



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**LEVANTAMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO NEUMÁTICO DEL
TALLER DE INSTRUMENTACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE ATACAMA EN
LA REGIÓN DE ATACAMA, CIUDAD DE COPIAPÓ**

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el Título de
Ingeniero de Ejecución en Instrumentación y Automatización Industrial

Profesor guía: Ricardo Ignacio Quiroz Concha

Victor Rodrigo Iribarren Monardes

Copiapó, Chile 2023

DEDICATORIA

Los cambios de paradigma en la vida nos llevan a tomar decisiones fuertes, como retrasar tu propio desarrollo personal en favor del bien colectivo. Sin embargo, llega un momento en la vida en que debemos explorar nuevas fórmulas para desafiar y concretar el sentido de esta.

Con mucho amor dedico este proyecto de título a mis seres especiales., especialmente a mi hija Victoria Millaray Iribarren Núñez.

Atte.

Victor Rodrigo Iribarren Monardes.

AGRADECIMIENTOS

La gratitud es parte de los valores de la vida que debemos sembrar con amor y cosechar con esperanza. En esta etapa de la vida es donde surge una mirada llena de amor de mis padres y mi hermana quienes hicieron posible con su infinito amor el poder concretar esta etapa fundamental de mi vida, además, llena de esperanza un futuro prometedor junto a mi hija, mi esposa y mis sobrinos.

Por otra parte, es trascendental mencionar la gran empatía de mi profesor tutor, a todo el equipo docente y administrativo de la facultad de mi alma mater por darme la oportunidad de adquirir un gran capital académico y una visión actualizada respecto de mi profesión lo que me permite enfrentar la vida con sabiduría.

Atte.

Victor Rodrigo Iribarren Monardes.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes Generales	1
1.2. Objetivos del Proyecto de Título	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Formulación del Problema	4
1.5. Metodología	4
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Instrumentación Industrial	6
2.2. Controlador Lógico Programable (PLC).....	7
2.3. Neumática	8
2.3.1. Generalidades del Aire Comprimido	10
2.4. Sistemas de Actuación	11
2.5. Sistemas Neumáticos	11
2.6. Válvulas	12
2.6.1. Válvulas de Control de Presión.....	12
2.7. Cilindros.....	14
2.7.1. Secuenciado de Cilindros.....	17
CAPÍTULO III	20
DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DEL BANCO NEUMÁTICO	20
3.1. Diseño y Selección de Componentes	21
3.1.1. Diseño del Sistema Neumático	22
3.1.2. Diseño del Sistema Electrónico	23
3.1.3. Diseño del Sistema Eléctrico	24
3.2. Proceso de Automatización.....	25
CAPÍTULO IV	27
IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO	27

4.1. Hardware	27
4.1.1. Fuente de Alimentación	27
4.1.2. Unidad de Procesamiento Central (CPU)	27
4.1.3. La Tarjeta de Memoria Digital Segura (SD) de la CPU	28
4.1.4. El Módulo de Entrada Digital	28
4.1.5. El Módulo de Salida Digital a Relé	28
4.1.6. El Módulo de Entrada Salida Análogo Digital	28
4.2. Montaje de Elementos en el Banco de Pruebas	28
4.2.1. Software CODESYS	29
4.2.2. Software KEPServerEX	30
4.2.3. Software FluidSIM.....	31
CAPÍTULO V.....	33
PAUTAS DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DEL COSTO.....	33
5.1. Pautas de laboratorio	33
5.1.1. Pauta de Laboratorio Experiencia Número Uno	33
5.1.2. Diagrama de fases	33
5.1.3. Programa del PLC en lenguaje Grafcet.....	35
5.1.4. Diagrama de bloques lógicos Grafcet	36
5.1.5. Visualización de resultados.....	38
5.2. Pauta de Laboratorio Experiencia Número Dos.....	39
5.2.1. Diseño del circuito neumático.....	40
5.2.2. Programa del PLC en lenguaje Ladder (LD)	42
5.2.3. Comunicación mediante protocolo OPC UA.....	44
5.3. Análisis de costo	47
5.4. Inversiones	48
5.5. Flujo de Caja del Proyecto	49
5.6. Evaluación económica (VAN y TIR).....	51
5.7. Análisis de sensibilidad.....	51
CAPÍTULO VI.....	53
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
6.1. Conclusiones	53

