipo de datos	Longitud (bits)	Formato Estándar	Rango de valores	Ejemplo de entrada de
BOOL	1	Booleano	TRUE/FALSE	TRUE
BYTE	8	Número Hexadecimal	16#0 hasta 16#FF	16#F0
WORD	16	Número Hexadecimal	16#0 hasta 16#FFFF	16#F0F0
DWORD	32	Número Hexadecimal	16#0000_0000 hasta 16#FFFF_FFFF	16#F0F0_F0F0
SINT	8	Enteros con Signo	de 128 a 127	(+)120
USINT	8	Enteros sin Signo	De 0 a 255	50
INT	16	Enteros con signo	-32768 hasta 32767	(+)1
UINT	16	Enteros sin Signo	De 0 a 65535	300
DINT	32	Enteros con Signo	De 147483648 a +2 147 483	(+)2131754992
UDINT	32	Enteros sin Signo	De 0 a 4294967295	4042322160
REAL	32	Números en coma flotante	3.402823e+38 hasta 1.175495e-38 ±0 +1.175495e38	1.234567e+13
TIME	32	Tiempo con Signo	T# -24 de 20h 31m 23s 648ms hasta T# +24 de 20h 31m 23s	T#10d20h30m20 s630ms
CHAR	8	Caracteres ASCII	Juego de caracteres	'E'

Tipos de datos compuestos

Los tipos de datos compuestos definen grupos de datos que se componen de otros tipos de datos. Las constantes no se pueden utilizar como parámetros actuales para los tipos de datos compuestos. Las direcciones absolutas tampoco se pueden transferir como parámetros actuales a los tipos de datos compuestos. A continuación se muestra una vista general de los tipos de datos compuestos.

Tabla III.V. Tipos de datos compuestos

Tipo de datos	Descripción
DTL	El tipo de datos DTL representa un instante compuesto por las indicaciones de fecha y hora.
STRING	El tipo de datos STRING representa una cadena de caracteres que pueden comprender 254 caracteres como máximo.
ARRAY	El tipo de datos ARRAY representa un campo compuesto por un número fijo de componentes del mismo tipo de datos.
STRUCT	El tipo de datos STRUCT representa una estructura compuesta por un número fijo de componentes. Los distintos componentes de la estructura pueden tener diferentes tipos de datos.

Requisitos mínimos y recomendados:

Los requisitos de software y hardware mínimos que deben cumplirse para la instalación del paquete de software "SIMATIC STEP 7 Basic" se muestran en la tabla VI.

Tabla III. VI. **Requisitos de instalación**

Hardware/software	Requisitos
Tipo de procesador	Pentium 4, 1.7 GHz o similar
RAM	Windows XP: 1 GB
Espacio libre en el disco duro	2 GB
Sistemas operativos	<ul style="list-style-type: none">• Windows XP (Home SP3, Professional SP3)• Windows Vista (Home Premium SP1, Business)
Tarjeta gráfica	32 MB RAM
Resolución de pantalla	1024x768
Red	A partir de Ethernet 10 Mbits/s
Unidad óptica	DVD-ROM

3.1.4 COMUNICACIÓN PCCONEL PLC

Una PG o PC se comunica con el PLCs7-1200 a través de la interfaz Profinet que dispone este dispositivo, por medio del protocolo Ethernet. Esta es una de las grandes ventajas de las que dispone este PLC sobre los demás ya que se puede cargar un programa definido por el usuario con cualquier cable Ethernet. En este caso se ha utilizado un cable de par trenzado directo. Por esta razón el software al momento de realizar la configuración de hardware se puede modificar la dirección IP que es asignado al PLC, que por defecto es la 192.168.128.1 con máscara de subred 255.255.255.0. La modificación de la dirección IP se la realiza en la ventana propiedades de la configuración de dispositivos. Ver figura 31.



Figura III. 31. Configuración de dirección IP en el PLC

3.1.5 PROGRAMACIÓN DEL PLC S7-1200

Al crear el programa de usuario para las tareas de automatización, las instrucciones del programa se insertan en bloques lógicos (OB, FB o FC).

Lenguajes de programación fáciles de usar

STEP 7 ofrece los lenguajes de programación estándar siguientes para S7-1200:

- KOP (esquema de contactos) es un lenguaje de programación gráfico. Su representación se basa en esquemas de circuitos.
- FUP (diagrama de funciones) es un lenguaje de programación que se basa en los símbolos lógicos gráficos empleados en el álgebra booleana.
- SCL (estructura del control de lenguaje) es un lenguaje de programación de alto nivel basado en texto.

Al crear un bloque lógico, se debe seleccionar el lenguaje de programación que empleará dicho bloque. El programa de usuario puede emplear bloques lógicos creados con cualquiera de los lenguajes de programación. El lenguaje de programación que usará es el esquema de contactos (KOP).

Esquema de contactos (KOP)

Los elementos de un esquema de circuitos, tales como los contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos, así como las bobinas, se combinan para formar segmentos. Ver figura 32.



Figura III. 32. **Ejemplo de Esquema de Contactos**

Para crear la lógica de operaciones complejas, es posible insertar ramas para los circuitos paralelos. Las ramas paralelas se abren hacia abajo o se conectan directamente a la barra de alimentación.

KOP ofrece instrucciones con cuadros para numerosas funciones, por ejemplo: matemáticas, temporizadores, contadores y transferencia.

STEP 7 no limita el número de instrucciones (filas y columnas) de un segmento KOP.

Todo segmento KOP debe terminar con una bobina o cuadro.

Tenga en cuenta las reglas siguientes al crear segmentos KOP:

- No se permite programar ramas que puedan ocasionar un flujo invertido de la corriente.

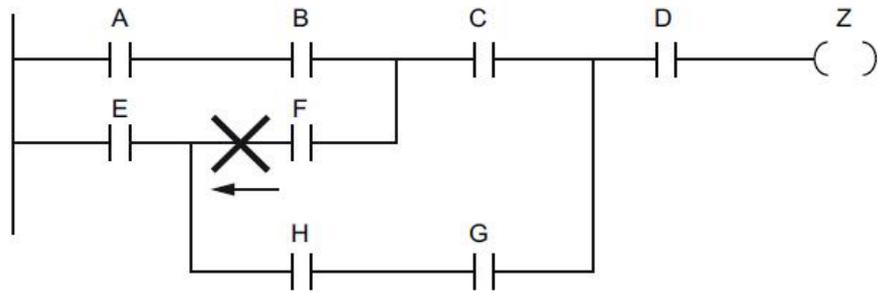


Figura III. 33. Ejemplo de conexión que no se debe hacer (a)

- No se permite programar ramas que causen cortocircuitos.

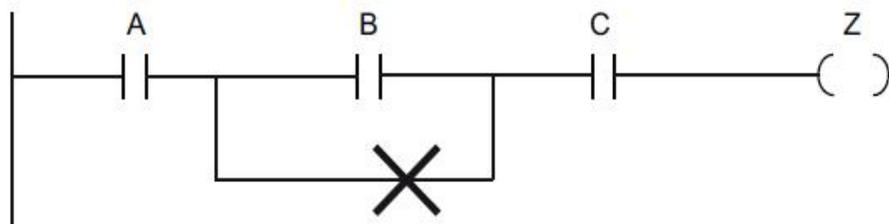


Figura III. 34. Ejemplo de conexión que no se debe hacer (b)

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO

4.1 INTRODUCCIÓN

Prácticamente todas las industrias alrededor del mundo poseen al menos un pequeño sistema automático. Por esta razón, debemos estar preparados y conocer el funcionamiento de dichos sistemas, por insignificantes que parezcan. Por consiguiente el presente proyecto tiene la misión de introducirnos de alguna forma en lo que es el control automático de procesos. El proyecto en mención consiste en el manejo de válvulas proporcionales para simular el sistema de control en lazo cerrado (PID) además, simular procesos con el balaceo del vástago en varias posiciones para todo esto se utilizó, el sensor piezo eléctrico de fuerza, un sensor de presión, válvulas proporcionales, cilindro neumático, manómetros y PLC. Para una mejor comprensión se procede a explicar cómo funciona un sistema de control en lazo cerrado.

4.2 SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO

Definición.- Es la operación que en presencia de perturbaciones tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y una entrada de referencia. Esta reducción se logra manipulando la variable de entrada del sistema, siendo la magnitud de dicha variable de entrada función de la diferencia entre la variable de referencia y la salida del sistema. Ver la figura 35.

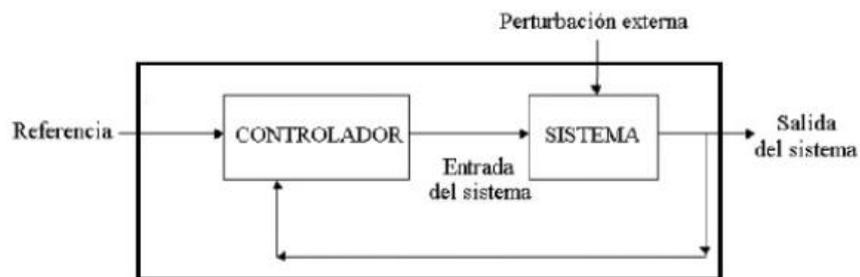


Figura IV. 35. Sistema de control en lazo cerrado

Elementos de un sistema de control lazo cerrado.

- Sistema a controlar (proceso)
- Controlador (control)
- Actuador (válvula proporcional)
- Medidor (sensor de fuerza)

Sistema de control lazo cerrado

Para empezar a detallar el presente proyecto debemos primeramente conocer los elementos que conforman un sistema de control lazo cerrado: Ver figura 36.

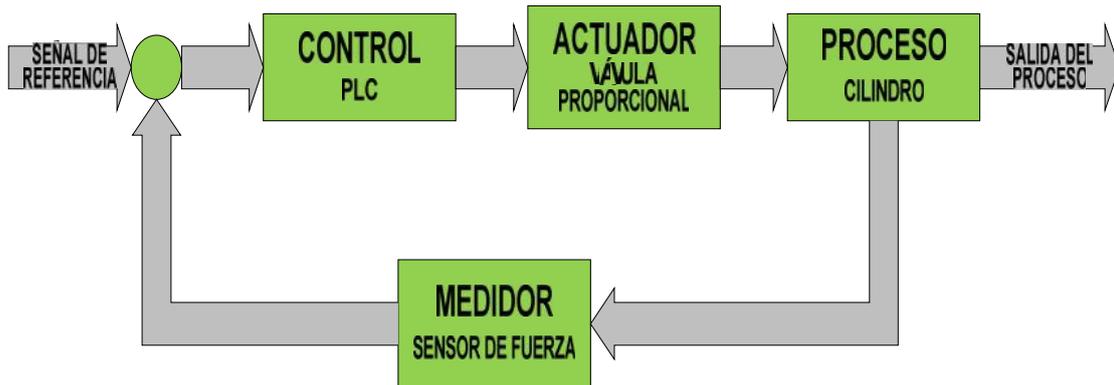


Figura IV. 36. Elementos de sistema de control lazo cerrado

Funciones de un lazo de control

- Medir el valor de salida del proceso con el sensor de fuerza.
- Detectar el error del proceso y generar una acción de control con el PLC.
- Usar la acción de control para manipular alguna variable en el proceso de modo que tienda a reducir el error (manipulación).

Para cumplir con las funciones de un sistema de control lazo cerrado se aplica el PID (Proporcional Integral Derivativo), que es un algoritmo de cálculo de control que se da en tres parámetros distintos que son: proporcional, integral, y derivativo. A continuación se detalla cada uno de dichos parámetros:

- El Proporcional determina la reacción del error actual.
- El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero.
- El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce.

La suma de estos tres parámetros es utilizada para ajustar la presión en el cilindro mediante el PLC (elemento de control); el mismo que controla la posición de la válvula proporcional, dando como resultado un control adecuado del proceso.

La respuesta del controlador puede ser evaluada en términos de respuesta del control ante un error, el grado en el cual el controlador llega al valor de referencia, y el grado de oscilación del sistema. Ver figura 37

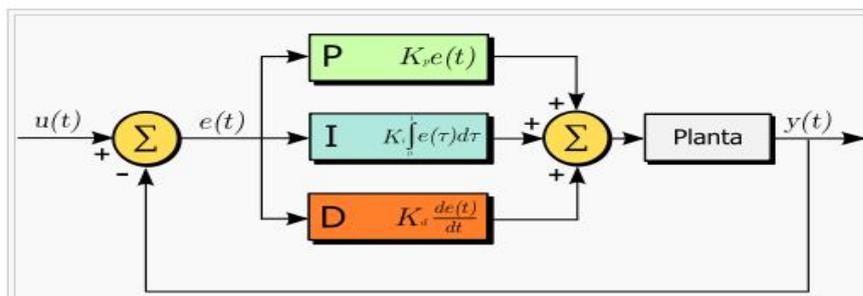


Figura IV. 37. Representación en diagrama de bloques del algoritmo (PID)

4.3 DESARROLLO MECÁNICO DEL MÓDULO

El módulo consta de piezas de aluminio en las siguientes medidas:

Tabla IV. VII. Piezas de aluminio

Medidas (cm)	Cantidad(unidades)
30	25
12	2
20	1
60	2

Además el módulo cuenta con un acumulador de presión para el proceso.

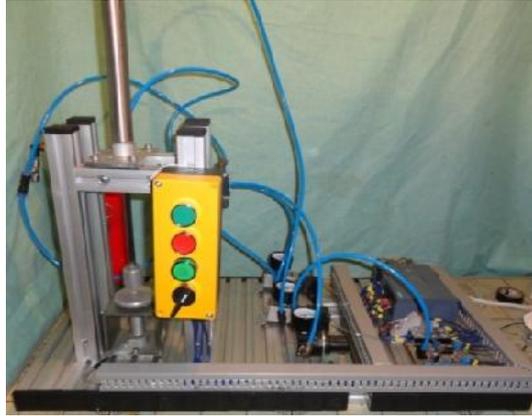


Figura IV. 38. **Módulo**

En este proyecto se han impuesto las estructuras de aluminio de gran resistencia junto a perfiles de alta precisión. Los perfiles y estructuras de aluminio pueden ser de color metalizado natural o anodizadas en color negro resistentes, protegidas contra la corrosión. Ver figura 39.



Figura IV. 39. **Perfiles y estructuras de aluminio**

4.3.1 MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO

La unión de la estructura básica en la cual se inicia el montaje mecánico, y donde se ubican los demás sistemas y componentes de la estación de proceso se realiza mediante perfiles y accesorios de perfilería modulares, todos están elaborados en material de aluminio, los mismos que se describen a continuación.

4.3.1.1 ESTRUCTURA BASE

Para armar la estructura base se utiliza perfiles que son de aluminio, de tipo cuadrado ligero de 30x30mm, de cuatro canales y de longitud variada. Ver figura40

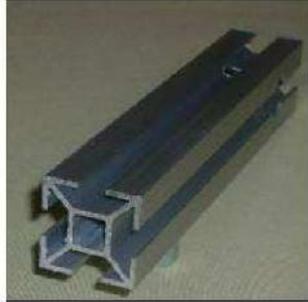


Figura IV. 40. Estructura base de aluminio

4.3.1.2 CONECTOR DE PERFILES PERPENDICULARES

Este herraje de acero zincado se utiliza para unir dos perfiles modulares. La forma del cabezal y el avellanado donde se introduce la punta del tornillo se bloquea y obliga a colocar la embocadura en la parte frontal del perfil. El cabezal se puede introducir en la ranura en cualquier momento del montaje, solo hay que girar un cuarto de vuelta. Ver figura 41.

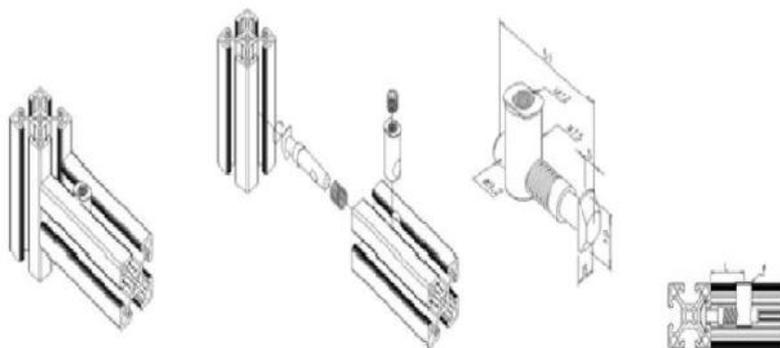


Figura IV. 41. Conector de perfiles perpendiculares

4.3.1.3 TUERCA CABEZA DE MARTILLO

Este tipo de tuerca se utiliza para fijar cualquier accesorio. Se introduce frontalmente, se desliza por el canal de los perfiles y al girar un cuarto de vuelta este queda bloqueado. Ver figura 42.

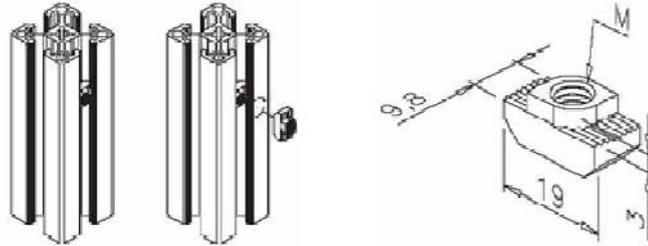


Figura IV. 42. Tuerca cabeza de martillo

4.3.1.4 TAPAS LATERALES

Este accesorio conocido también como tapa lateral o tapa ranuras, se lo puede ubicar en los extremos de las placas y perfiles ver figura 43, se utiliza para protección, además de servir como un dispositivo de seguridad.

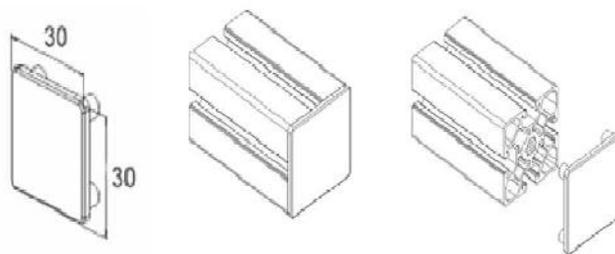


Figura IV. 43. Tapas para perfiles

Las tapas laterales vienen fabricadas en materiales de PVC opacos y transparentes.

4.3.1.5 FIJACIONES

El tipo de fijación es importante ya que el cilindro puede ir equipado de los accesorios de montaje necesarios. De lo contrario, como dichos accesorios se construyen según el sistema de piezas estandarizadas, también más tarde puede efectuarse la transformación de un tipo de fijación a otro. Este sistema de montaje facilita el almacenamiento en empresas que utilizan a menudo el aire comprimido, puesto que basta combinar el cilindro básico con las correspondientes piezas de fijación. La principal ventaja que ofrecen los sistemas de fijación no fijos, es que un mismo cilindro puede colocarse en una máquina de distintas formas según el tipo de fijación, en la figura 44 se muestra algunos ejemplos de fijaciones clásicas.



Figura IV. 44. Fijaciones clásicas

4.4 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PERTURBACIÓN DE SEÑALES

Válvula reguladora de presión.- Las válvulas proporcionan una presión constante para que el sistema funcione a una presión más baja que de la fuente. Una válvula de reducción puede normalmente ser ajustada para cualquier presión reducida. Una vez que se ajusta la válvula, la presión reducida será mantenida sin importar los cambios en la fuente de presión (mientras la presión de la fuente sea mayor que la presión reducida deseada).

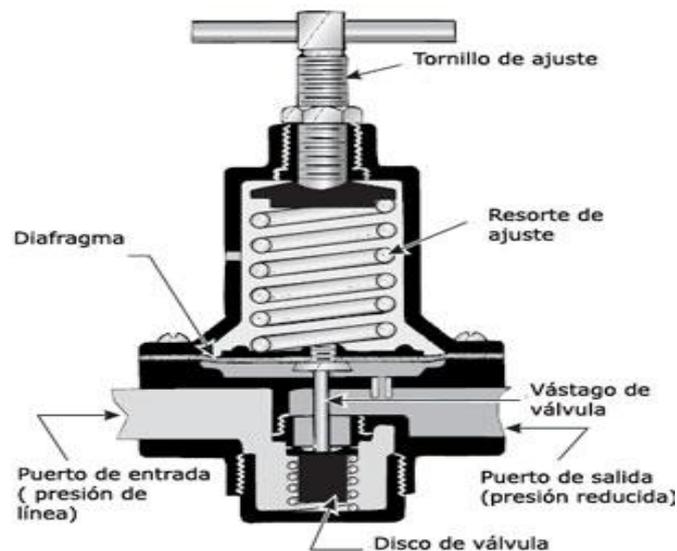


Figura IV. 45. Válvula de regulación de presión

Válvula selectora.- Se utiliza cuando se desea que coincidan en una tubería dos flujos neumáticos provenientes de dos tuberías distintas (X, Y) sin que se produzcan interferencias entre los dos. Si a través de uno de los orificios de entrada se introduce aire comprimido, éste pasa al orificio de utilización (A); mientras que el otro orificio de entrada permanece cerrado. Si existe presión en una de las dos entradas, habrá presión a la salida. Ver figura 46.

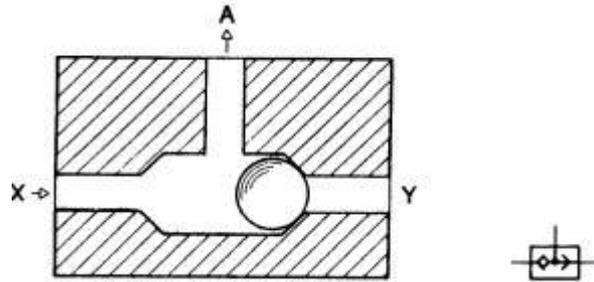


Figura 46. Válvula de bola

Perturbación de señales.- Las perturbaciones en los sistemas de control son muy frecuentes por lo cual es necesario implementar un sistema para simularlos, además hay que recalcar que las perturbaciones están presentes en los procesos industriales, aquí es donde se demuestra la robustez del sistema PID para compensar dichas perturbaciones que se generan. El sistema consta de una válvula de paso que permite el paso de una pequeña cantidad de presión al cilindro, esta presión está en el extremo opuesto al del movimiento normal del PID para que el sistema de control de lazo cerrado PID junto con la ayuda del PLC y la válvula proporcional elimine la perturbación generada en el proceso. Ver figura 47.

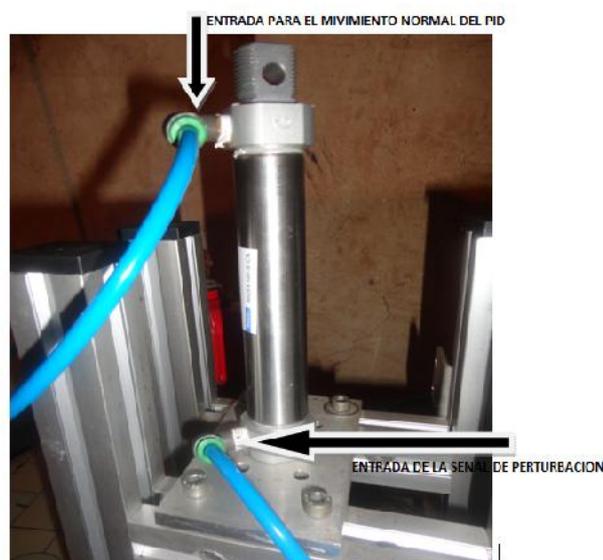


Figura IV. 47. Cilindro y sus entradas de aire.

4.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PROPORCIONAL

Actuador.- Es aquel que sirve como medio de comunicación entre PLC y el cilindro.



Figura IV. 48. **Válvula proporcional**

La implementación está compuesta de válvulas proporcionales su estructura interna y funcionamiento se describe en el capítulo 2 y sus características técnicas se encuentran en el **ANEXO 1**.

Descripción de la válvula proporcional en el sistema de control lazo cerrado

La válvula proporcional toma las señales eléctricas que son enviadas por el PLC para regular la presión en el cilindro y la presión va a estar en función de la entrada de referencia (Setpoint).

Elementos neumáticos auxiliares. Ver figura 49.



Figura IV. 49. **Elementos neumáticos**

Dentro de los elementos neumáticos auxiliares tenemos:

- **Silenciadores:** Utilizados para silenciar el ruido producto del escape de los sistemas neumáticos y también sirven para atrapar cualquier partícula que pudiera ser expulsada a alta velocidad junto a los gases de salida, además de ayudar a un ambiente de trabajo más amigable.

4.6 UBICACIÓN DE SENSORES

4.6.1 SEÑAL DE REFERENCIA (SETPOINT)

Se utilizó una válvula reguladora de presión y una válvula de bola para calibrar la presión en el sensor de presión (hoja de especificaciones ver **ANEXO3**), el cual indica el valor de presión o señal de referencia que se necesita en el proceso, dicha señal debe ser compensada automáticamente por los elementos que conforman el sistema de control en lazo cerrado (PID). A continuación se muestra el sensor de presión. Ver figura 50.



Figura IV. 50. **Sensor de presión**

El sensor de presión MPX5700 está diseñado especialmente para procesos que emplean un micro controlador o microprocesador. Este sensor proporciona una señal precisa, de alto nivel de salida analógica que es proporcional a la presión aplicada.

4.6.1.1 CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

Los pines 2 y 3 son de alimentación del sensor de 5VDC, y el pin 1 es el de salida de la señal los pines 4, 5, 6 no se conectan. Ver figura 51.

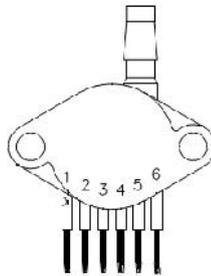


Figura IV. 51. Pines de conexión del sensor de presión

La señal del sensor necesita ser acondicionada por tal motivo se realizó el circuito de acondicionamiento de señal.

4.6.1.2 FUNCIÓN DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

Los acondicionadores son elementos del sistema de medida que ofrecen a partir de la señal de salida de un sensor electrónico. Una señal apta para ser presentada o registrada para un procesamiento posterior mediante un equipo o instrumento estándar, en el caso de este proyecto se realiza a través del PLC. Normalmente, son circuitos electrónicos que ofrecen, entre otras funciones, las siguientes:

- Amplificador operacional.
- Filtrado
- Adaptación de impedancias
- Modulación
- Demodulación

Para este fin utilizo amplificadores operacionales.

AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Un amplificador operacional (A.O., op-amp u OPAM), es un circuito electrónico (normalmente se presenta como circuito integrado) que tiene dos entradas y una salida. La salida es la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor (G) (ganancia):

$$V_{out} = G_p \cdot (V_+ - V_-).$$

Notación

El símbolo de un amplificador es el mostrado en la siguiente. Ver figura 52:

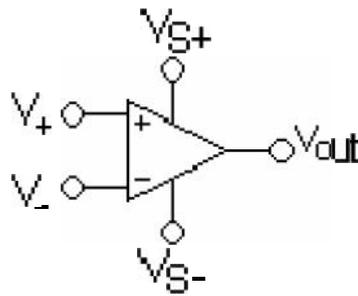


Figura IV. 52. Símbolo de un amplificador

Los terminales son:

- V_+ : entrada no inversora
- V_- : entrada inversora
- V_{OUT} : salida
- V_{S+} : alimentación positiva
- V_{S-} : alimentación negativa

Tabla IV. VIII. Características Ideales y Reales

Parámetro	Valor ideal	Valor real
Zi	∞	10 TΩ
Zo	0	100 Ω
Bw	∞	1 MHz
Av	∞	100.000
Ac	0	

Impedancia entrada (Zi).

Impedancia de salida (Zo).

Ancho de banda Bw infinito.

Ganancia en bucle abierto (Av) infinita para la entrada diferencial.

Ganancia nula para la señal en modo común (Ac).

Nota: Los valores reales dependen del modelo, estos valores son genéricos y son una referencia. Si van a usarse amplificadores operacionales, es mejor consultar las hojas de especificaciones o características del fabricante.

4.6.1.3 COMPORTAMIENTO DE UN AMPLIFICADOR EN VOLTAJE CONTINUO

Lazo abierto

Se conoce como lazo abierto cuando no existe realimentación en el circuito (Ver figura 51), entonces su salida será la resta de sus dos entradas multiplicada por la ganancia en bucle abierto. Esta ganancia (Av) suele ser del orden de 100.000(ganancia (Av))

valor real en la tabla VIII). Por lo tanto si la diferencia entre las dos tensiones es de 1V la salida debería ser 100.000 V.

Pero debido a la limitación de voltaje de alimentación, el A. O. estará al límite de su alimentación si se da este caso.

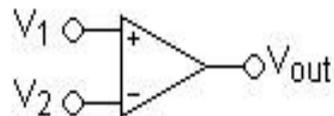


Figura IV.53. **Lazo abierto**

Lazo cerrado o realimentado

Se conoce como lazo cerrado a la realimentación en un circuito, ver figura 52. Aquí aparece una realimentación negativa. Cuando se realimenta negativamente un amplificador operacional, se mejoró algunas características del mismo como una mayor impedancia en la entrada y una menor impedancia en la salida.

La mayor impedancia de entrada da lugar a que la corriente de entrada sea muy pequeña y se reducen así los efectos de las perturbaciones en la señal de entrada. La menor impedancia de salida permite que el amplificador se comporte como una fuente eléctrica de mejores características. Además, la señal de salida no depende de las variaciones en la ganancia del amplificador, que suele ser muy variable, sino que depende de la ganancia de la red de realimentación, que puede ser mucho más estable con un menor coste. Asimismo, la frecuencia de corte superior es mayor al realimentar, aumentando el ancho de banda.

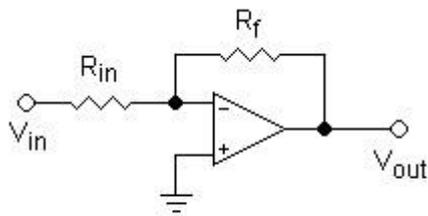


Figura IV.54. Lazo cerrado

ERRORES DE DESPLAZAMIENTO (OFFSET) DEL VOLTAJE Y CORRIENTE

Se debe a la construcción del amplificador operacional.

Estructura interna del circuito del amplificador operacional

Los amplificadores operacionales están contruidos en su entrada con transistores en configuración amplificador diferencial. Ver figura 55.

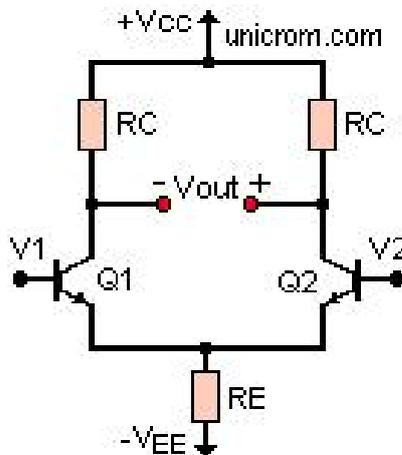


Figura IV.55. Amplificador diferencial

Transistores en configuración amplificador diferencial

Su salida (V_{out}) es proporcional a la diferencia de voltajes en sus entradas V_1 y V_2 .

Transistor.-Es un dispositivo electrónico semiconductor que cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador, en este caso cumple la función de amplificador.

Las corrientes en un transistor son. Ver figura 56.

Corriente de base= I_B

Corriente de colector= I_C

Corriente de emisor= I_E

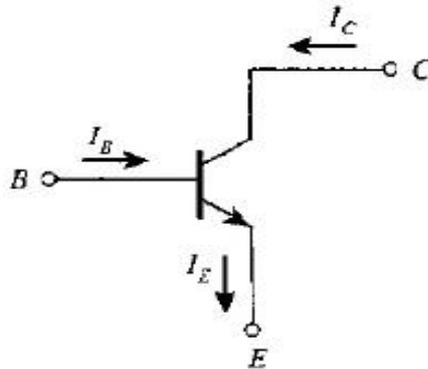


Figura IV.56. Corrientes en un transistor

DESBALANCE DE VOLTAJE V_{io} DEL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

Los voltajes V_1 y V_2 de entrada al amplificador diferencial rara vez son iguales. Por lo cual un pequeño voltaje de desbalance diferencial V_{io} tendrá lugar en la entrada. Este voltaje por lo regular es inferior a 10mV. Sin embargo, al multiplicarse por una ganancia apreciable en lazo cerrado, el voltaje de desbalance a la salida del amplificador se vuelve muy grande y ello es intolerable en especial en los circuitos acoplados como los de esta tesis, porque desplaza el punto de referencia de la salida produciendo recortes asimétricos en la señal en especial con altas ganancias.

El efecto del voltaje V_{io} se modela como una fuente de voltaje en una de las entradas del amplificador ideal. Ver figura 57.

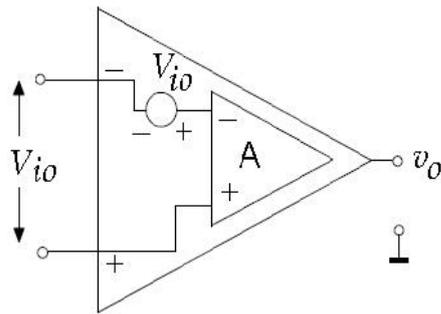


Figura IV.57. **Modelo del efecto de voltaje offset de entrada**

Los valores de V_{io} dependen del tipo de amplificadores operacionales.

Tabla IV. IX. **Valores típicos de V_{io} para diferentes amplificadores operacionales.**

AO	V_{io}
Propósito general	2-10 [mV]
Entrada JFET	1-2 [mV]
Instrumentación	10-100 [μ V]

Corriente de polarización de entrada (I_B)

Aunque las entradas del amplificador ideal no requieren de corriente, en el caso real debe ingresar alguna corriente de polarización en cada terminal de entrada. Esta corriente I_B es la corriente de base del transistor de entrada. Se define I_B como la semisuma de las corrientes de entradas individuales de un amplificador operacional balanceado. La corriente de polarización de entrada se puede modelar como dos fuentes de corrientes de la siguiente forma. Ver figura 58.

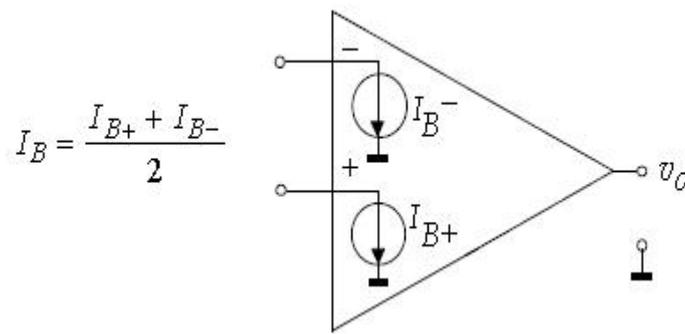


Figura IV.58. Modelación de la corriente de polarización.

Los valores típicos de I_B se indican en la tabla X.

Tabla IV. X. Valores de I_B para diferentes amplificadores.

AO	I_B
Propósito general	2 μ A
Entrada JFET	1 pA
Instrumentación	3-6 nA

DESPLAZAMIENTO DE LA CORRIENTE DE ENTRADA (I_{io})

Este parámetro describe lo bien adaptadas que se encuentran las corrientes de polarización de entrada de un amplificador operacional. Se define como la diferencia de las corrientes de polarización de entrada que debe aplicarse para balancear el amplificador.

$$I_{io} = I_{E+} - I_{E-}$$

Obviamente esto indica que ambas corrientes de polarización son distintas.

Debido a estos detalles técnicos se optó por los circuitos integrados TLC272 y TLC274, los mencionados circuitos integrados son construidos en base a transistores JFET reduciendo de esta manera los desbalances de voltaje y corriente.

Resistencias De Precisión.- Las resistencias de precisión se construyen con carbón, suelen ser al 1% de error y tienen 5 bandas identificadoras del valor.

CONFIGURACIÓN DE LOS AMPLIFICADORES OPERACIONALES.

No inversor.- Como observamos figura 57, el voltaje de entrada, ingresa por el pin positivo, pero como se conoce que la ganancia del amplificador operacional es muy grande, el voltaje en el pin positivo es igual al voltaje en el pin negativo, conociendo el voltaje en el pin negativo puedo calcular la relación que existe entre el voltaje de salida con el voltaje de entrada haciendo uso de un pequeño divisor de voltaje.

$$v_{out} = v_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\text{En donde } \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = G$$

G= ganancia del amplificador no inversor.

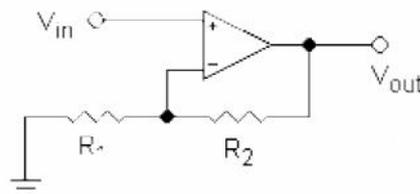


Figura IV.59. **Amplificador no inversor**

Diferencial.- Uno de los amplificadores más útiles para medición, instrumentación o control es el amplificador diferencial. La salida está en función de la diferencia de los dos voltajes de entrada, cualquier señal en modo común quedara automáticamente cancelada. Ver figura 60.

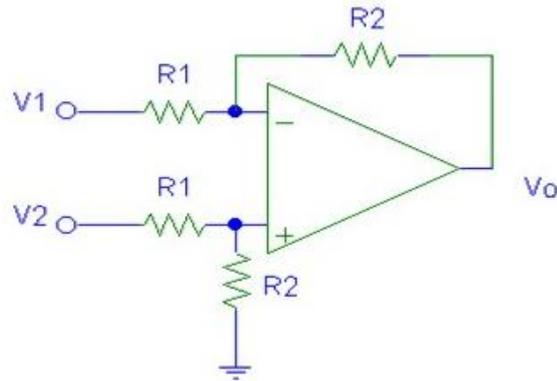


Figura IV.60. **Circuito amplificador diferencial.**

$$V_o = \left(\frac{R_2}{R_1}\right) (V_2 - V_1)$$

En donde la ganancia es: $G = R_2/R_1$

Seguidor de voltaje.- Es aquel circuito que proporciona el mismo voltaje tanto a la entrada como a la salida de una señal. Ver figura 61. Se utiliza generalmente como un adaptador de impedancias (un adaptador de impedancias sirve para poder conectar un circuito con una impedancia alta a otro con impedancia baja y viceversa). Como el voltaje en las dos patillas de entradas es igual: $V_{out} = V_{in}$. La impedancia de entrada es infinita, $Z_i = \infty$, por lo que presenta la ventaja de que la impedancia de entrada es elevadísima, la de salida prácticamente nula (es por eso que se utiliza como un adaptador de impedancias).

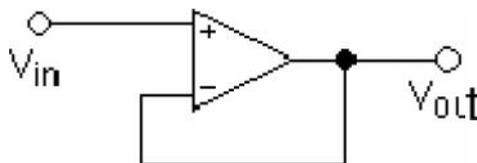


Figura IV.61. **Seguidor de voltaje**

Método utilizado para corregir el desbalance de voltaje.

Con la inyección de pequeños voltajes en el punto de suma, se obtiene un ajuste de desbalance en el amplificador no inversor. Ver figura 62.

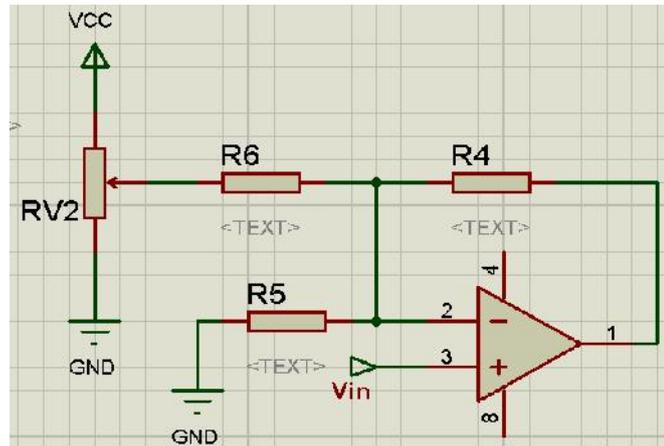


Figura IV.62. Ajuste de desbalance en el amplificador no inversor

Dado que V_{i0} Es dependiente de la temperatura, existe la posibilidad de que el circuito una vez ajustado siga presentando cierto desbalance con la temperatura. No obstante, como el coeficiente de temperatura de V_{i0} suele ser apenas de unos microvolts por grado centígrado, no presenta mayor problema.

Método para corregir la Corriente de desplazamiento de entrada (I_{i0})

El método consiste en introducir un resistor cuyo valor es el paralelo del resistor de entrada (V_-) y su retroalimentación, es decir una resistencia equivalente R_{eq} está conectado en la entrada V_+ . Este criterio se puede aplicar porque los amplificadores operacionales presentan una impedancia de entrada alta. Amplificador no inversor con su circuito de eliminación de corriente (I_{i0}). Ver figura 63.

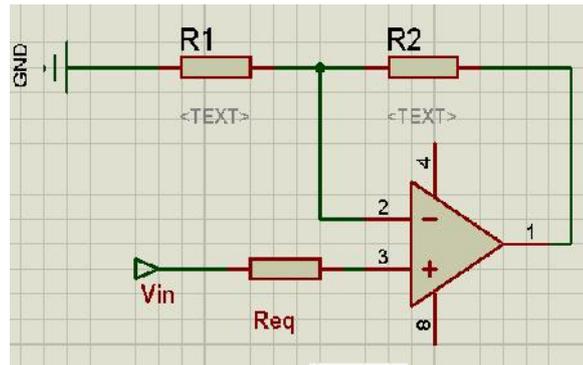


Figura IV.63. Amplificador no inversor de eliminación de corriente I_{io} .

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Los sensores análogos con los que cuentan esta tesis tienen un offset:

4.6.1.4 OFFSET O DESVIACIÓN DE CERO

Es una señal a la salida del sensor sin estar censando ningún valor a la entrada, generando así otro punto de referencia que difiere con el valor real por tal motivo se implementó circuitos que me permita eliminar estos offsets.

Alimentación de los amplificadores operacionales.

Los circuitos integrados TLC 272 con dos amplificadores internos y TLC 274 con 4 amplificadores internos, se alimenta con un voltaje de (0 a 32) Vcc, este valor se resta menos 1.5Vcc a las salidas Vout de los amplificadores, por las características propias del circuito integrado.

Entonces los circuitos integrados se alimentan con 11.5Vcc para que el máximo valor a las salidas de los operacionales sea de 10Vcc, Para cumplir este parámetro se diseñó un circuito el cual va alimentar al circuito integrado, para este fin se utilizó el regulador de voltaje lm317 cuyo rango de voltaje es de (1,5 a 24) Vcc y el siguiente cálculo de resistencias para no exceder los 11.5Vcc. Ver figura 64.