6.2. Recomendaciones.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXOS	58
Anexo A: Unidad de Mantenimiento Combinada MSB6	58
Anexo B: Electroválvula solenoide 5/2.....	59
Anexo C: Actuador neumático de doble efecto	60
Anexo D: Tubo de plástico PUN-H, PUN-H-DUO (50 mts).....	61
Anexo E: Rúbrica Laboratorio Levantamiento y Automatización del Banco Neumático	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.1: Laboratorio de instrumentación de la Universidad de Atacama.	5
Figura N° 2.1: Controlador Lógico Programable.....	7
Figura N° 2.2: Suministro de energía neumática.	11
Figura N° 2.3: Válvula limitadora de presión.	13
Figura N° 2.4: Válvula limitadora de presión a) Símbolo de válvula secuencial, b) Sistema secuencial.	14
Figura N° 2.5: Cilindro de acción simple.	15
Figura N° 2.6: Control de un cilindro con acción sencilla con a) No corriente, a través, del solenoide, b) Una corriente, a través, del solenoide.....	15
Figura N° 2.7: Cilindro de doble acción.	16
Figura N° 2.8: Control de un cilindro de un cilindro de doble acción con solenoide, a) No activado, b) Activado.	16
Figura N° 2.9: Operación de dos actuadores secuenciales.....	17
Figura N° 2.10: Control en cascada que se usa para dar A+, B+, B-A-.....	19
Figura N° 3.1: Banco neumático existente en la actualidad en el taller de instrumentación de la Universidad de Atacama.....	20
Figura N° 3.2: Mapa conceptual diseño del banco hidráulico neumático.	22
Figura N° 3.3: Diseño neumático con la herramienta Festo® fluid_sim hydraulic.....	23
Figura N° 3.4: Diseño del circuito electrónico para control de banco neumático.	24
Figura N° 3.5: Diseño del circuito eléctrico.	25
Figura N° 3.6: Módulo de entrenamiento marca Schneider PLC más módulos de entradas y salidas.....	26
Figura N° 4.1: PLC marca Schneider modelo M340 de estructura modular.	27
Figura N° 5.1: Diagrama de fases para la experiencia número uno.....	34
Figura N° 5.2: Programa del PLC para la experiencia número uno.	36
Figura N° 5.3: Diagrama de bloques lógico para la experiencia número uno.	38
Figura N° 5.4: Simulación de los resultados para la experiencia número uno.	39
Figura N° 5.5: Imagen de referencia para llevar adelante la experiencia.	40
Figura N° 5.6: Circuito neumático de la experiencia número dos.	42
Figura N° 5.7: Programa del PLC en lenguaje Ladder.	44

Figura N° 5.8: Comunicación efectiva entre software CODESYS y el software FluidSim.
Mediante protocolo OPC UA software KeepServer.46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 5.1: Inversiones proyecto.....	48
Tabla N° 5.2: Supuestos análisis económico proyecto.	49
Tabla N° 5.3: Flujo de caja del proyecto (valores expresados en M\$).	50
Tabla N° 5.4: Valor actual neto el proyecto. (\$).....	51

RESUMEN

La Universidad de Atacama (UDA) siendo la única universidad tradicional y estatal de la Tercera Región de Atacama perteneciente a las 18 estatales del Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas (CRUCH) lleva consigo una tradición en su proceso formativo particularmente en el proceso de enseñanza – aprendizaje de sus estudiantes con nivel formativo de pregrado fundada en la formación de capital humano avanzado desde el año 1857, lo que otorga una base sólida para mirar el futuro con mucho optimismo y creación de valor en el ámbito educativo y profesional. Para concretar esto se determinó bajo el consentimiento del profesor guía llevar adelante la habilitación y la automatización de un banco neumático en el taller de instrumentación de dicha institución, esto enfocado en dejar como resultado positivo dos experiencias para ser utilizados como insumo educativo y así apoyar a los (as) académicos en la idea que pueda optimizar los tiempos de explicación teórica y que los estudiantes puedan analizar de manera directa la consecuencia de las energías presentes, la instrumentación y la automatización de los diversos procesos. De lo anterior es necesario conocer que se utilizó una maleta de entrenamiento que contiene un controlador lógico programable (PLC) utilizado en el proceso de automatización de marca Schneider modelo modicom M340, este es un autómatas programable que posee una estructura modular y fue programado mediante lenguaje de programación Ladder, a través, del software unitypro XL y sus salidas fueron conectadas a las diferentes electroválvulas neumática 3/2 y pistón de simple y doble acción. Se concluye que el proyecto presenta indicadores económicos tales como el valor actual neto (VAN) correspondiente a la suma de \$189.965.621, una tasa interna de retorno (TIR) de un 1.188% y a través del análisis de sensibilidad de logra establecer un VAN de \$130.730.202 para el escenario 1 y un VAN de \$118.720.318 para el escenario 2, que garantizan la rentabilidad del proyecto a una tasa de descuento de un 6%.