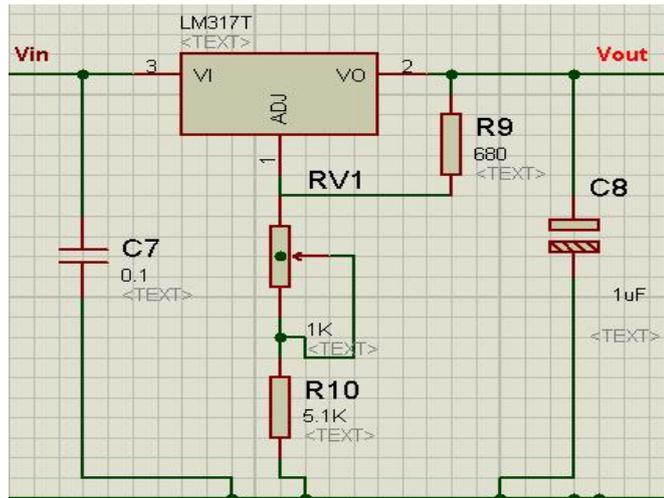


Figura IV.64. Circuito para la fuente

La ecuación para encontrar las resistencias depende del voltaje de salida del regulador por lo tanto es el siguiente:

$$V_{out} = 1.25V_{cc} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{adj}(R_2)$$

Dónde:

R_2 de la fórmula es R_{10} y R_1 de la fórmula es R_9 en la figura 64. Esta fórmula es la que se encontró en la hoja de especificaciones del circuito integrado. En la fórmula se despreció el valor de la corriente de ajuste (I_{adj}) porque cuando tengo $0V_{cc}$ a la entrada, a la salida me da un voltaje de $1.25 V_{cc}$ por las características propias del integrado, en estas condiciones la corriente que debe suministrar debe ser despreciable para evitar daños en el resto del circuito por tal razón se optó en poner una resistencia R_1 de 680Ω .

$$I_{adj} = \frac{1.25V_{cc}}{680\Omega}$$

$$I_{adj} = 2.20mA$$

La corriente es pequeña, por lo que se desprecia el término de la ecuación.

$$R_2 = \frac{V_{out} * R_1}{1.25V_{cc}} - R_1$$

$$V_{out} = 11,5V_{cc}$$

$$R_2 = \frac{11,5V_{cc} \cdot 680\Omega}{1,25V_{cc}} - 680\Omega$$

$$R_2 = 5,6k$$

Para calibrar correctamente el voltaje de salida en 11,5Vcc se optó por colocar un potenciómetro de 1k en serie con la resistencia R_2 de acuerdo al cálculo es un $R=5,6k$, tomando en cuenta una variación de $\pm 5\%$ se puso una $R_2 = 5,1k$ para tener un rango de variación del voltaje, la corriente de salida no será afectada porque está en serie. Los condensadores a utilizar en la entrada y salida son para eliminar la variación de voltaje que pueda existir en el circuito y están de acuerdo a las hojas de especificaciones del mismo integrado. Así se garantiza que el valor máximo a las salidas de los operacionales será de 10Vcc.

Cabe aclarar que las salidas de los operacionales se conectan a las entradas análogas del PLC, estas tienen un rango de 0 a 10Vcc; así se pudo conectar sin riesgo a dañar las entradas análogas.

Acondicionamiento de señales del sensor de presión.

El sensor de presión mide hasta 8 bares convirtiendo esta presión a 5Vcc como valor de salida máximo de voltaje. En el módulo implementado se trabajó con 3,5 bares y su voltaje a la salida es de 2,2Vcc, además el sensor tiene un offset. Datos de acuerdo a la hoja de especificaciones del sensor (**ANEXO 3**).

Fórmula para calcular el offset del sensor.

$$V_{out} = V_s \cdot (0,0012858 \cdot P + 0,04) \pm \text{Error}$$

V_s = voltaje de alimentación del sensor.

P = presión.

Datos:

$V_s = 5V_{cc}$.

P=0.

Valor de error obtenido en la práctica al conectar el sensor.

Error=0.6

$$V_{out} = 0,3V_{cc}$$

El offset a eliminar es de 0,8V_{cc}.

Para calcular el valor de la resistencia adecuada para eliminar este offset se utilizó un divisor de voltaje, donde el offset a eliminar es de 0,8V_{cc}.

Datos para calcular la resistencia.

Voltaje de la fuente (V_f)=11,5V_{cc}.

Voltaje necesario en la resistencia que se calculó (V_{R₂})= 0,8V_{cc}.

Se asume una R= 33k esto debido al valor de voltaje pequeño en la resistencia que se va encontrar.

$$V_{R_2} = \frac{V_f * R_2}{33k + R_2}$$

R₂ despegado y remplazado los valores de voltaje y resistencias.

$$R_2 = \frac{33k * 0,8V_{cc}}{10,7V_{cc}}$$

$$R_2 = 2,4k$$

Para tener un rango de variación de (0,8 a 2,5)V_{cc} se optó por poner un potenciómetro de 5k en serie con R₂ de acuerdo al cálculo es un R₂=2.4k, tomando en cuenta una variación de ± 5% se puso una R₂=3.3k para manejar un rango más elevado ver figura 63. Este rango de voltaje ingresa al amplificador seguidor para conseguir el acoplamiento de señales, entre el offset a eliminar y el voltaje del sensor en el amplificador diferencial. Ver figura 65.

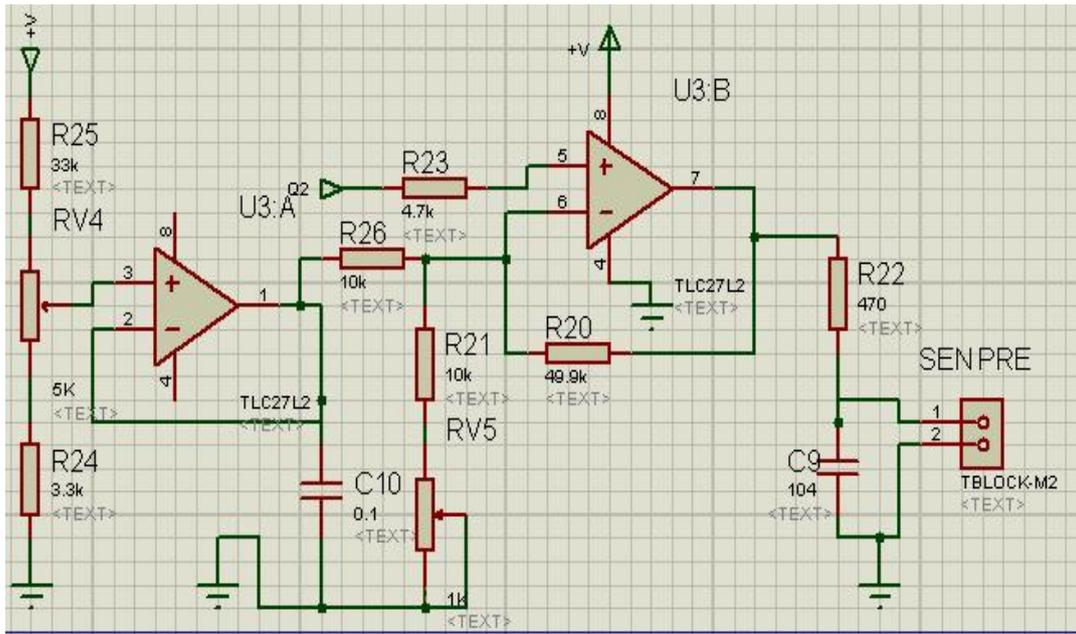


Figura IV.65. **Amplificador seguidor de voltaje y amplificador diferencial**

Se consideró el offset a eliminar de $0,8V_{cc}$ y el voltaje máximo $2,2V_{cc}$ se tiene un rango de $1,4V_{cc}$ que se debe amplificar con una (ganancia) $G=7$ para tener una salida óptima de $10V_{cc}$. Por la existencia de resistencias más comunes se opta por una ganancia de 10 por tal razón se tuvo que incrementar el offset variando la señal del potenciómetro, con esto se consiguió un rango de $1V_{cc}$, entonces al aplicar una $G=10$ tengo $10V_{cc}$ a la salida del amplificador diferencial.

Calculo de resistencias para el amplificador diferencial:

Ecuación de ganancia del amplificador diferencial.

$$G = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

Debido a la alta impedancia de entrada al amplificador operacional y por la necesidad de corrientes bajas en el orden de $1nA$ de acuerdo a las hojas de especificaciones, en las entradas de los operacionales, para que no afecten las perturbaciones se optó por las resistencias de $10k$ además de un potenciómetro de $1k$ en serie con la resistencia

de 10k que se conecta a tierra para eliminar el desbalance de voltaje del operacional como se muestra. Ver figura 66.

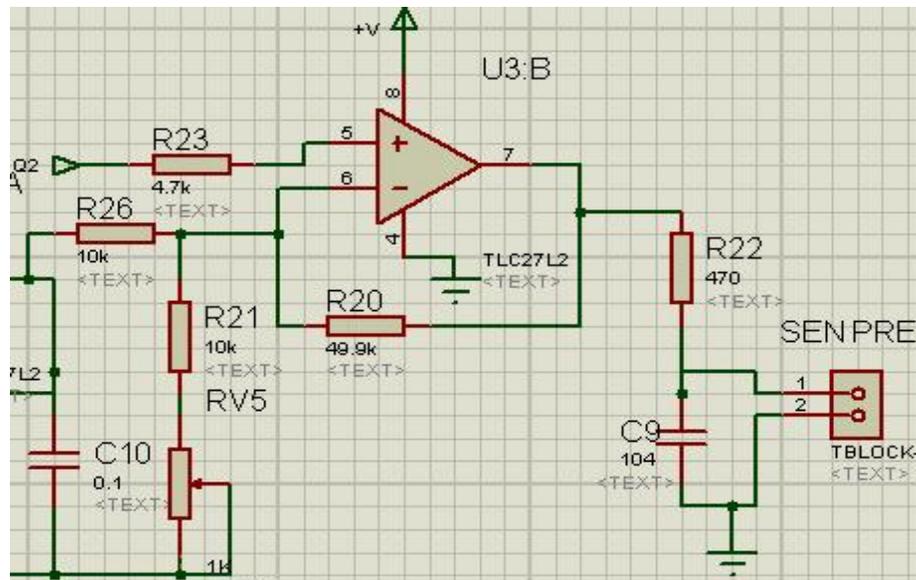


Figura IV.66. Amplificador diferencial

En la entrada V_- del operacional se tiene resistencias en paralelo y para determinar el valor adecuado de la resistencia de retroalimentación, es necesario encontrar el equivalente de estas resistencias.

$$R_1 = \frac{11k * 10k}{21k}$$

$$R_1 = 5.1k$$

Calculo de la retroalimentación.

$$R_2 = GR_1$$

$$R_2 = 10 * 5.1k$$

$$R_2 = 51k$$

Se optó por una resistencia de precisión de 49.9k, ya que esta resistencia es muy importante en la ganancia, y cualquier variación afectaría al resto del proceso. Para eliminar la corriente de desbalance se obtuvo la siguiente $R_{eq} = 4.7k$ para V_+ , además

a la salida de amplificador diferencial se puso un condensador para variación de voltaje que pudieran existir y una resistencia de 470Ω , para limitar la corriente de salida, porque este valor ingresa al PLC y esta entrada soporta corrientes muy bajas en el orden de los mA.

4.6.2 MEDIDOR

Es el dispositivo que se encarga de medir la cantidad de presión que se encuentra en la válvula. El sensor de fuerza (Ver figura 67) es capaz de transformar las magnitudes físicas en señales eléctricas, estas señales son enviadas al controlador para determinar la presión real. Si la presión de referencia (Setpoint) es aproximadamente igual a la presión real en el proceso; esto quiere decir, que no hay necesidad de aumentar o disminuir la presión pero si no ocurre esto, el controlador activa automáticamente a la válvula proporcional para que esta permita mayor o menor cantidad de presión y así lograr que la presión de referencia y real sean aproximadamente las mismas. La estructura interna y el funcionamiento del sensor se describe en el capítulo 2 y sus especificaciones se encuentran en el **ANEXO 2**.



Figura IV. 67. **Sensor de fuerza**

La señal resultante del sensor está dada en milivoltios, esto es debido a las características propias del sensor por lo tanto es necesario realizar un circuito

llamado amplificador de instrumentación para acondicionar la señal resultante del sensor.

Acondicionamiento de señales del sensor de fuerza.

La señal resultante del sensor está dada en milivoltios, esto es debido a las características propias del sensor por lo tanto fue necesario realizar un circuito llamado amplificador de instrumentación para acondicionar la señal resultante del sensor.

Amplificador de instrumentación basado en dos amplificadores operacionales

Se denomina amplificador de instrumentación a todo circuito que posea simultáneamente: alta impedancia de entrada; alto rechazo del modo común CMRR; ganancia estable, voltaje y corriente de desequilibrio (offset) bajas e impedancia de salida también baja. Para cumplir con dichos parámetros se tiene las siguientes igualdades $R3=R1$ y $R4=R2$, En donde $R3$ es una resistencia baja y $R4$ una resistencia alta. Ver figura 68.

CMRR.- Es el bloque colocado a las perturbaciones externas del circuito que permiten la amplificación de los valores a la entrada del circuito.

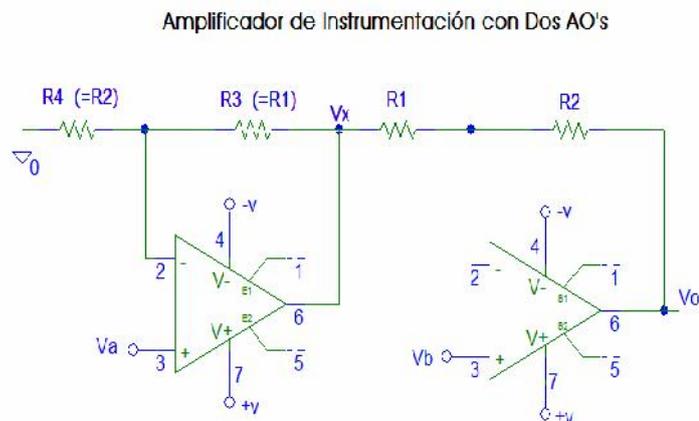


Figura IV.68. Amplificador de instrumentación con dos AO.

La señal del sensor está en un rango de 2.5 a 4mV, entonces se desea amplificar con una ganancia de 500, con este dato se calculó la resistencia para obtener la mencionada ganancia. La fórmula para la ganancia del amplificador es:

$$G = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$G = 500$$

Dónde:

R_1 Para cumplir con las normas de un amplificador de instrumentación se asumió 100Ω para calcular la resistencia R_2 .

$$R_1 = 100\Omega$$

$$R_2 = R_1(G - 1)$$

$$R_2 = 100(500 - 1)$$

$$R_2 = 49500$$

Al no existir resistencias de 49500Ω en el mercado, se utilizó la más común.

$$R_2 = 49.9k$$

Cabe aclarar que esta resistencia es de precisión debido a que esta resistencia es muy importante en la ganancia y cualquier variación afectaría al resto del proceso, además con una $R_{eq} = 560$ para eliminar la corriente de desbalance.

Después de hacer las pruebas se determinó la existencia de un offset en el sensor.

Eliminación del offset en el sensor de fuerza.

El offset a eliminar es de $1.2V_{cc}$.

Con la ayuda de un divisor de voltaje se calculó el valor de la resistencia para este voltaje.

Datos:

Voltaje de la fuente (V_f):

$11.5V_{cc}$.

Voltaje necesario en la resistencia que se calculó (V_{R_2}):

$1.2V_{CC}$.

Se asume una resistencia de 33k esto debido al valor de voltaje pequeño en la resistencia que se va encontrar.

$$V_{R_2} = \frac{V_f * F_2}{33k + R_2}$$

R_2 despegado y remplazado los valores de voltaje y resistencias.

$$R_2 = \frac{33k * 135V_{CC}}{10.15V_{CC}}$$

$$R_2 = 4.4k$$

Para tener un rango de variación y calibración de 1 a $2.5V_{CC}$ se opto por poner un potenciómetro de 10k en serie con R_1 , de acuerdo al cálculo es un $R_2=4.4kk$, tomando en cuenta una variación de $\pm 5\%$ se puso una además en base al resultado de R_2 se opto por una de 10k para manejar un rango más adecuado de voltaje. Ver figura 69.

Este rango de voltaje ingresa al amplificador seguidor para conseguir el acoplamiento de señales, entre el offset a eliminar y el voltaje del sensor en el amplificador diferencial. Ver figura 69.

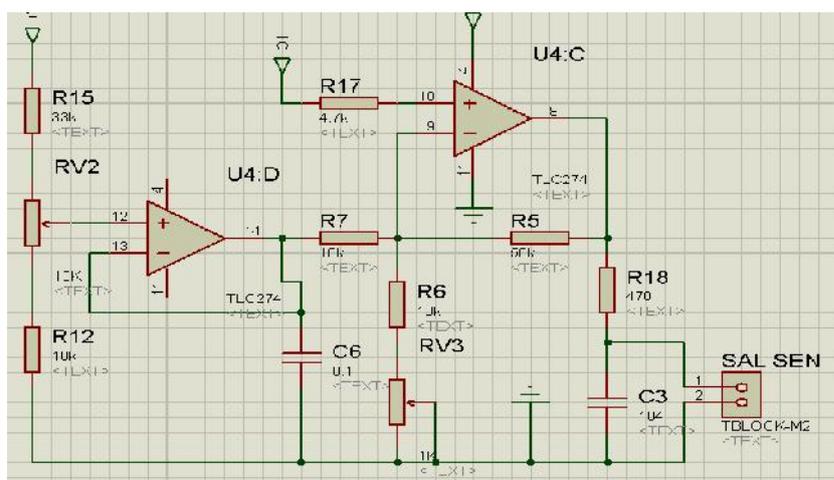


Figura IV.69. Amplificador seguidor de voltaje y amplificador diferencial

Considerando el offset a eliminar de $1,2V_{cc}$ y el voltaje máximo $2V_{cc}$ se tiene un rango de $0,8V_{cc}$ que se debe amplificar con una ganancia de 12 para tener una salida aproximada de $10V_{cc}$. Por la existencia de resistencias más comunes y el rango de (0 a 4) V_{cc} a la entrada en el controlador se opta por una ganancia de 10, entonces al aplicar una ganancia de 10 tengo $8V_{cc}$ a la salida del amplificador diferencial.

Cálculo de resistencias del amplificador diferencial.

Es el mismo cálculo que se realizó para el sensor de presión (Ver pág. 93-94).

Diseño de PCB (Printed circuitboard)

El diseño de las placas del circuito se realizó en el programa Proteus 7.2 Profesional, que permite diseñar circuitos electrónicos y sus respectivas placas de circuito impreso.

Se procedió al diseño de los circuitos dando como resultado: Ver figura 70.

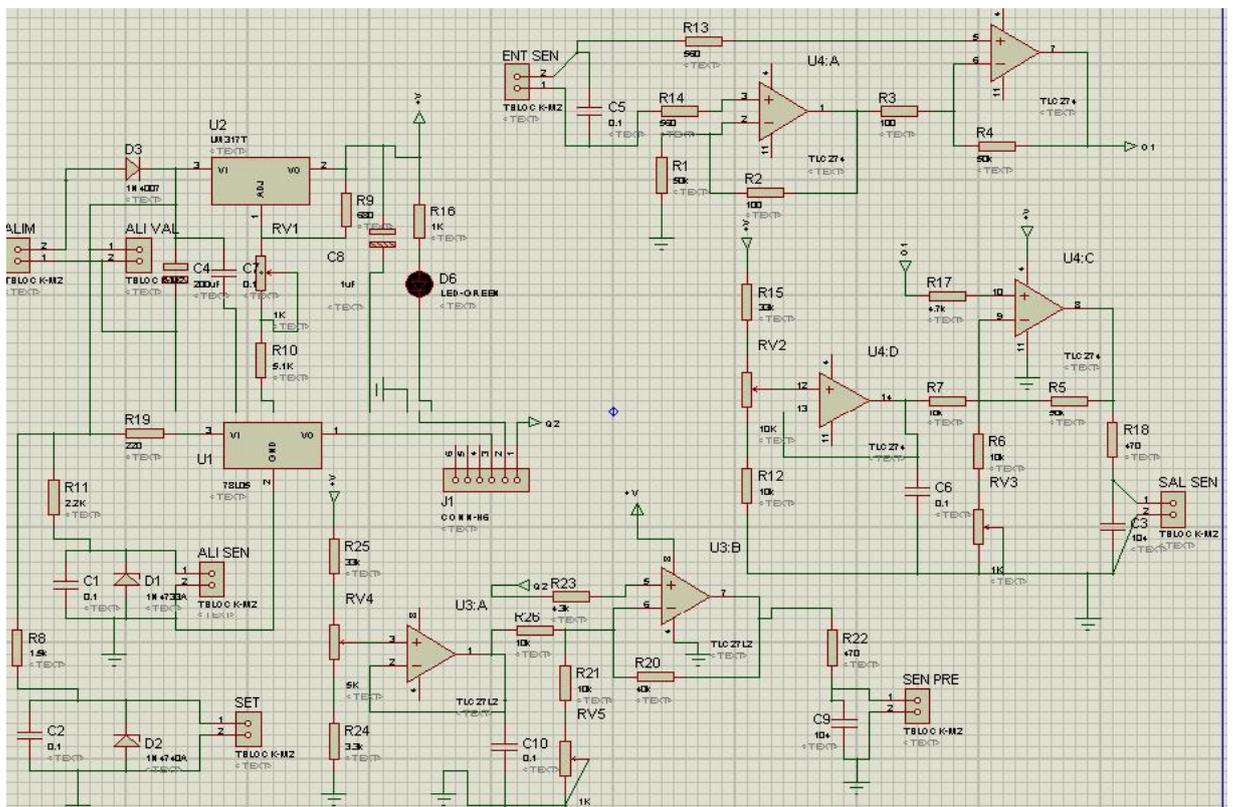


Figura IV. 70. Diagrama esquemático del circuito de acondicionamiento de señales y el circuito amplificador de instrumentación.

Ares.- Es una herramienta de Proteus útil para la obtención del diseño del circuito. Ver figura 71.

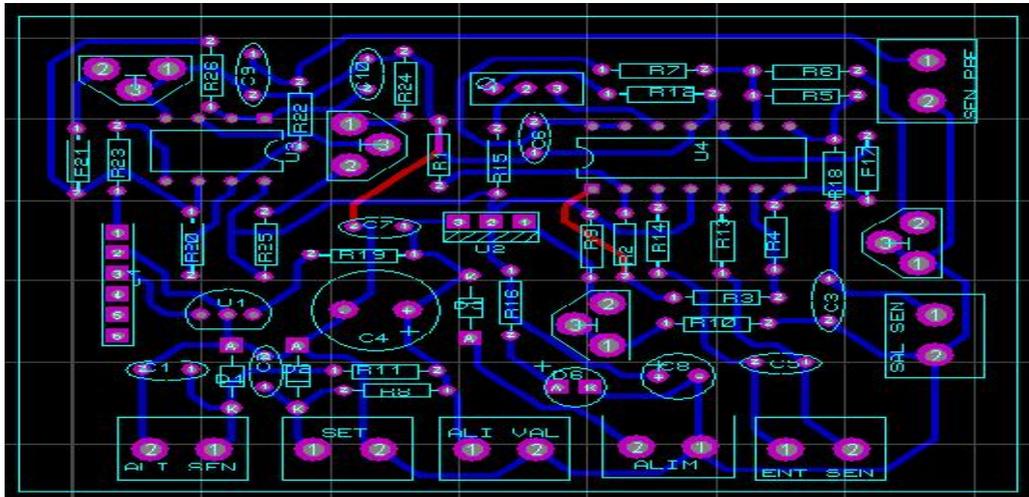


Figura IV. 71. Diseño del PCB del circuito de acondicionamiento de señales y el circuito amplificador de instrumentación.

Implementación del driver para el módulo.



Figura IV. 72. Implementación del circuito con todos sus elementos

4.7 DESARROLLO DEL PROGRAMA PLC PARA EL CONTROL DE LOS PROCESOS

Para programar el PLC tenemos que identificar las entradas y salidas del proceso.

4.7.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ENTRADAS

Es primordial realizar la identificación de las entradas para recibir las señales que proceden de los sensores y los comandos manuales.

Tabla IV. XI. Identificación entradas

MARCA	DIRECCION
START	I0.0
STOP	I0.2
SELECT	I0.3
ENTRADA	
SENSOR	IW64
SETPOINT	IW66

4.7.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS SEÑALES DE SALIDA

Se debe realizar la identificación de las señales de salida que proceden del PLC hacia los actuadores.

Tabla IV. XII. Identificación salidas

MARCA	DIRECCIÓN
LED PID	Q0.0
VAL	Q0.1
VAL-PRO	Q0.2
SALIDA PID	QW10

4.8 PROGRAMACIÓN DEL PLC

En el desarrollo de la tesis "IMPLEMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA SIMULACIÓN DEL CONTROL PROPORCIONAL NEUMÁTICO DE PRESIÓN" se realizó de la siguiente manera: Colocar manualmente la señal de referencia (Setpoint), que en este proyecto es la presión, este valor lo medimos con el sensor de presión para obtener una señal eléctrica la cual ingresa al PLC, el mismo que determina la señal eléctrica que debe ser enviada a la válvula proporcional para que en el cilindro este la presión que se puso en la referencia. El PLC verifica si la presión del cilindro se aproxima a la presión de referencia, para lo cual se utilizó el sensor de fuerza. Este dispositivo envía una señal eléctrica al PLC, donde se compara si la señal eléctrica de referencia con la señal del cilindro son próximas entre sí, cerrando así el lazo del sistema de control.

Se puede decir que estas dos señales no son iguales porque existen pérdidas de presión en el sistema por las características propias del aire, es así que el sistema de control de lazo cerrado trata de reducir al mínimo el error que existe, por tal motivo se utiliza el término de aproximación.

4.8.1 DESCRIPCIÓN DEL PID COMPACT

El objeto tecnológico "PID_Compact" proporciona un regulador PID con autoajuste optimizador para los modos automático y manual. El objetivo de este proyecto no es el estudio del PID sino una demostración del control proporcional de presión, por tal motivo se utilizó el modo autoajuste optimizador automático, aclarando que el PID compact es propio de la marca Siemens.

Funcionamiento del PID compact.

El regulador PID registra de forma continuada la señal de referencia que junto con la señal real forman un lazo de regulación. A partir de la desviación de regulación

resultante, el regulador PID calcula una magnitud para compensar la desviación y así alcanzar el valor de referencia con la máxima rapidez y estabilidad. En los reguladores PID el valor calculado para la desviación se compone de tres partes o acciones que son:

➤ **Acción P**

El valor calculado por la acción P de la magnitud manipulada es proporcional a la desviación de regulación.

➤ **Acción I**

La acción I de la magnitud manipulada se calcula mediante integración, aumenta con la duración de la desviación de la regulación y finalmente compensa dicha desviación.

➤ **Acción D**

La acción D (acción diferencial) del regulador PID aumenta según crece la velocidad de variación de la desviación de regulación. La magnitud regulada se iguala lo más rápidamente posible con la señal de referencia. Si la velocidad de variación de la desviación de regulación vuelve a reducirse, también lo hace la acción D.

4.8.2 PROGRAMACIÓN DEL PID COMPACT

Para programar el PID compact se debe tener en cuenta los siguientes parámetros.

- Configurar correctamente la entrada Setpoint, porque los datos los reciben en formato real, por definición los valores reales tienen un formato de 32 bits y a la entrada del PLC se tiene valores en formato de tipo Word de 16 bits la cuales hay que transformar a variables de 32 bits.
- La entrada Input_per no tiene ningún inconveniente porque los valores de entrada del PLC son los mismos que necesita esta entrada.

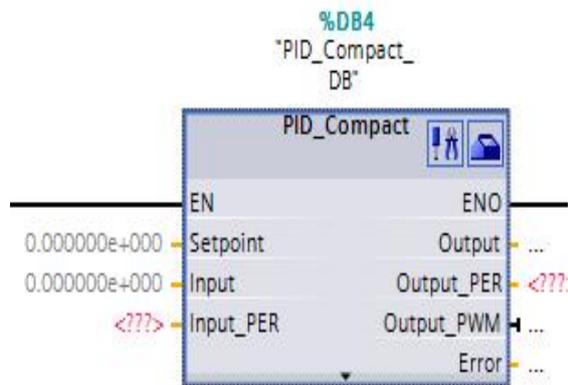


Figura IV. 73. Bloque PID compact entradas Setpoint, input_per

4.8.3 PROGRAMACIÓN DE BLOQUES ADICIONALES PARA LA TESIS.

Configuración del bloque CONVERT.

Para configurar el bloque CONVERT, sacar el convertor al main principal para esto ir a la paleta de instrucciones y buscar convertidores. Ver figura 74.



Figura IV. 74. Ubicación de convertidores

Desplegar la pestaña y ubicar el bloque CONVERT, Arrastrar al main principal. Ver figura 75.

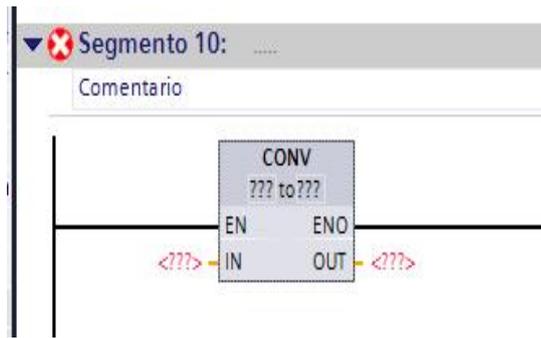


Figura IV. 75. **Conversor en el main principal**

Para configurar la entrada dar clic en la pestaña con incógnitas sobre el bloque en la parte izquierda, luego escogemos el tipo de datos que está ingresando a este bloque. Ver figura 76.

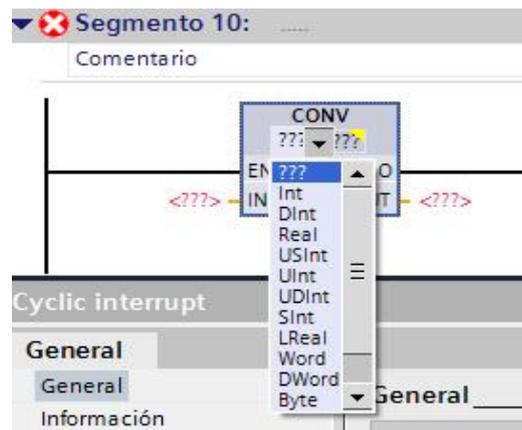


Figura IV. 76. **Configuración de tipo de dato de entrada**

Como ejemplo se toma el dato de entrada como Word. Ver figura 77.



Figura IV. 77. **Tipo de dato Word configurado**

Ahora para configurar la salidas dar clic sobre el bloque en las incógnitas en la parte derecha, elijo el tipo de datos al cual quiero que se transforme. Ver figura 78.

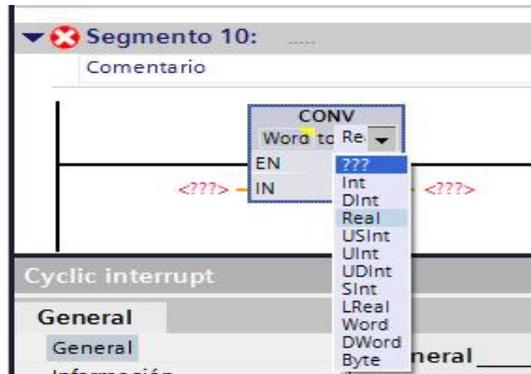


Figura IV. 78. Configuración de tipo de dato de salida

Como ejemplo se toma el tipo de dato de salida como real. Ver figura 79.

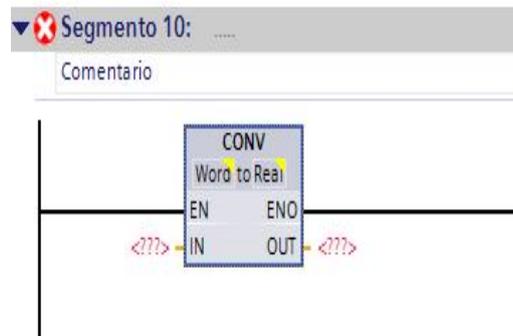


Figura IV. 79. Configuración completa de los tipos de datos del bloque

Configurado la entrada y la salida del bloque, faltaría direccionar la entrada IN y la salida OUT, esto depende de las marcas del programa.

Configuración del bloque de funciones matemáticas.

Sacar el bloque que se necesita al main principal, para esto ir a la paleta de instrucciones y buscar funciones matemáticas. Ver figura80.

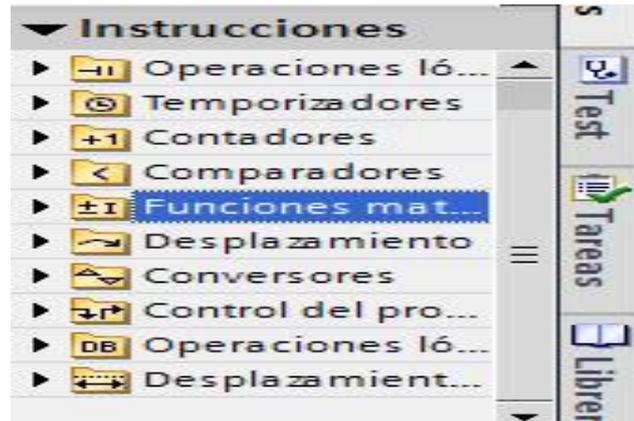


Figura IV. 80. Ubicación de funciones matemáticas

Desplegar la pestaña ubicar el bloque y arrastrar al main principal. Ver figura 81.

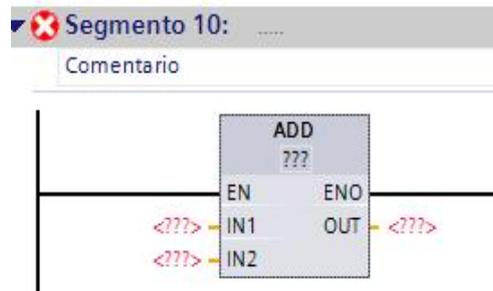


Figura IV. 81. Bloque de suma en el main principal

Para configurar el tipo de operación dar doble clic sobre el bloque, en ADD desplegándose las opciones que este bloque posee, entre esas está sumar, restar, multiplicar, dividir entre otros. Ver figura 82.



Figura IV. 82. Configuración del tipo de operación matemática

Para configurar el tipo de dato para las operaciones dar clic en las incógnitas. Ver figura 83.

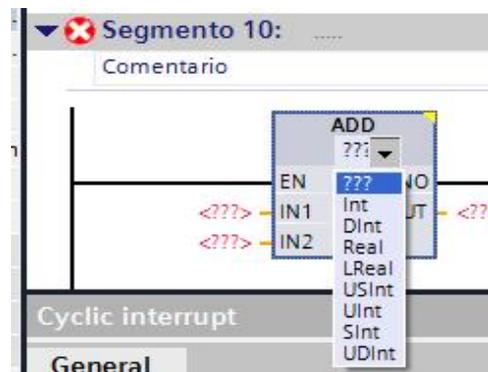


Figura IV. 83. Configuración del tipo de dato para las operaciones

Para este ejemplo se eligió la suma como operación del bloque y el tipo de dato Real. Ver figura 84.

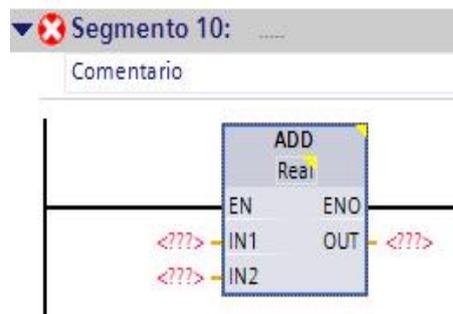


Figura IV. 84. Configuración completa del bloque

Configurado la operación y el tipo de dato del bloque, faltaría direccionar la entrada IN1, IN2 y la salida OUT, esto depende de las marcas que se utilice en el programa.

Configuración de bloque PID compact.

STEP 7 BASIC

Para el STEP 7 BASIC se debe:

- Crear un circuito de autoretenición y
- Crear un segmento simple en el programa de usuario

Para habilitar el circuito de autoretención utilice un contacto normalmente abierto, dicho contacto hace que la corriente fluya al activar el interruptor. Haga clic en el contacto normalmente abierto en los "Favoritos" para insertarlo en el segmento. Ver figura 85.

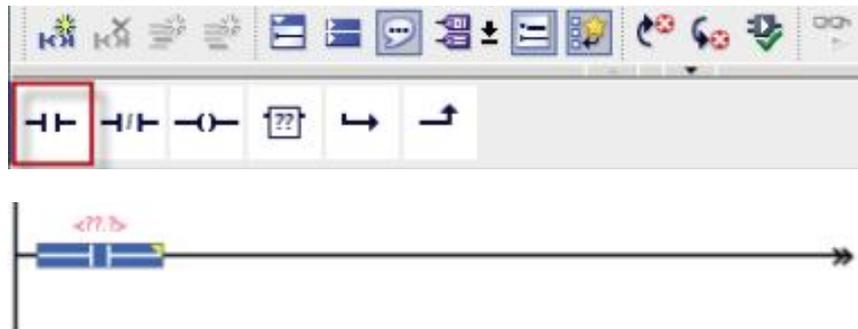


Figura IV. 85. **Insertar un contacto normalmente abierto**

Para deshabilitar el circuito cerrojo se debe utilizar un contacto normalmente cerrado, este permite que la corriente fluya hasta que se active el interruptor. Activando un contacto normalmente cerrado se interrumpe el flujo de corriente.

Haga clic en el contacto normalmente cerrado en los "Favoritos" para insertarlo en el segmento. La corriente fluye entre los dos contactos para excitar la bobina. Haga clic en la bobina para insertarla en el segmento. Para que la bobina permanezca activada tras soltar el interruptor "On", se crea una rama paralela.

1. Seleccione la barra de alimentación del segmento.
2. Haga clic en "Abrir rama" en los "Favoritos" para abrir una rama desde la barra de alimentación.

Haga clic en el contacto normalmente abierto en los "Favoritos" para insertarlo en la rama. Ver figura 86.

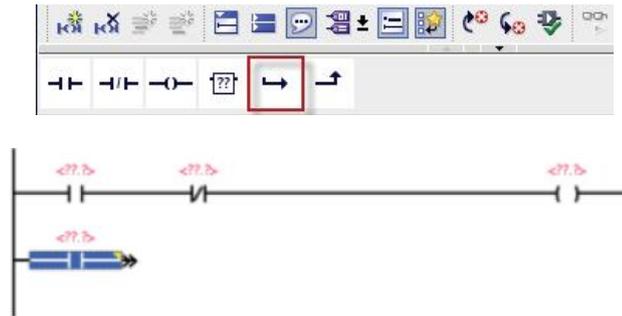


Figura IV. 86. **Insertar un contacto normalmente abierto en otra rama**

Cierre la rama arrastrando el final hasta el segmento. Ver figura 87.

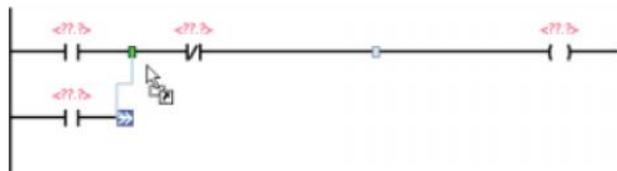


Figura IV. 87. **Cierre de rama**

Conectando la rama entre los dos contactos se aseguran las siguientes condiciones:

- La corriente puede fluir hasta la bobina tras soltarse (desactivarse) el primer interruptor.
- El contacto normalmente cerrado puede interrumpir el circuito y desactivar la bobina.

¿Cómo guardar el proyecto?

Haga clic en el botón "Guardar proyecto" de la barra de herramientas para guardar los ajustes realizados. A continuación puede proceder a crear "variables" para asignarlas instrucciones del programa de usuario a las entradas y salidas del programa de usuario.

Introducir las variables y direcciones para las instrucciones.

El siguiente paso consiste en asignar los contactos y bobinas a las entradas y salidas de la CPU. Para estas direcciones se crean "Variables PLC", siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

1. Seleccione el primer contacto y haga doble clic en el operando ("`<??.>`").
2. Introduzca la dirección "I0.0" para crear una variable predeterminada para esta entrada. Ver figura 88.



Figura IV. 88. **Introducir variable y dirección a la instrucción**

3. Introduzca la dirección "I0.1" para el contacto normalmente cerrado.
4. Introduzca una dirección de una salida ("Q0.0") para la bobina.

El nombre predeterminado de la variable creado por STEP 7 Basic se puede cambiar fácilmente. Para ello, haga clic con el botón derecho del ratón en la instrucción (contacto o bobina) y elija el comando "Cambiar nombre de la variable" del menú contextual. Ver figura 89.

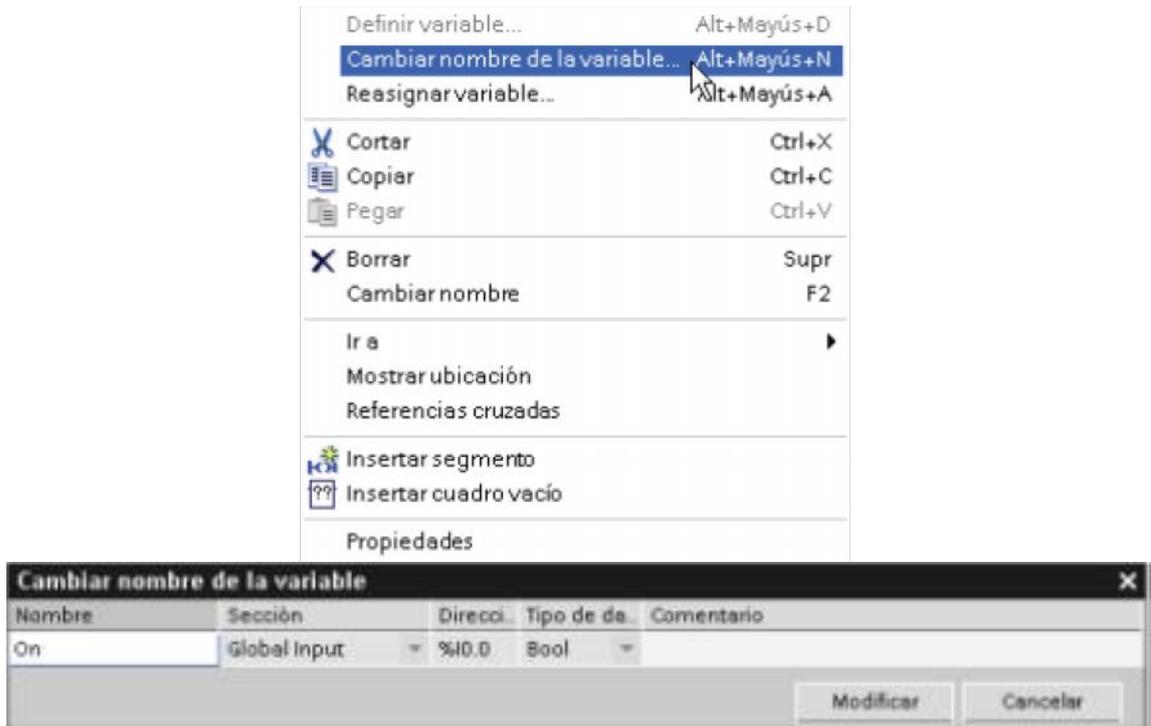


Figura IV. 89. **Cambiar nombre de la variable**

Introduzca los nombres siguientes para las tres instrucciones:

- Cambie "Tag_1" (I0.0) a "On".
- Cambie "Tag_2" (I0.1) a "Off".
- Cambie "Tag_3" (Q0.0) a "Run".