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) – NEUMÁTICA – VÁLVULA -
ACTUADORES SECUENCIALES

ABSTRACT

The University of Atacama (UDA), being the only traditional and state university in the Third Region of Atacama belonging to the 18 state universities of the Council of Rectors of Chilean Universities (CRUCH), carries with it a tradition in its formative process, particularly in the teaching process. – Learning of its students with an undergraduate training level founded on the formation of advanced human capital since 1857, which provides a solid foundation to look to the future with great optimism and value creation in the educational and professional field. To specify this, it was determined under the consent of the guide teacher to carry out the qualification and automation of a pneumatic bench in the instrumentation workshop of said institution, this focused on leaving two experiences as a positive result to be used as an educational input and thus support the (as) academics in the idea that it can optimize the times of theoretical explanation and that the students can directly analyze the consequence of the present energies, the instrumentation and the automation of the diverse processes. From the above, it is necessary to know that a training suitcase was used that contains a programmable logic controller (PLC) used in the automation process of the Schneider brand modicom M340 model, this is a programmable controller that has a modular structure and was programmed using language Ladder programming, through the unitypro XL software and its outputs were connected to the different 3/2 pneumatic solenoid valves and single and double action piston. It is concluded that the project presents economic indicators such as the net present value (NPV) corresponding to the sum of \$189,965,621, an internal rate of return (IRR) of 1,188% and through the sensitivity analysis it manages to establish a NPV of \$130,730,202 for scenario 1 and a NPV of \$118,720,318 for scenario 2, which guarantee the profitability of the project at a discount rate of 6%.

**PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) – PNEUMATIC – VALVE -
SEQUENTIAL ACTUATORS**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes Generales

La globalización de la economía no solo ha revolucionado los mercados, también la tecnología, fabricándose maquinaria y equipos con altos componentes tecnológicos que han logrado hacer más eficientes y competitivos los procesos productivos. Por lo tanto, la educación superior debe proveer las herramientas indispensables para que sus egresados, especialmente de las facultades de ingeniería y tecnológicas, adquieran no solo los conocimientos, sino también las competencias para que sus futuros profesionales sean realmente exitosos. Dentro de esta vertiente tecnológica se encuentran aplicaciones de mecanismos neumáticos, oleo - neumáticos e hidráulicos que permiten que una fuerza que realiza un trabajo mecánico se utilice para obtener movimientos lineales con un consumo de energía muy bajo. La conversión del trabajo en energía cinética.

El programa del área tecnológica de la Universidad de Atacama consiente de estas necesidades que se presentan en el mundo real, promovió como desarrollo de proyectos académicos la repotenciación y actualización del banco neumático que se disponía, dotándolo de elementos de última generación.

Mediante la realización de las prácticas concebidas en este laboratorio los estudiantes pueden realizar sus trabajos, ya sea con la dirección del docente o de manera autónoma, profundizando sus conocimientos y con análisis, para que utilizando su propio criterio puedan entender la realidad de su entorno profesional, adquiriendo la competencia en esta importante temática. Igualmente comprenderán la necesidad de conservar y mantener estos activos con el fin de que en el tiempo estos cumplan con el objetivo para el cual fueron comprados mejorando su productividad y haciendo más competitivas las empresas para las cuales prestarán sus servicios profesionales una vez graduados como ingenieros.

Para la ejecución de este trabajo se utilizó la metodología Científica consistente en: análisis del problema, identificación de la instrumentación, software y equipos de diseño y levantamiento del banco, diseño de módulos, diseño del circuito electrónico, implementación y prueba del banco, para lo cual se diseñaron guías de laboratorio para un mejor aprendizaje.

Para la repotenciación del banco se realizó el levantamiento de los elementos ya existentes y se adquirió con recursos del programa en ingeniería en instrumentación y automatización y con la asesoría del director del proyecto y otros académicos del programa; se hizo el levantamiento, pruebas virtuales y se proyectó una puesta en marcha para que fuera habilitado para los estudiantes que de una u otra forma tengan relación con estos temas relevantes para su formación.