STEP 7 Basic guarda las variables en una tabla de variables. La dirección de la variable se puede introducir directamente desde la tabla de variables en la instrucción.

A continuación se indican los pasos para introducir la dirección de las variables:

1. Seleccione el contacto en la rama.
2. Haga clic en el icono próximo al campo, o bien teclee una "r" o una "o" para visualizar las entradas de la tabla de variables.
3. Seleccione "Run" en la tabla de variables. Ver figura 90.

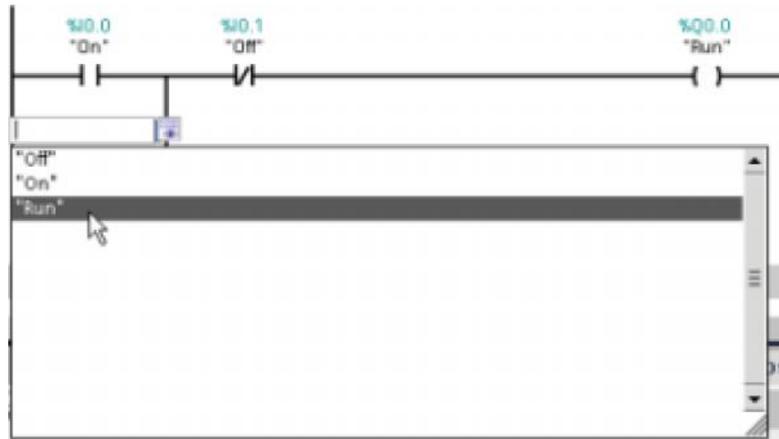


Figura IV. 90. **Introducir la dirección a la variable directamente desde la tabla de variables**

El circuito de autoretenición está terminado, entonces haga clic en el botón "Guardar proyecto" de la barra de herramientas para guardar los ajustes realizados.

4.8.4 CONFIGURACIÓN DEL PID COMPACT

Para configurar el bloque PID compact primero agregamos el bloque de interrupción cíclica desde el árbol del proyecto en la opción agregar nuevo bloque. Ver figura 91 y 92.

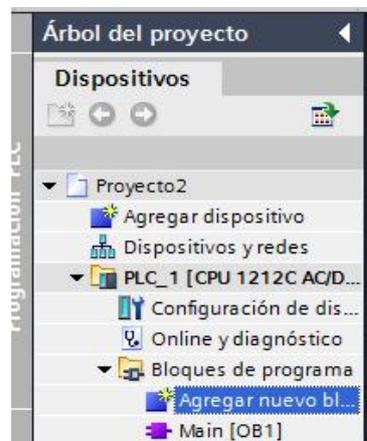


Figura IV. 91. **Localización del bloque de interrupción cíclica**

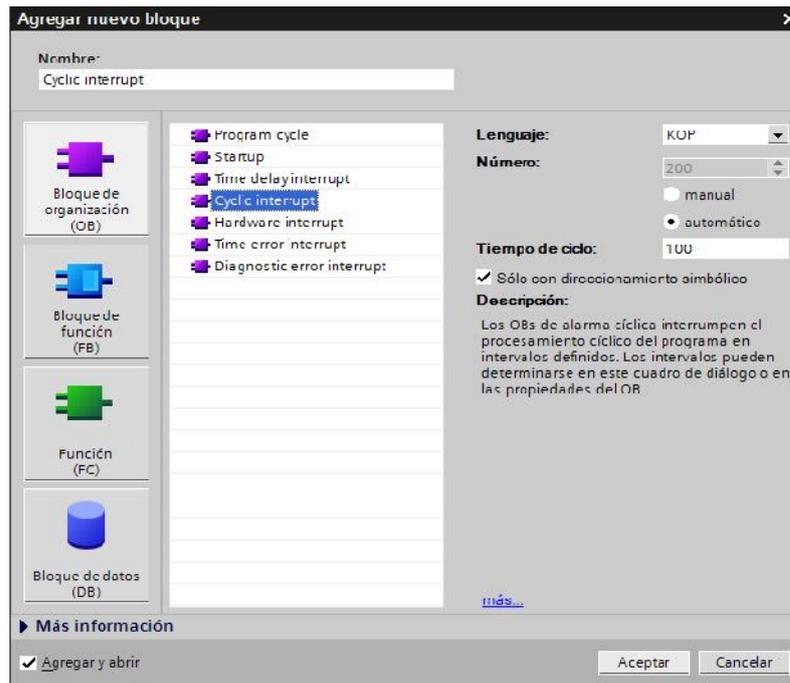


Figura IV. 92. **Parámetros del bloque de interrupción cíclica**

Ahora nos vamos instrucciones avanzadas para para cargar el bloque PID compact dentro del ciclo de interrupcion ciclica. Ver figura 93.



Figura IV. 93. **Localización del PID compact**

El bloque PID compact posee un bloque de datos interno propio para almacenar los datos del PID. Ver figura 94.

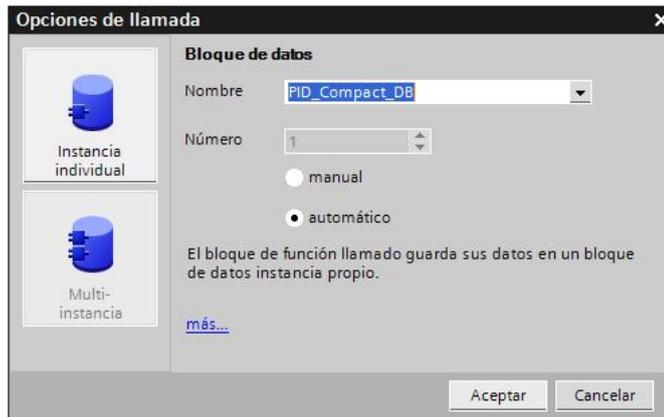


Figura IV. 94. Configuración del bloque de datos para el PID compact

Colocación de los nombres de entradas y salidas en el bloque PID compact. Ver figura 95.

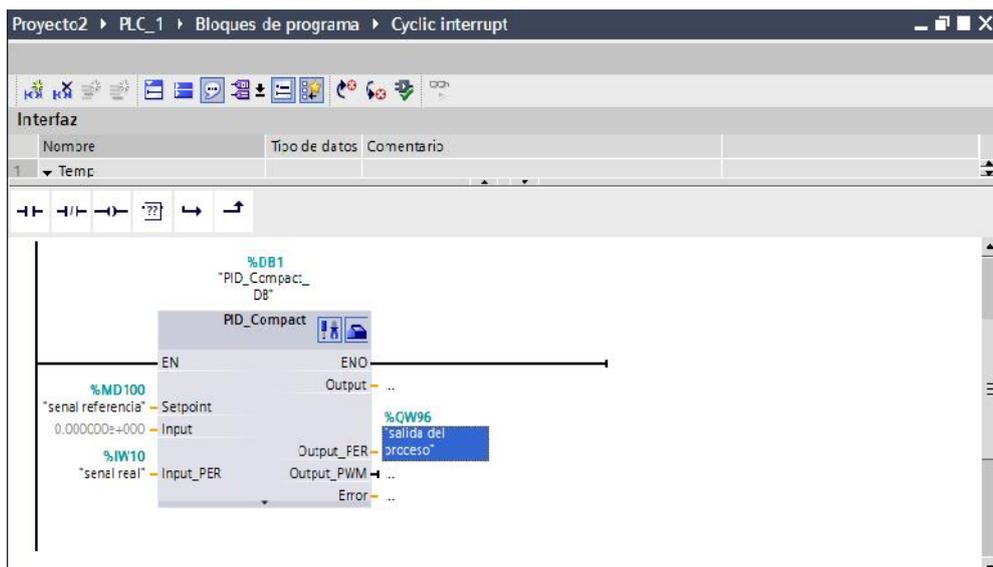


Figura IV. 95. Configuración de entradas y salidas del bloque PID compact

4.8.5 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA PARA LA TESIS.

En el segmento 1 al pulsar la entrada %I0.0 (START) activo la salida %Q0.0 (LED PID), %Q0.1 (ELECTRO), %Q0.2 (ELEC_PRO) y la marca %M0.5 (PID ACTIVO), La entrada %I0.1 (STOP) desactiva el proceso, la entrada %I0.2 (SELEC) es para indicar si el PID está activo o no y permitir las conversiones de la entrada análoga %IW66

(SET POINT) de tipo Word a Real, en el segmento 2 se realiza estas conversiones.

Ver figura 96.

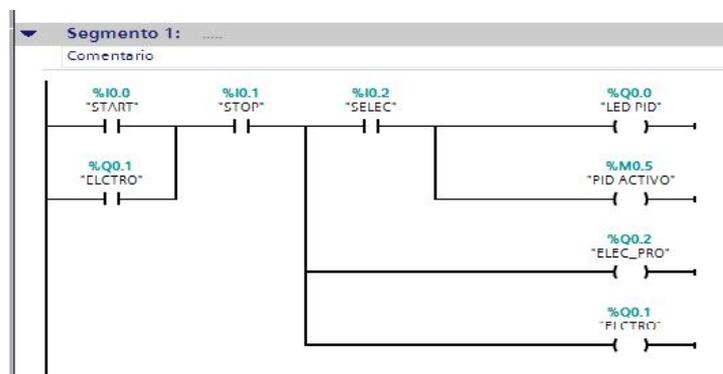


Figura IV. 96. **Activación del proceso**

Segmento 2 con la marca %M0.5 (PID ACTIVO) activada realiza la conversión de Word a Real, las razones de esta conversión se explicaron en la programación del PID Compact para esto se utilizó el bloque CONVERT, si la conversión ha terminado se activa la marca %M30.0 para permitir la división del valor convertido a Real.

La razón de esta división es porque el bloque PID Compact se configuró para presión en un rango de (0 a 3,5) bares. Y la entrada en el setpoint del bloque PID Compact debe estar en ese rango.

Por otro lado tenemos el valor de entrada %IW66 que está comprendido en un rango de 0 a 1000000 después de la conversión a real. Dicho esto, la entrada %IW66 debe tomar valores entre 0 y 35000. Por tal razón se procedió a dividir para 10000 consiguiendo así que la entrada %IW66 esté en el rango que necesita el setpoint del bloque PID Compact. El resultado de esta operación se almacena en %MD150 (ENTR SET POINT AL PLC). Ver figura 97.

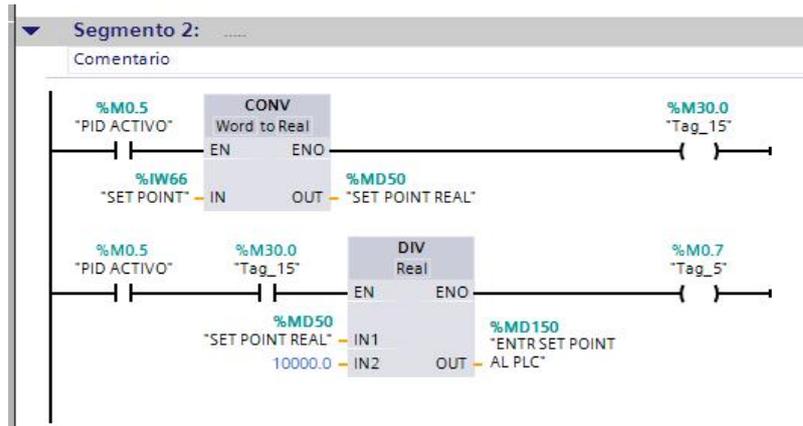


Figura IV. 97. Conversión y división del valor de %IW66

Segmento 3 cuando la entrada %I0.2 (SELECT) se desactiva, asignación de cero a la a %MD150. Ver figura 97.

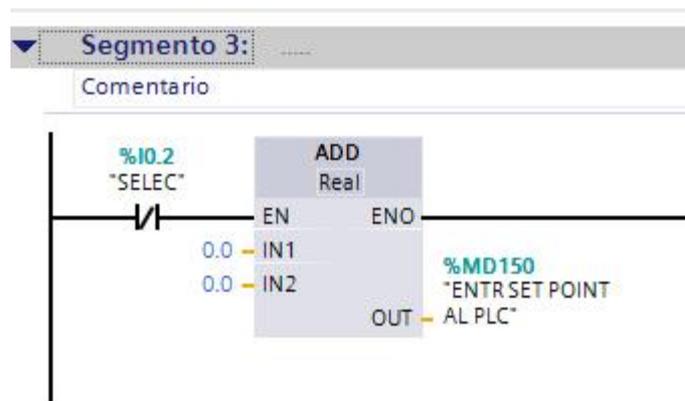


Figura IV. 98. Asignación de valor cero al Setpoint

Segmento 4 bloque PID Compact con las entradas %MD150 (ENTR SET POINT AL PLC), %IW64 (ENTRADA SENSOR), y la salida %MW20 (SALIDA INTERMEDIA) se consiguió con esto el lazo cerrado, setpoint en la entrada %MD150, señal del proceso en la entrada %IW64 y la salida del proceso en %MW20. Además la marca %MD200 para observar los errores que producen el estado inactivo del bloque PID Compact. Ver figura 99.

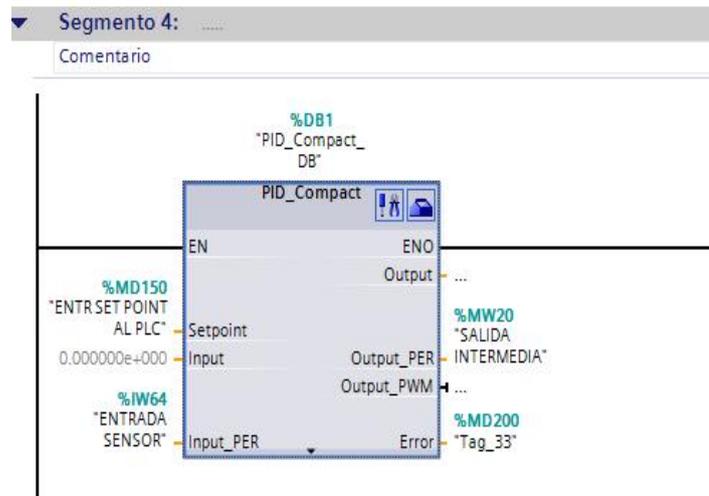


Figura IV. 99. Configuración completa del bloque PID Compact

De acuerdo a las hojas de especificaciones de la válvula proporcional trabaja en el rango de (1 a 5) Vcc y la presión de (0 a 8) bares (**ANEXO 1**).

En esta tesis se trabajó con un rango de presión de (0 a 3,5) bares, esto debido a las características del sensor de fuerza. Entonces el rango de voltaje es de 1 a 2,75Vcc, por esta razón se aplica un algoritmo al programar, además se aclara que la salida %QW10 del controlador es de (0 a 10) Vcc, debiendo controlar este rango y así evitar daños en el resto del sistema. Ver figura 100.

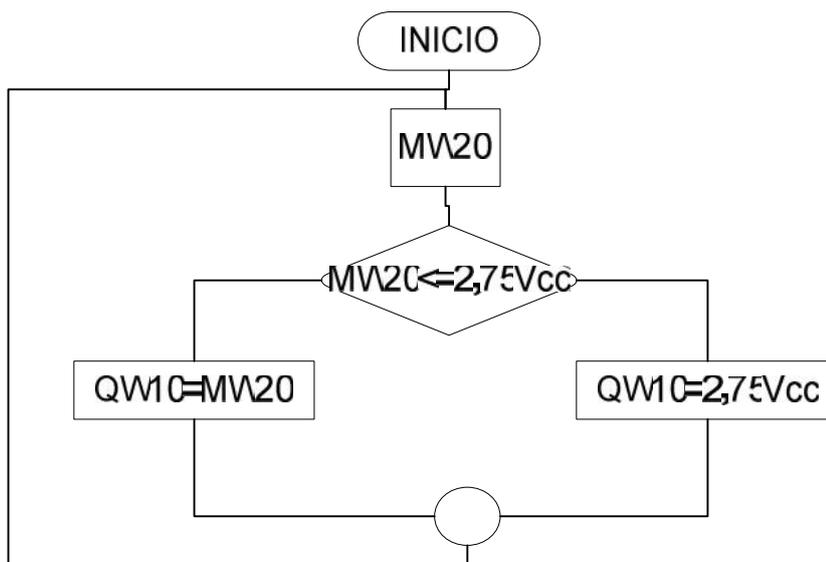


Figura IV. 100. Algoritmo para salida del controlador

Con el algoritmo controlo que la salida del %QW10 maneje un rango de 0 a 2,75Vcc segmento 5 comparación de % MW20<=2,5Vcc. Ver figura 101.

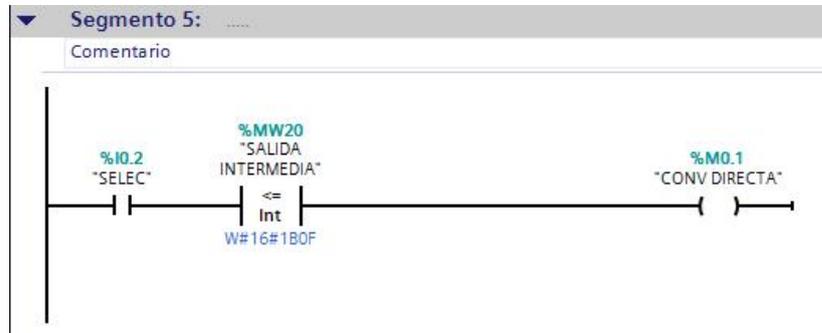


Figura IV. 101. Control para evitar valores que altos de voltaje

Segmento 6 si el valor de %MW20 es menor que 2,5Vcc asigno lo que tiene %MW20 a la salida %QW10 para la válvula proporcional. Ver figura 102.

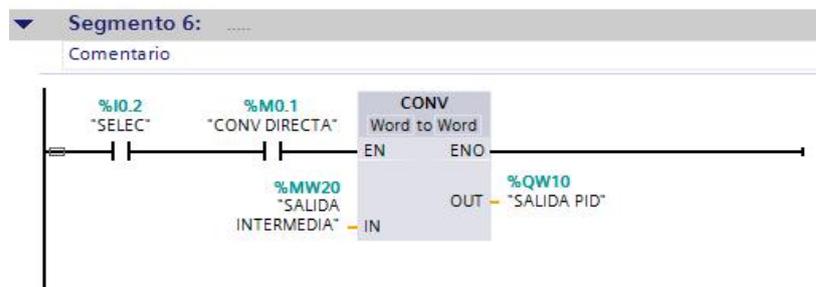


Figura IV. 102. Asignación de la salida del bloque PID Compact a la marca externa

Segmento 7 si el valor de %MW20 es mayor a 2,5Vcc, mantengo en 2,5Vcc en %QW10.Ver figura 103.

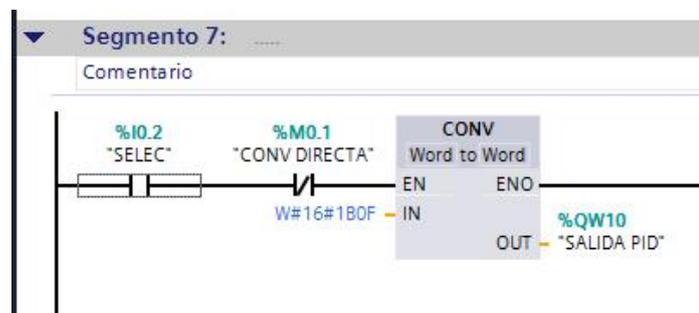


Figura IV. 103. Asignación de valor fijo cuando supera el control de 2,5Vcc

4.8.6 MODO DE OPERACIÓN "AUTOAJUSTE DE PRIMER ARRANQUE"

A continuación se describe cómo realizar el "Autoajuste de primer arranque" en la ventana de puesta en marcha del objeto tecnológico "PID Compact".

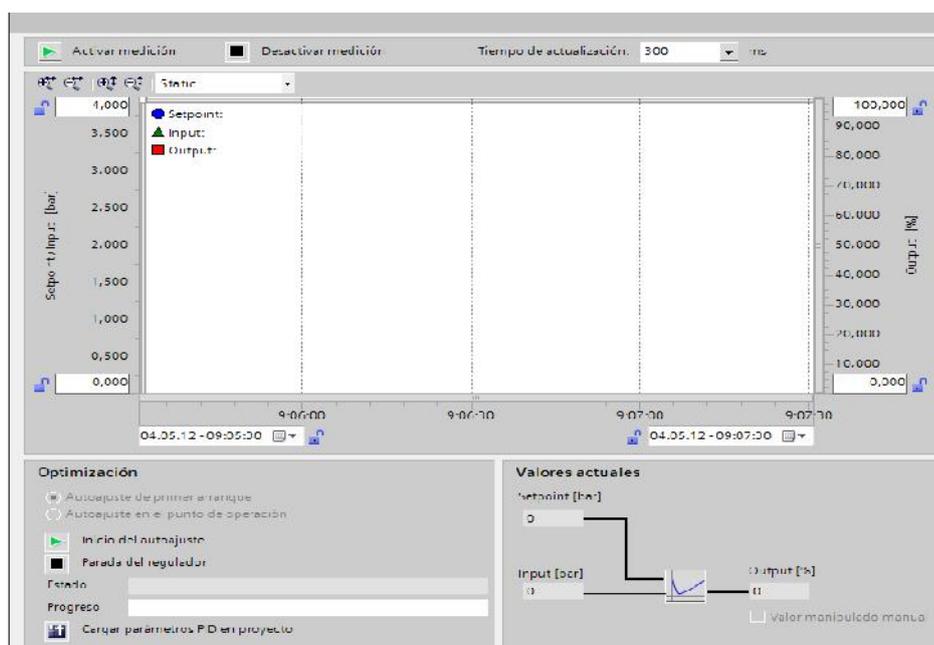


Figura IV. 104. Ventana puesta en marcha del bloque PID Compact

Requisitos

- La instrucción "PID Compact" se llama en un OB de alarma cíclica.
- Hay establecida una conexión online con la CPU y ésta se encuentra en el estado operativo "RUN".
- Las funciones de la ventana de puesta en marcha se han habilitado con el botón "Medición on".
- La casilla de verificación "Valor manipulado manual" está desactivada.
- El valor de consigna y el real se encuentran dentro de los límites configurados.
- La diferencia entre el valor de consigna y el real es $> 50\%$

Procedimiento

Para realizar el "Autoajuste de primer arranque", proceda del siguiente modo:

1. Seleccione la opción "Autoajuste de primer arranque" en el área "Optimización" de la ventana de puesta en marcha.
2. Haga clic en el botón "Inicio del autoajuste".

Se inicia el autoajuste. En el campo "Estado" se muestran los pasos actuales y, de haberlos, los fallos ocurridos. La barra de progreso muestra el progreso del paso actual.

Nota

Haga clic en el botón "Parada del regulador" cuando la barra de progreso haya alcanzado el 100% y se deba presuponer un bloqueo del autoajuste. Compruebe la configuración del objeto tecnológico y, si procede, vuelva a iniciar el autoajuste.

Resultado

Si el autoajuste se ha completado sin ningún mensaje de error, significa que los parámetros PID se han optimizado. El regulador PID cambia al modo automático y utiliza los parámetros optimizados. Los parámetros PID optimizados se conservan al conectar (Power ON) y al rearrancar por completo la CPU.

Control de posición del cilindro

Se lo realiza variando la señal de la válvula proporcional donde se varía simultáneamente la presión, moviendo la posición del embolo con la utilización del potenciómetro.

4.8.7 CABLEADO DE LOS DISPOSITIVOS DEL PROCESO

REGLETAS Y CANALETAS PARA CABLEADO

Estos accesorios son el medio físico de unión entre las interfaces de comunicación y los elementos de maniobra, control y salidas.

Las regletas son perfiles DIN de 300mm, las canaletas para el cableado sirven para empotrar y protegerlos cables de conexión que alimentan eléctricamente a los diferentes elementos de control y operación que están montados sobre la placa del sistema modular, con accesorios de montaje para fijarlo a la placa perfilada. Ver figura 105.

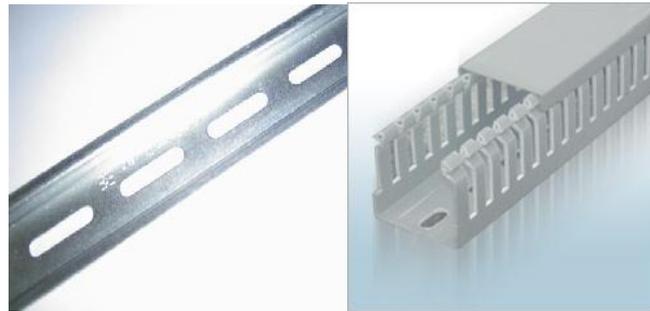


Figura IV. 105. **Regletas y canaletas de cableado**

Para empezar el funcionamiento de los procesos se cuenta con un comando manual que se realiza mediante pulsadores.

El comando manual (Ver figura 105) cuenta con un pulsador normalmente abierto con el cual empieza el proceso, un pulsador normalmente cerrado para el sistema de parada del proceso, un selector para permitir el cambio de proceso PID a balanceo del vástago y por ultimo un foco piloto para indicar que el PID ha terminado su calibración.



Figura IV. 106. **Comando manual**



Figura IV. 107. **Pulsador normalmente abierto**



Figura IV. 108. **Pulsador normalmente cerrado**

Para el cambio del proceso PID al blanco de vástago se utilizan selector dos posiciones.



Figura IV. 109. **Selector dos posiciones**

Foco piloto verde sirve para indicar el proceso PID y su calibración.



Figura IV. 110. **Foco piloto**

Protecciones.

En las protecciones eléctricas se cuenta con fusibles los cuales permite el corte de la señal eléctrica a las válvulas proporcionales en el caso de que exista algún problema eléctrico.



Figura IV. 111. **Fusibles**

4.8.8 INTEGRACIÓN DEL MÓDULO

Con la integración del módulo se consiguió demostrar que el proceso es eficiente, cubriendo así un área muy importante en los procesos industriales como lo es la mecatrónica. Los requisitos primordiales que se emplean en esta área se detallan a continuación:

Servomecanismos.-Un servomecanismo es un sistema formado de partes mecánicas y electrónicas.

Microprocesador.- es el circuito integrado central y más complejo de un sistema informático; el cual es también usado en los procesos industriales en la actualidad y está constituido de un circuito integrado constituido por millones de componentes electrónicos. Es el encargado de ejecutar los programas; desde el sistema operativo hasta las aplicaciones de usuario; sólo ejecuta instrucciones programadas en lenguaje

de bajo nivel, realizando operaciones aritméticas y lógicas simples, tales como sumar, restar, multiplicar, dividir, las lógicas binarias y accesos a memoria, para esto se cuenta con el PLC.

El sensor.- es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas, para transformarlas en variables eléctricas,

Cilindro.- Es un dispositivo capaz de transformar la energía neumática en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden del PLC y en función a ella se genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula consiguiendo un control automático del proceso.

La mecatrónica cumple los siguientes objetivos:

- El primer lugar la mecatrónica está encaminada a automatizar la maquinaria logrando así procesos productivos, ágiles y confiables.
- Crear productos inteligentes, que respondan a las necesidades del mundo moderno.
- Armonizar entre los componentes mecánicos y electrónicos de las máquinas ya que en muchas ocasiones era casi imposible lograr que tanto mecánica como electrónica manejaran los mismos términos y procesos para hacer o reparar equipos.

Después de la implementación del módulo y en base a los criterios de la mecatrónica se puede decir que la tesis está dentro de esta área.

4.9 PRUEBAS DEL SISTEMA

Se realizaron pruebas de funcionamiento para determinar el comportamiento del equipo y sus componentes principales como son los actuadores: válvulas proporcionales, sensores: fuerza y de presión, controlador: PLC para ello se realizaron varias pruebas en el modo de operación: modo automático del proceso PID y variación de posición del cilindro.

Para que el módulo entre en funcionamiento se debe descargar el programa de acuerdo a los siguientes pasos:

- Conectar el PLC a la fuente de alimentación (110ac, 60hz).
- Conectar la placa de circuito impreso a la fuente de alimentación (24vcc).
- Conectar el cable de programación para transferir el programa desde el PC al computador al PLC.

Recomendaciones de uso: Una vez ya cargado el PLC se debe seleccionar el tipo de proceso que se va a realizar. Con la ayuda del selector de dos posiciones, una vez ya seleccionado el proceso pulsar el botón start para empezar el proceso, ahora para cambiar de proceso primero debemos parar el proceso que está activo en ese instante para lo cual utilizamos el botón stop.

Una vez parado el proceso cambio la posición del selector cambiando así de proceso, con esto evitamos el funcionamiento erróneo del sistema debido a que el PLC utiliza registros internos distintos para cada proceso.

4.9.1 PRUEBA DE LA VÁLVULA PROPORCIONAL

Es la encargada de suministrar la cantidad de presión necesaria al cilindro. El objetivo es determinar la presión de salida para diferentes porcentajes de apertura de la válvula proporcional los niveles de las señales eléctricas para cada rango de presión, obteniendo los rangos que se muestran a continuación.

Tabla IV. XIII. Voltaje y presión

Voltaje (Vcc)	Presión (bares)
1	0
1,2	0,5
1,5	1
1,7	1,5
2	2,3
2,2	2,5
2,5	3
2,7	3,5

Como se puede observar se tiene un comportamiento lineal de acuerdo a la gráfica.

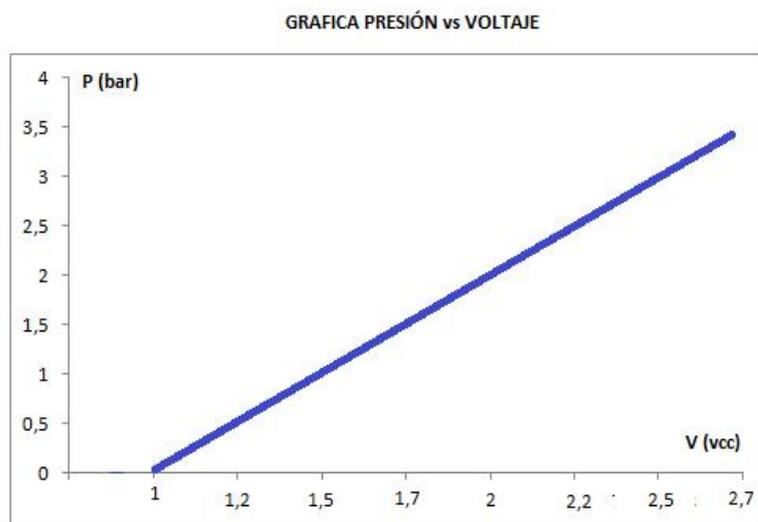


Figura IV. 112. Comportamientos de la válvula proporcional

4.9.2 PRUEBA DEL SENSOR DE FUERZA

Para la prueba realizada al sensor de fuerza se tomaron diferentes valores de presión aplicada al cilindro el cual ejerce presión sobre el sensor generando un voltaje de respuesta, el mismo que ingresa a la placa del circuito impreso para amplificarla y luego llevarla a la entrada del PLC, la cual me entrega diferentes valores de voltaje.

Con los valores obtenidos en el proceso realizo la siguiente tabla para ver el comportamiento del sensor.

Tabla IV. XIV. **Fuerza y voltaje**

Fuerza(N)	Voltaje(vcc)
0	0
20	1
40	2
60	3
80	4
100	5
120	6
140	7
160	8
180	9

GRAFICA FUERZA vs VOLTAJE

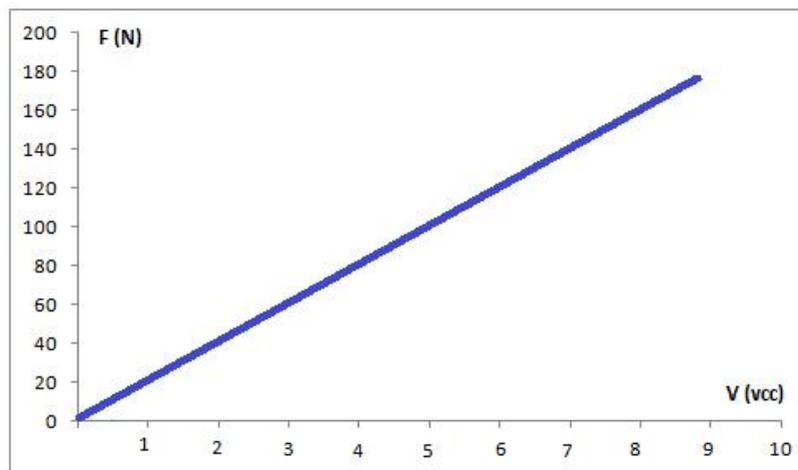


Figura IV. 113. **Comportamiento del sensor de fuerza**

4.9.3 PRUEBA DEL SENSOR DE PRESIÓN

La prueba realizada al sensor de presión se basa en tomar diferentes valores de presión para que el sensor transforme en voltaje, el cual ingresan a la placa de circuito impreso para amplificar y luego llevar a la entrada del PLC con dichos valores se realizó la siguiente tabla:

Tabla IV. XV. **Presión vs voltaje**

PRESIÓN (bar)	VOLTAJE (Vcc)
0	0
0,5	1
1	2
1,5	3
2	4
2,5	5
3	6
3,5	7

GRAFICA PRESIÓN vs VOLTAJE

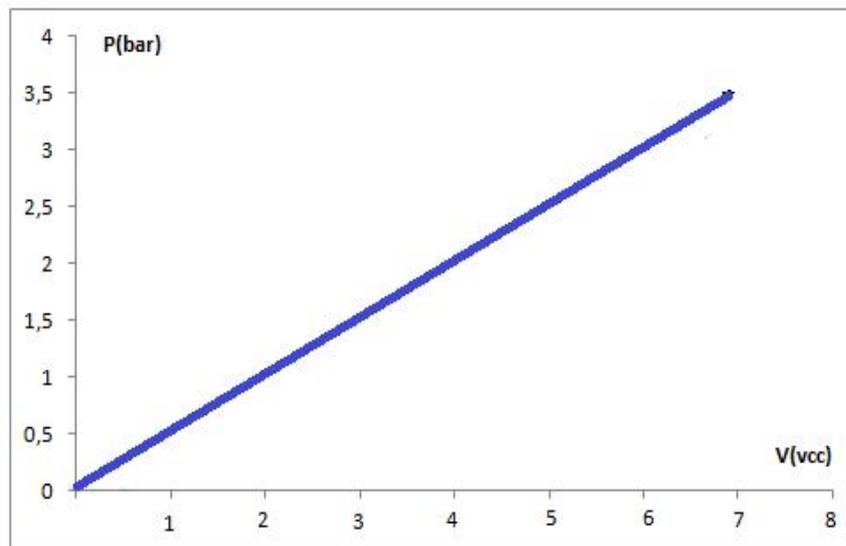


Figura IV. 114. **Comportamiento del sensor de presión**

4.9.4 PRUEBA POSICIÓN DEL VÁSTAGO

Para realizar la prueba de posición del vástago se asignó varios porcentajes de apertura de la válvula proporcional con la señal de referencia y se tomaron los valores obtenidos en el PLC correspondientes a la posición de la misma (porcentaje real de apertura) y con ello se sacó el error. Con él se puede apreciar el buen funcionamiento de la válvula proporcional.

Tabla IV. XVI. **Error del sistema.**

Señal de referencia	Señal real	Error
0,5	0,46	0,04
1	0,96	0,04
1,5	1,46	0,04
2	1,96	0,04
2,5	2,46	0,04
3	2,96	0,04
3,5	3,46	0,04

Al observar los resultados de la prueba de posición del vástago se puede concluir que el error de posición para cada uno de los porcentajes de apertura de la válvula está sobre el 5% que es un error aceptable que no afecta al normal funcionamiento de sistema. Una vez que se realizaron las pruebas se observa que el sistema es lineal.

CAPITULO V

ANALISIS Y RESULTADOS

5.1 RESULTADOS

Para la demostración de la hipótesis se realizaron encuestas ver (**ANEXO 10**), a los estudiantes de la materia de control de procesos industriales, de la Escuela de Ingeniería Electrónica Control y Redes Industriales.

Para lo cual mediante los datos obtenidos se pudo realizar los cálculos correspondientes para obtener la información necesaria para comprobar mi hipótesis.

5.2 ANÁLISIS DE ENCUESTAS.

Para comprobar la hipótesis planteada se realizó encuestas a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Electrónica Control y Redes Industriales de 10^{mo} semestre en la materia de control de procesos industriales cuyo número de estudiantes entrevistados fueron 26.

La encuesta se la puede mirar en el **ANEXO 10**, mediante la cual se comprobó que el módulo servirá como una herramienta de apoyo en el proceso de educación de los estudiantes de ese nivel. Al llevarse a cabo la encuesta también se realizó una breve exposición sobre el módulo de tesis, con la finalidad de mostrar a los estudiantes su funcionamiento, dejando a criterio sacar sus propias conclusiones.

A continuación se analizan los datos obtenidos en las encuestas realizadas a los estudiantes mediante pasteles estadísticos, con la finalidad de obtener información que nos ayude a comprobar la hipótesis.

1. ¿Considera importante la parte práctica dentro de carrera de control y redes industriales?

Si=26 no =0



Figura V. 115. **Tabulación de datos de la encuesta, pregunta 1**

Con esta información se dirá que en verdad la parte práctica es en verdad importante en la carrera de control y redes industriales con lo que se dirá que el módulo será de mucha ayuda para los estudiantes. Ya que se practicara lo aprendido en el aula en el módulo y conllevara a complementar el estudio.

2. ¿Piensa Ud. que con la utilización de un módulo industrial como herramienta de apoyo le ayudara en el proceso de aprendizaje?

Si=26 no =0

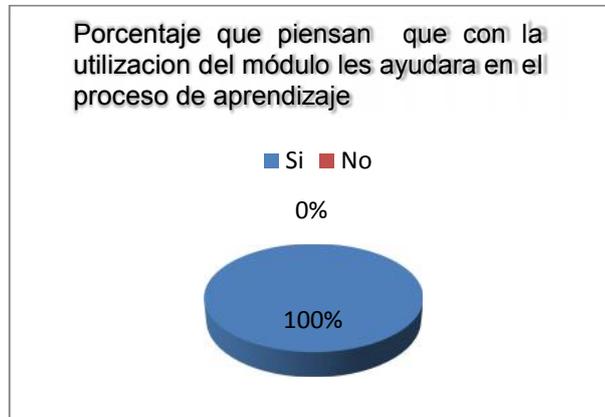


Figura V. 116. Tabulación de datos de la encuesta, pregunta 2

Antes de utilizar el módulo todos los estudiantes admiten que el módulo industrial en verdad les ayudara en su aprendizaje, con solo mirar el módulo y viendo los elementos a utilizar.

3. ¿Cree Ud. que al disponer de módulo didáctico para la simulación del control proporcional neumático de presión, facilitara su aprendizaje en cuanto a la carrera de control de procesos industriales se refiere?

Si=24 no =2



Figura V. 117. Tabulación de datos de la encuesta, pregunta 3

En su gran mayoría creen que este módulo en especial les facilitara su aprendizaje en cuanto a la carrera de control y redes industriales.

4. ¿Luego de revisar el módulo didáctico para la simulación del control proporcional neumático de presión, cuanto le ayudo en su aprendizaje en procesos industriales?

Nada 1

Poco 1

Mucho 24

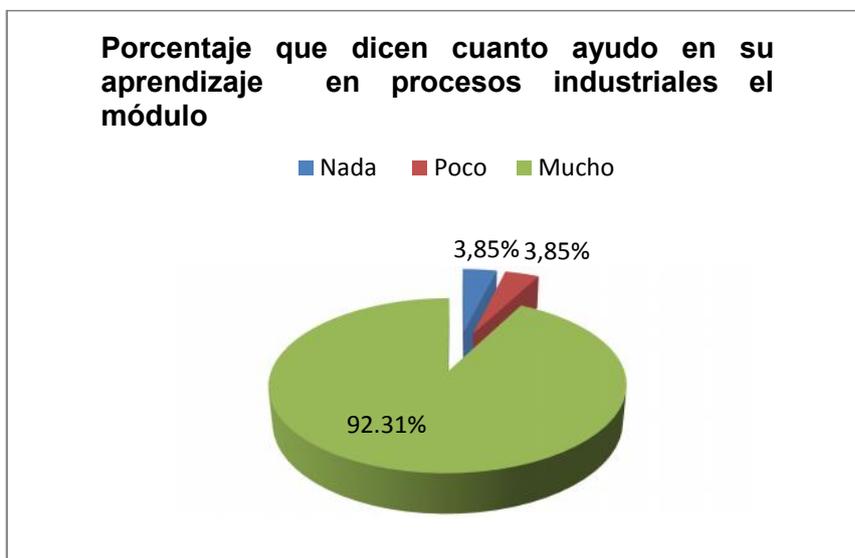


Figura V. 118. Tabulación de datos de la encuesta, pregunta 4

Esta pregunta fue la que mayor información nos proporciona ya que el mayor porcentaje de estudiantes dicen que les ayudo mucho en su aprendizaje a través de la utilización del módulo ya que apenas un corto porcentaje piensa que le ayudo poco o nada, la diferencia es mucha, con lo que podemos decir que en verdad ayudo mucho el módulo en su aprendizaje.

5. ¿Piensa que se debería realizar más módulos de aprendizaje como este?

Si=26 no =0



FiguraV.119.Tabulación de datos de la encuesta pregunta 5

Con esta información se dirá que en verdad el módulo ayudo en el aprendizaje ya que los estudiantes quieren más módulos similares a este, para poner en práctica lo aprendido en el aula.

6. ¿Cree Ud. que la utilización de este módulo como herramienta de apoyo en el proceso de aprendizaje en control y redes industriales ayudado en la formación de su carrera?

Si=24 no =2



Figura V. 120. **Tabulación de datos de la encuesta, pregunta 6**

Observando los datos obtenidos se puede observar la gran cantidad de estudiantes que en verdad dicen que el módulo les ayudara en su aprendizaje es un porcentaje 92.31% de estudiantes que confirman nuestra hipótesis.

Con estos datos se obtuvo información clara de lo que se pretendió con la encuesta saber si en verdad este módulo les servirá a en el proceso se aprendizaje de los estudiantes.

5.3. RESULTADO HIPÓTESIS

Con la información obtenida a través de las encuestas se puede decir que se ha comprobado la hipótesis planteada inicialmente llegando a la siguiente conclusión: módulo didáctico para la simulación del control proporcional neumático de presión” se dispondrá de una herramienta de apoyo en el proceso de aprendizaje para los estudiantes de la Escuela de Ing. Electrónica, Control y Redes Industriales en el área de control de procesos industriales.

CONCLUSIONES

- El proyecto realizado y analizado en el presente trabajo cumple con los objetivos propuestos inicialmente que son, Implementar y automatizar un módulo didáctico para la simulación del control proporcional neumático de presión que puede ser manejado en forma automática. Su operación es sencilla y fácil de entender, de manera que los estudiantes pueden realizar la práctica con el control proporcional neumático de presión de una manera provechosa.
- Con las pruebas realizadas acerca del comportamiento de cada uno de los elementos constitutivos del módulo, Se comprobó que la estructura del módulo soporta la presión de trabajo del proceso, además la base donde se coloca el cilindro es la idónea, obteniendo el trabajo normal de la válvula proporcional, sensor de fuerza, sensor de presión y sistema de perturbación de señales con esto se concluye que se puede realizar prácticas de laboratorio, para que el modulo sea aprovechado por los estudiantes para que puedan trabajar con la variable presión y vean las maneras de controlar dicha variable.
- Se determinó que en el sistema neumático existen pérdidas en tubería, válvulas y demás accesorio debido a las características propias del aire.
- El funcionamiento del PID compact es correcto porque calibra los parámetros PID rápidamente, el error es menor que el 5%.
- Se determinó que la presión debe ser de 4 bares debido a la carga que soporta el sensor de fuerza es de 200N.

RECOMENDACIONES

- Uno de los aspectos más importantes en el módulo es la válvula proporcional, tomando en cuenta los parámetros de funcionamiento y el diagrama de conexión; ya que una falla en su conexión provocaría el daño en el sensor debido al exceso de presión.
- Realizar el diseño del circuito amplificador de instrumentación, verificar los valores que genera el sensor de fuerza para conseguir datos correctos para el envío al PLC.
- Estudiar el funcionamiento del módulo PID_compact para configurar correctamente el tipo de regulación, puesto que el PLC puede entrar en estado inactivo.
- Conectar correctamente las entradas y salidas análogas del PLC como también direccionar correctamente las entradas y salidas análogas internas a la hora de programar el PLC tomando en cuenta los tipos de datos que se necesitan para realizar las operaciones necesarias para que todos trabajen correctamente de acuerdo a la configuración del PLC.
- Realizar el circuito amplificador para el sensor de presión para genera las señales eléctricas adecuadas.

RESUMEN

La Implementación y automatización de un módulo didáctico para la simulación del control proporcional neumático de presión, de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se aplicó el método inductivo una vez obtenida la información detallada del funcionamiento de los sensores, cilindros y válvulas se cubrirá todas las expectativas y de esta forma seleccionare los sensores cilindros y válvulas adecuados para la implementación del módulo didáctico de control proporcional de presión dando paso a la resolución del problema planteado.

En el proyecto se usó los siguientes materiales: cilindro neumático, electroválvula proporcional, sensores, PLC, perfiles de aluminio .Elementos: conectores, racores, borneras, manguera neumática, cable. Herramientas: ponchadora desarmadores, hexagonales. Software: Sistema Operativo XP, para el diseño del circuito impreso proteus 7.7, para la programación del PLC totally intregated automation (TIA).

El diseño de la estructura física se basó bajo requerimientos a una escala real, el diagrama eléctrico y la programación está realiza da en lenguaje LADDER (un sistema de competencia). El funcionamiento de estos diseños nos llevaron a la automatización del proceso industrial modular, posteriormente se procedió a la implantación del proyecto, en las pruebas de funcionamiento se tomó en cuenta la calibración de los dispositivos electrónicos, funcionamiento óptimo en un 90% y un 10% de error, la evaluación del módulo se realizó con los estudiantes y profesores, teniendo un porcentaje del 92.31%de aceptación por parte de los estudiantes.

Concluyo en base al porcentaje de aceptación de los estudiantes que este sistema sirve en buena medida, para ayudar en el proceso enseñanza aprendizaje en área de automatización industrial, pero solo con fines didácticos

Se recomienda a los técnicos de laboratorio dar mantenimiento periódico al módulo para evitar su deterioro, debido a su alto costo y falta de este tipo de repuestos en el país.

ABSTRACT

This thesis deals with the Implementation and Automation of a didactic module for the simulation of the pressure pneumatic proportional control of the Electronic Engineering School of the Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. The inductive method was applied; once the detailed information of functioning of adequate sensors, cylinders and valves will be selected resolution of the stated problem. In project the following materials were used: pneumatic cylinder, proportional electro-valve, sensors, PLC and aluminum profiles; elements: connectors, racors, benders, pneumatic hose and cable; tools: puncturing device, screwdrivers, hexagons; software: Operative System XP, for the printed circuit design proteus 7.7 for the programming of the totally integrated automation (TIA) PLC. The design of the physical structure was based on the real-scale requirements; the electric diagram and programming is carried out in LADDER language (a competence system). The functioning of these designs led to the automation of the modular industrial process; later the project was implanted; in the functioning tests the electronic device calibration, 90% optimum functioning and 10% error were taken into account; the module evaluation was carried out with students and teachers having a 92.31% acceptance by the students. It is concluded that, based on the student acceptance percentage, this system serves at a certain extent to help in the learning process in the industrial automation area, but only with didactic purposes. The lab technicians are recommended to periodically maintain the module to avoid decay taking into account its high cost and lack of type of spare parts in the country.

GLOSARIO

Actuador: Es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.

Autómata: Es el nombre simplificado que recibe un "Sistema de Control Basado en Controladores Lógicos Programables" (PLC's). El autómata es un ordenador analógico. Se trata de dispositivo electrónico o hidráulico diseñado para manipular la entrada de datos.

ALU: Unidad Aritmético Lógica, o simplemente ALU (por Arithmetic Logic Unit) es una de las unidades que conforman la Unidad Central de Procesos (CPU) mediante la cual se pueden realizar un conjunto de operaciones aritméticas básicas (resta, suma, división y multiplicación) y de operaciones lógicas (OR, NOT, AND, etc.).

Culata: **Tapa de cilindros, cabeza del motor o tapa del bloque de cilindros** es la parte superior de un motor de combustión interna que permite el cierre de las cámaras de combustión.

Émbolo: Disco que se ajusta y mueve alternativamente en el interior de una bomba para comprimir un fluido o para recibir de él movimiento.

Estanqueidad: Es una cualidad por la que determinamos si algo tiene fugas o posibilidad de tenerlas o no.

Extensometría: Es una técnica experimental para la medición de esfuerzos y deformaciones basándose en el cambio de la resistencia eléctrica de un material al ser sometido a tensiones.

Histéresis: Es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado.

Insonorizantes: Se definen así todos los productos y dispositivos empleados para mejorar el aislamiento acústico en el interior de los automóviles. Existen diversas clases de Insonorizantes, que difieren tanto por el sistema de aplicación como por el empleado para la reducción del ruido.

Juntas: Son accesorios neumáticos cuya función es impedir las fugas de aire comprimido entre las piezas mecánicas que configuran el cilindro para que éste permanezca estanco.

Junta de estanqueidad: Junta mecánica o empaquetadura son componentes de material adaptable que sirve para sellar bien la unión de las caras mecanizadas de los elementos de cierre de las cajas de transmisiones y genéricamente en cualquier elemento hidráulico y/o neumático, que llevan lubricante en su interior.

Potenciómetro lineal: Los potenciómetros lineales son transductores de distancia y posición con contacto y rozamiento. La medida se obtiene mediante el deslizamiento de unas escobillas sobre una pista plástica resistiva, que en función del punto donde se encuentre, dará un valor proporcional en resistencia.

Racor: Es una pieza metálica con dos roscas internas en sentido inverso, que sirve para unir tubos u otros perfiles cilíndricos.

Solenoides: Es cualquier dispositivo físico capaz de crear una zona de campo magnético uniforme.

Sensor: Es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Vástago: Es parte de un cilindro que hace que haya una rotación controlada durante el movimiento de extensión y compresión.

Zincado: Es el recubrimiento de una pieza de metal con un baño de zinc para protegerla de la oxidación y de la corrosión, mejorando además su aspecto visual.

KOP: Lenguaje de programación gráfico.

FUP: Lenguaje de programación que se basa en los símbolos lógicos gráficos empleados en el álgebra booleana.

A.O., op-amp u OPAM: Amplificador operacional

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- ALICIATORE., D., y otros., Introducción a la mecatrónica y los sistemas de medición., 3ª ed., México D.F. – México., McGraw Hill., 2007., Pp. 4-338-339-340-346-392-393-394-396.
- 2.- BOLTON., W., Mecatrónica Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica., 4ª ed., México D.F.- México., Alfaomega., 2010., Pp. 17-22-53-150-192-417-445-449-458-460
- 3.- CREUS., A., Neumática e hidráulica., México D.F. – México., Alfaomega., 2007., Pp. 9-13-28-45-46-51-78-84-128-245-249-256-330-346-354
- 4.- KUO., B., Sistemas de control automático., 7ª ed., Iztapalapa - México., Prentice - Hall., 1996., Pp. 11-12-13-14-15-16.

BIBLIOGRAFÍA INTERNET

5.- AMPLIFICADOR INSTRUMENTACIÓN

<http://es.scribd.com/doc/38729681/1/Representacion-de-Circuitos-Electroneumaticos>

2011-12-28

6.- AMPLIFICADORES OPERACIONALES

<http://es.scribd.com/doc/38729681/1/Representacion-de-Circuitos-Electroneumaticos>

2012-01-10

7.- NEUMÁTICA

http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb_08_II/pb0811t.pdf

2011-12-22

<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica2.htm>

2012-01-05

8.- PLC

<http://es.scribd.com/doc/57204622/TIA-M06-S7-1200-Control-PID>

2011-12-29

http://www.unicrom.com/tut_PLC5.asp

2012-01-16

9.- **SENSORES**

<http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>

2011-12-23

<http://www.sabelotodo.org/electrotecnia/electrosensores.html>

2011-12-26

ANEXOS

ANEXO 1

VÁLVULA PROPORCIONAL

ANEXO 2

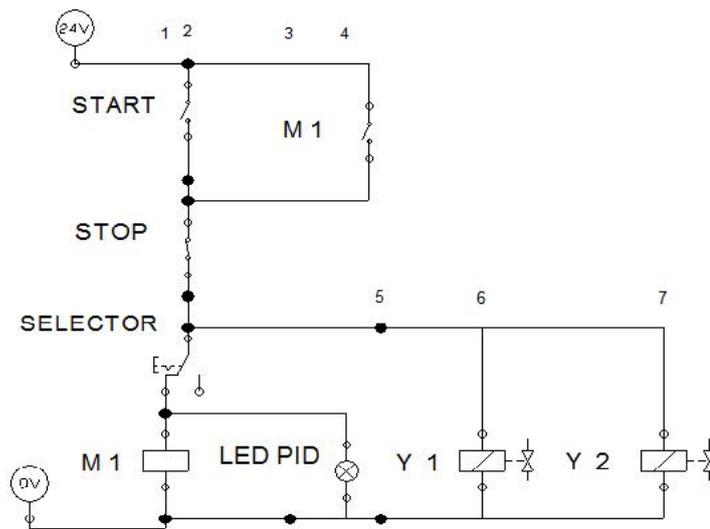
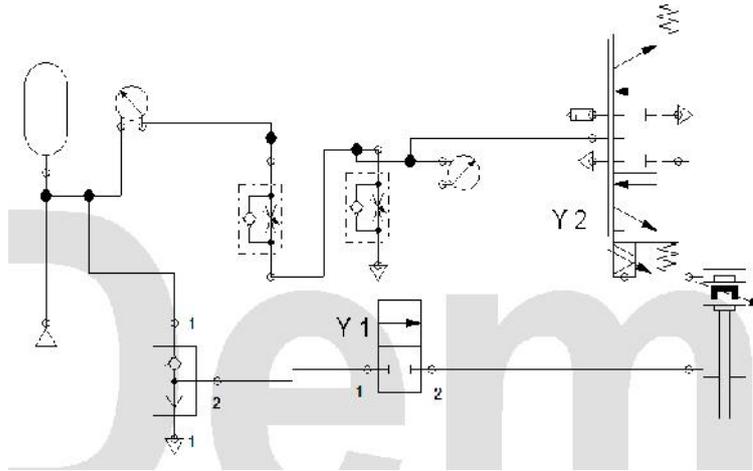
SENSOR DE FUERZA

ANEXO 3

SENSOR DE PRESIÓN

ANEXO 4

CONEXIÓN NEUMÁTICA Y ELÉCTRICA



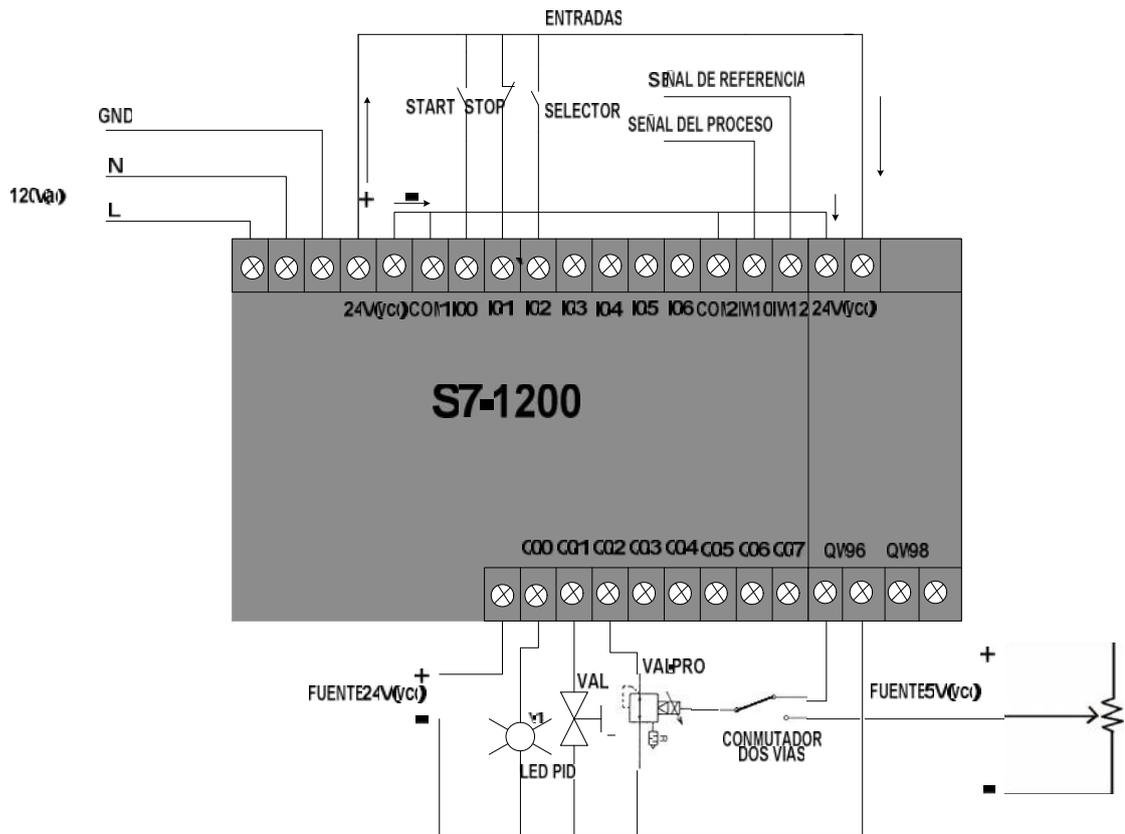
ANEXOS 5

NUMERACIÓN DE CABLES

Numero	CONEXIÓN
0	GND
1	24Vcc
2	START
3	STOP
4	SELECTOR
5	ENTRADA ANALOGA 0
6	ENTRADA ANALOGA 1
7	5Vcc
12	FOCO PILOTO
13	VÁLVULA
14	VÁLVULA PROPORCIONAL
15	SALIDA PID DEL PLC

ANEXO 6

DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL PLC



ANEXO 7

COSTOS

ÍTEMS	VALOR (DÓLARES)
Válvulas proporcionales (2)	300,00
Válvulas reguladoras de caudal (4)	56,00
Válvula de paso	15,00
Cilindro neumático	70,00
Sensor de fuerza	400,00
Sensor de presión	20,00
Manómetros	12,00
Placa de circuito impreso	35,00
fusible	3,00
Canaleta	5,00
Riel Dim	4,00
Cables	10,00
Punteras	4,00
Números para cables	4,00
Manguera de 6mm (5m)	10,00
Aluminio perfilado	200,00
Racores (18)	27,00
silenciadores	3,00
Pulsadores y selector (3)	9,00
Foco piloto	3,00
Caja para pulsadores	15,00

Tapas laterales(47)	23,00
Tornillos para soporte de la estructura (35)	17,00
Suministros de oficina	60,00
Plc	700,00
Compresor	120,00
Impresiones	100,00
Transporte	100,00
Varios	200,00
Internet	200,00
Imprevistos	55,00
Bibliografía (Revistas, Libros)	100,00
Computadora	390,00
TOTAL	3,280

ANEXO 8

MANUAL DE USUARIO

MANUAL DE USUARIO

1. PRESENTACIÓN

El presente manual de usuario de la aplicación de: “implementación y automatización de un módulo didáctico para la simulación del control proporcional neumático de presión”; contiene las informaciones técnicas pertinentes que permiten al usuario instalar y trabajar en el módulo de manera correcta.

Una condición preliminar a cumplir por el personal que trabaje en el sistema de control proporcional neumático de presión es que disponga de conocimientos técnicos, ya que la vida útil del módulo, su rendimiento y disponibilidad de operación dependen en alto grado de la correcta ejecución de los trabajos de limpieza, del manejo y mantenimiento del mismo.

2. INTRODUCCIÓN

En este documento se describirá el funcionamiento en si de la aplicación, el cual proporcionará al usuario facilidad al encontrar detallado cada uno de los pasos que se siguió para realizar la instalación, configuración, implementación, manejo y ejecución de la aplicación en forma correcta.

Entre las opciones constará lo siguiente:

- Instalación del software Totally Integrated Automation TIA
- Configuración del bloque PID Compact.
- Conexión de los sensores.
- Conexión neumática.

El control proporcional neumático de presión puede ser usado para tareas de programas prácticos como un solo mecanismo o en conexión con distintos módulos.

Entre las aplicaciones tenemos.

Máquinas para el procesamiento de goma y materiales sintéticos

Válvulas proporcionales para regular la contrapresión

En las maquinas de extrusión, las válvulas permiten regular de modo muy preciso los perfiles. Con ellas, la velocidad de procesamiento del material termoplástico es continua y homogénea.

Válvulas proporcionales para regulación de vacío, presión y fuerza de cilindros

En una estación de envasado, las tapas son transportadas por ventosas. Según el tamaño y material de las tapas, el vacío debe regularse contra-Llenado y envasado eficiente de alimentos y sustancias químicas. Controlando la presión de alimentación del eyector. Las válvulas proporcionales regulan la presión que alimenta la tobera Venturi. Estas válvulas también se utilizan en la estación de sellado, donde se presionan las tapas para cerrar los envases.

3. OBJETIVOS DEL SISTEMA

- Montar un módulo para en el laboratorio de Neumática, Automatización, Mecatrónica de la Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales para obtener el mezclado de líquidos.
- Programar el proceso de control del módulo bajo el lenguaje de programación seleccionado y diseñar la interfaz de usuario para controlar el proceso de mezclado de líquidos de baja densidad.
- Realizar prácticas para el entrenamiento de nuevos profesionales dentro de la Rama de Electrónica en Control y Redes Industriales.

4. CAPACIDADES DEL SISTEMA

La implementación del control proporcional neumático de presión tiene la finalidad de demostrar con un ejemplo el uso que se le puede dar a este sistema por tal razón se implemento el sistema de control en lazo cerrado PID.

Para este fin se implemento el setpoint el cual consta de un sensor de presión para calibrar la presión con la que quiero trabajar, para obtener la señal del proceso se utilizo un sensor de fuerza, el PLC toma estas entradas y utiliza el bloque PID interno para mediante el actuador en este caso válvula proporcional calibrar la presión que está en el setpoint, el proceso funciona de la siguiente manera: se coloca la presión en

el setpoint a la cual quiero que trabaje, el PLC toma esta lectura y mediante el bloque PID Compact calcula la presión que necesita la válvula proporcional para llegar a ese setpoint esta presión esta en el cilindro, para conocer si el proceso está en el setpoint de trabajo esta el sensor de fuerza al que el cilindro está ejerciendo presión, entonces tomo la lectura del sensor de fuerza y llevo al PLC para que el PID Compact sepa si ya esta calibrado correctamente.

Las botoneras me permiten activar y seleccionar el proceso, además un indicador para conocer el proceso que está activo, el cambio de proceso es el siguiente: al pulsar START se activan las válvulas proporcionales, a continuación el selector me indica que proceso se quiere PID o BALANCEO, además tengo el interruptor tipo palanca que permite el paso de la señal a la válvula proporcional del PLC para el PID o la señal del potenciómetro para el balanceo del vástago. Entonces tengo dos opciones PID o BALANCEO todas estas señales están debidamente etiquetadas.

Si se quiere trabajar con el PID se debe colocar el selector en posición que indica PID el foco piloto se debe encender, a continuación en el interruptor también en PID y si se quiere balanceo del vástago se debe colocar el selector en BALANCEO apagándose el foco piloto, el interruptor también en BALANCEO.

5. REQUISITOS MÍNIMOS INDISPENSABLES

5.1. HARDWARE

- **Características del PC**
 - ✓ PC con procesador Pentium 4 de 3 Ghz o superior
 - ✓ 2 Gb de memoria RAM o superior.
 - ✓ Disco duro con 80 Gb de espacio libre.

- **Características del PLC SIEMENS S7 1200**
 - ✓ CPU 1211C,CPU 1212C,CPU 1214C
 - ✓ Digitales 8 y 16 puntos
 - ✓ Analógicas 2, 4 y 8 puntos

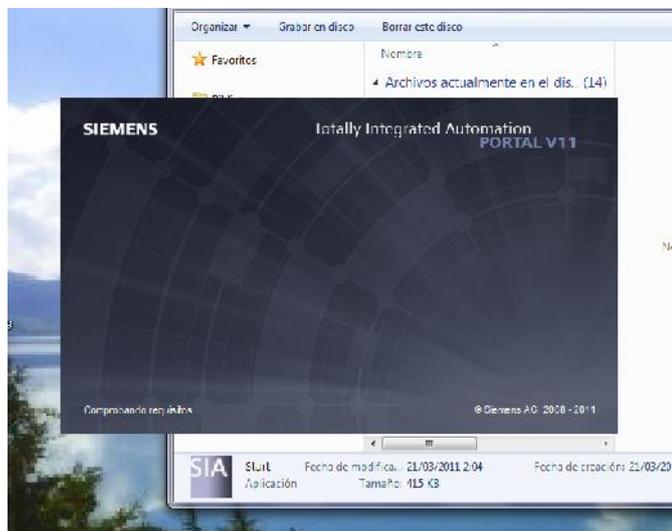
- ✓ Termo acoplamiento 4 y 8 puntos
- ✓ RTD 4 puntos
- ✓ Analógico 16 puntos
- ✓ RTD 8 puntos
- ✓ Interfaces de Comunicación CM 1241 RS232 y CM 1241 RS485
- ✓ Interfaces de Comunicación CM 1243-5 PROFIBUS maestro y
- ✓ Interfaces de Comunicación CM 1242-5 PROFIBUS esclavo
- ✓ Interfaces de Comunicación CP 1242-7 GPRS
- ✓ Interfaces de Comunicación TS AdapterIE Basic

5.2. SOFTWARE

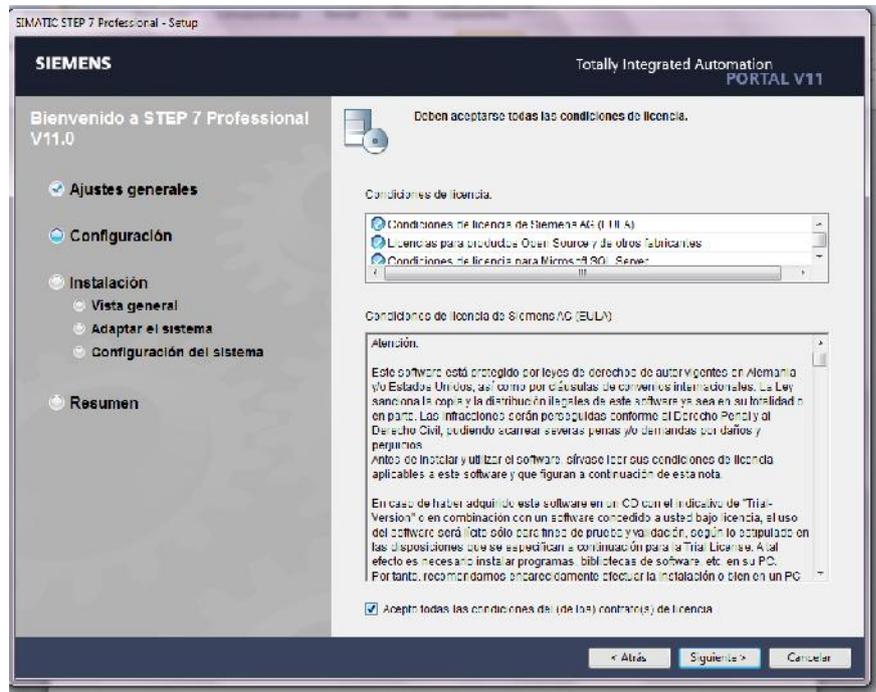
- Microsoft Windows XP o superior.
- Totally Intregate Automation TIA 10.5 o superior

TOTALLY INTREGATE AUTOMATION TIA

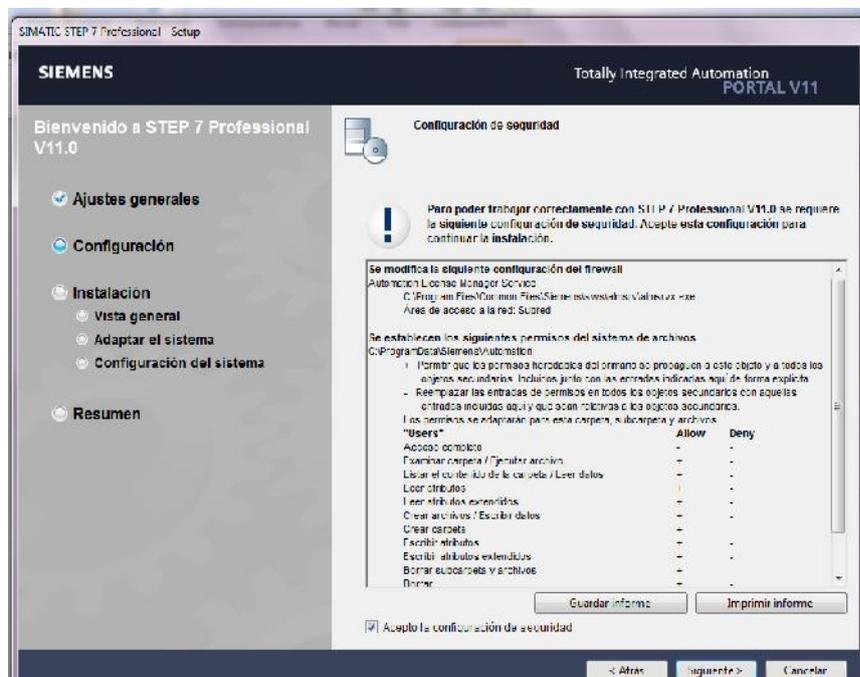
a) Al ejecutar el icono de Setup la pantalla que aparece es la siguiente



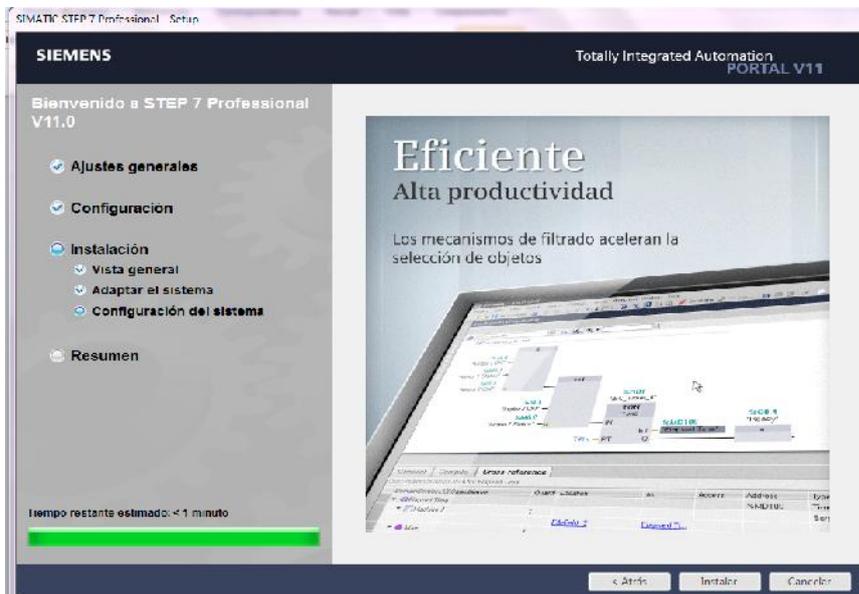
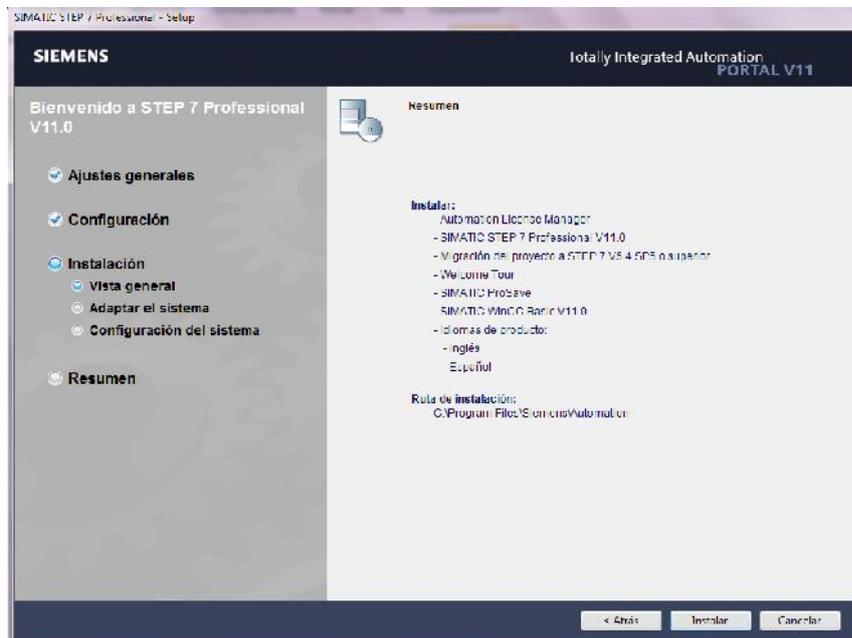
d) Pantalla del uso de la licencia y las condiciones.



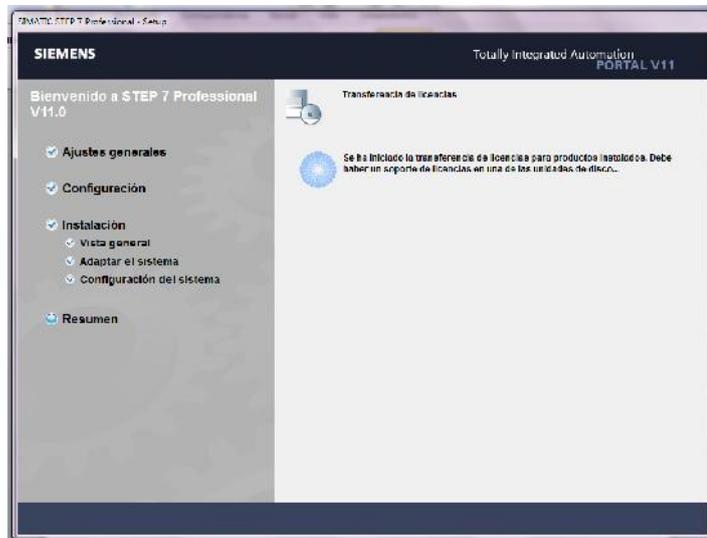
e) Aceptar las opciones de seguridad para la instalación del programa



- f) Se inicia la instalación del programa en la ruta en la unidad C y Archivos de programa.



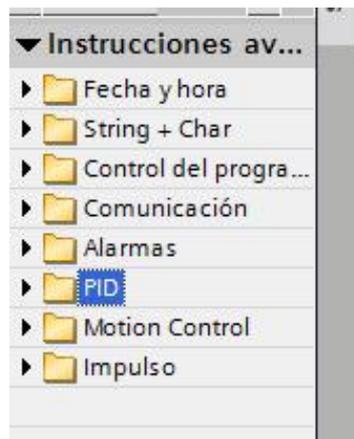
- g) Finalización de la Instalación, luego de transcurrir varios minutos y configurado correctamente cada parámetro previo a la instalación.



6. CONFIGURACION DEL SOFTWARE

a) CONFIGURACIÓN DEL BLOQUE PID COMPACT.

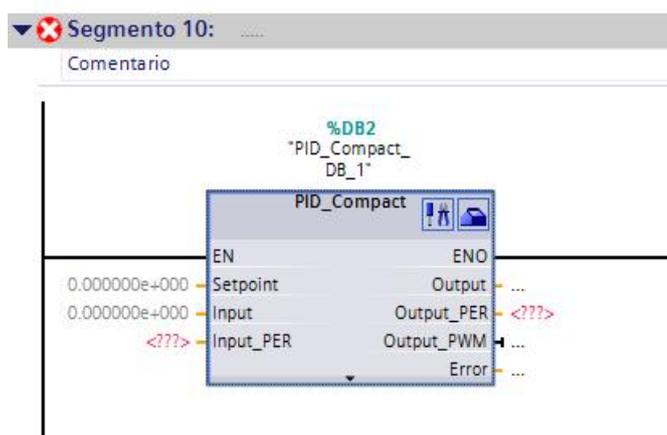
Para esto sacar el bloque que se necesita al main principal, para esto ir a la paleta de instrucciones avanzadas y buscar PID.



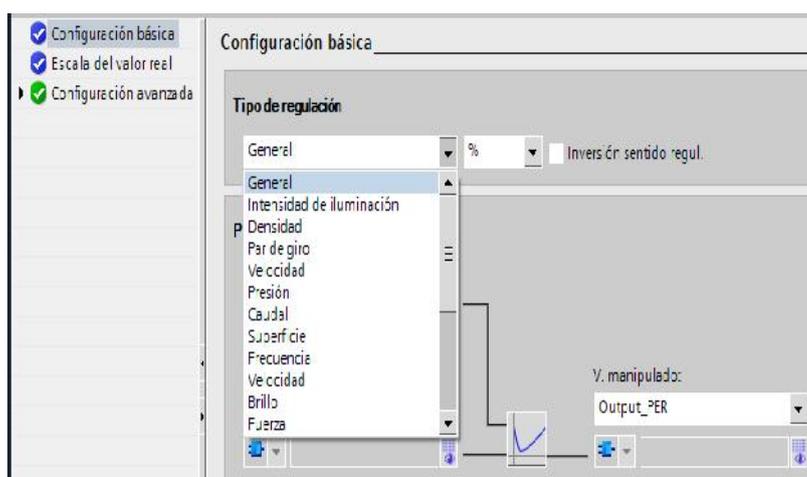
Desplegar la pestaña ubicar el bloque y arrastrar al main principal, pero antes configurar el bloque de datos para trabajar, en este bloque se almacenan los datos del temporales del PID cabe aclarar que este bloque sale automáticamente cuando se arrastra el bloque PID Compact.



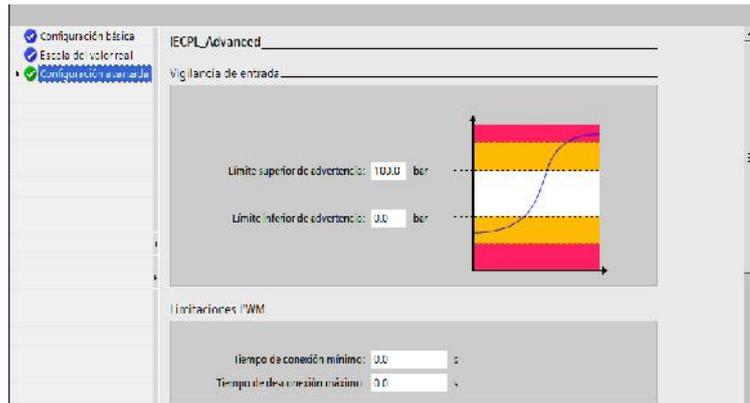
Para configurar el tipo de variable de trabajo dar doble clic sobre el icono 



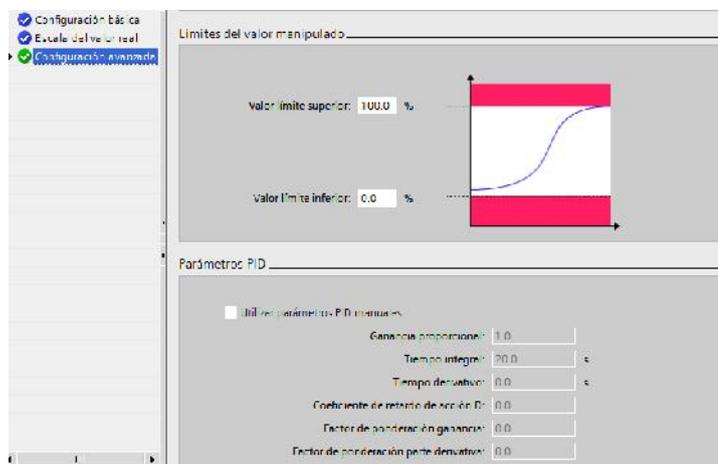
En la pestaña de tipo de regulación escoger la variable que se va a trabajar.



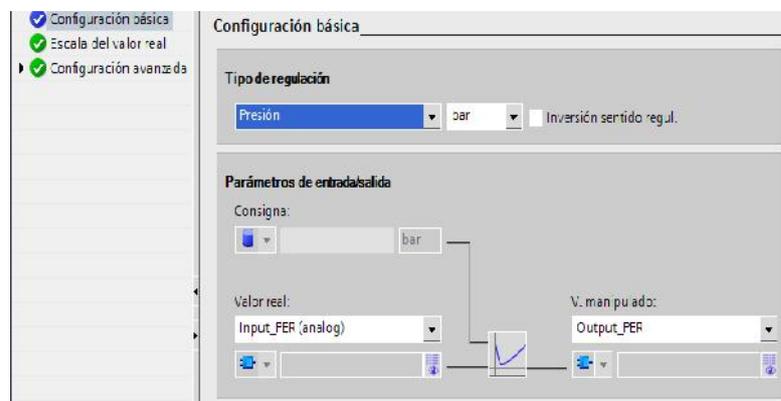
En configuración avanzada determinar los límites de advertencias, el tiempo de conexión si está utilizando la salida como PWM.



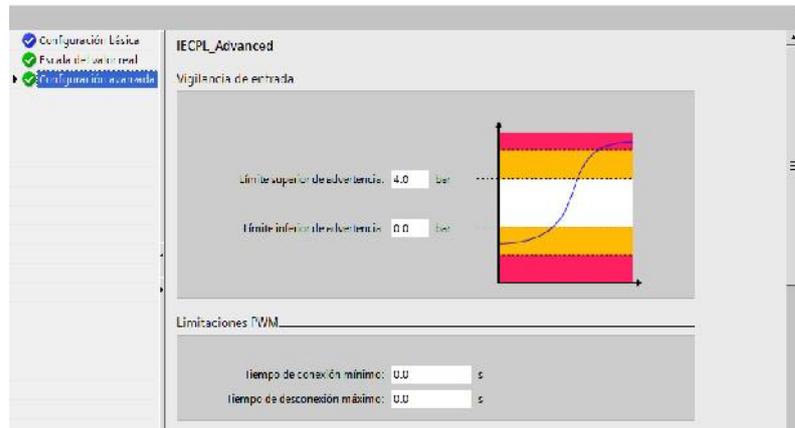
Configuración del valor manipulado, y si los parámetros PID son manuales o automáticos.



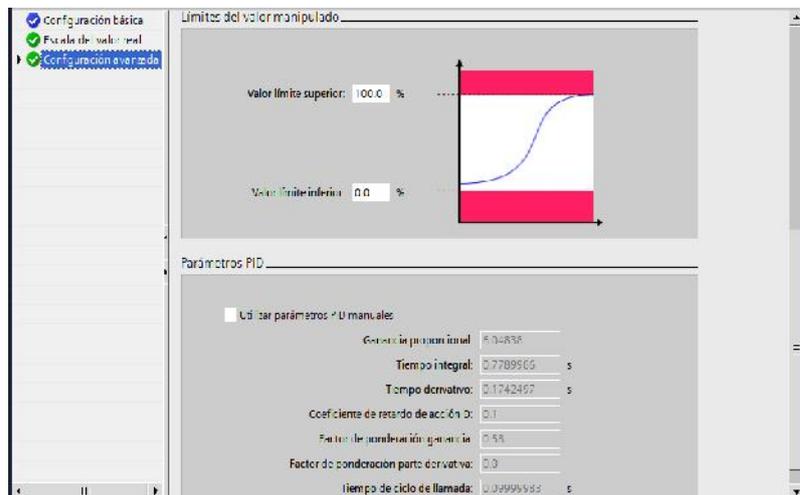
Configuración de la variable presión para la tesis en el bloque PID Compact.



Límite superior de vigilancia en 4 bares a la entrada del bloque PID Compact, como mi salida no es de tipo PWM no configuro este valor.



Si se desea se puede variar el valor total de salida de un 0 a un 100%, pero en esta tesis no se trabaja con este valor, como no deseo utilizar parámetros manuales no activo esta opción.



ANEXO 9

ENCUESTA



ENCUESTA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

Objetivo.

Determinar si se dispone de una herramienta de apoyo en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Electrónica, Control y redes Industriales en el área de la mecatrónica control de procesos de la Espoch.

Instrucciones:

- Por favor lea detenidamente Y marque con una X la respuesta que usted considere apropiada.
- En la justificación de cada pregunta (¿Por qué), responda algo corto y con letra legible.

1. ¿Considera importante la parte práctica dentro de carrera de control y redes industriales?

Si

No

Por qué?

.....

2. ¿Piensa Ud. que con la utilización de un módulo industrial como herramienta de apoyo le ayudara en el proceso de aprendizaje?

Si

No

Por qué ?

3. ¿Cree Ud. que al disponer de módulo didáctico para la simulación del control proporcional neumático de presión, facilitara su aprendizaje en cuanto a la carrera de control de procesos industriales se refiere?

Si

No

Por qué ?
.....

PRESENTACION Y MANIPULACION.

4. ¿Luego de revisar el módulo didáctico para la simulación del control proporcional neumático de presión, cuanto le ayudo en su aprendizaje en procesos industriales?

- Nada
- Poco
- Mucho

5. ¿Piensa que se debería realizar más módulos de aprendizaje como este?

Si

No

Por qué ?
.....

6. ¿Cree Ud. que la utilización de este módulo como herramienta de apoyo en el proceso de aprendizaje en control y redes industriales ayudado en la formación de su carrera?

Si

No

Por qué?
.....