La instrumentación y automatización de los procesos industriales requiere de una visión más realista referente a lo que plantean los diferentes investigadores en estas materias, por lo que se hace cada vez más relevante el profundizar en estos aspectos. Debido a esto es que se necesitan profesionales que lleven adelante una mirada más analítica. Para lograr esto es necesario que los académicos cuenten con el tiempo óptimo para liderar esta visión, debido a esto es importante recalcar que este proyecto de título surge como una vía de apoyo a la docencia que busca eliminar el tiempo de ineficiencia referente al armado, cableado y programación en lo que refiere a la experiencia en el laboratorio de instrumentación y automatización. Para así lograr que los estudiantes lleven adelante análisis profundo y puedan innovar sobre las mismas experiencias, tomando como referencia un proceso que funcione de manera óptima y haga referencia desde la programación virtual hasta la ejecución física del mismo.

Este proyecto de título tiene su mirada en la automatización de un banco neumático que cuenta con elementos de entrada como sensores y elementos de salida o actuadores como los pistones de simple efecto los que funcionan con energía neumática que es suministrada por una red de aire existente en el laboratorio la que proviene a su vez desde un compresor que posee el laboratorio de instrumentación de la Universidad de Atacama.

Esta instrumentación es comandada por un PLC marca Schneider modelo m340 de estructura modular al cual se ha cargado previamente un programa tipo Ladder desde un notebook, a través, del protocolo de comunicación serial. Una vez superada la etapa de carga y ejecución del programa en este autómeta se verifica en el banco neumático los efectos de la automatización.

Todo lo anterior es consecuencia de las pautas de laboratorio que son los determinantes para que las experiencias se lleven a cabo de manera eficaz y eficiente.

1.2. Objetivos del Proyecto de Título

1.2.1. Objetivo General

Habilitar un banco neumático en el Taller de Instrumentación de la Universidad de Atacama, con el fin de proveer a las diversas carreras del área técnica una herramienta actualizada y eficiente para la formación de sus estudiantes.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Describir el banco neumático y el proceso de automatización que posee el laboratorio de automatización de la universidad.
- Implementar con los elementos necesario el banco de prueba y su automatización.
- Generar pautas de laboratorio o rúbrica, que permitan ejercer la docencia hacia los estudiantes de la Facultad Tecnológica de manera autónoma.
- Analizar los resultados de la habilitación del laboratorio, desde el punto de vista económico.

1.3. Justificación

Se desarrolló este proyecto de título con el fin de implementar bancos neumáticos para crear más espacios de estudio para los estudiantes de las diversas carreras que conforman la Facultad Tecnológica de la Universidad de Atacama, debido a que los continuos avances del sector hace que las empresas requieren personal con conocimientos más avanzado y específicos, para mejorar el rendimiento y competitividad de estas mismas, y esto a su vez hace que los chilenos tengan que alcanzar requisitos más altos, por consiguiente, la educación tiene que ser más rigurosa.

Los estudios de automatización e instrumentación del país cuentan con bancos para las prácticas ya que es la manera más educativa que se ha manejado en el país sobre estos procesos, estos vienen siendo una herramienta donde se pueden realizar pruebas que se enseñan en la parte teórica de las carreras y con los elementos más utilizados en la industria y así practicar diferentes actitudes frente a los procesos que se ven en las empresas, por eso es importante crear bancos conformes a las necesidades de las personas que quieren entrar a competir así tanto nacional como internacional.

1.4. Formulación del Problema

¿Implementar un banco neumático en el Taller de Instrumentación de la Universidad de Atacama ayudará al proceso de enseñanza - aprendizaje de los diversos estudiantes que pertenecen a la Facultad Tecnológica de dicha institución?

1.5. Metodología

La automatización del banco neumático se llevará adelante mediante la directriz inicial de las experiencias de laboratorio en donde se da cuenta que elementos actuadores neumáticos serán los que necesiten los estudiantes para que comiencen a chequear en vivo la teoría dictada por el docente. Para llevar esto adelante se realizará la programación del controlador lógico programable (PLC) marca Schneider modelo Modicom M340 con el

software unitypro XL. Para la comunicación se utilizará un módulo de entrada digital modelo BMX DDI 1602, un módulo de salida digital modelo BMX DRA 160 y además se llevará adelante la profundización teórica con un escalamiento análogo – digital. El lugar físico de este proyecto de título será el laboratorio de instrumentación de la universidad de atacama como se visualiza en la figura N° 1.1.

Figura N° 1.1. Laboratorio de instrumentación de la Universidad de Atacama.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Instrumentación Industrial

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos: la fabricación de los productos derivados del petróleo, de los productos alimenticios, la industria cerámica, las centrales generadoras de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, etc.

En todos estos procesos, es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, la conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, etc. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar.

En los inicios de la era industrial, la operatoria de los procesos se llevaba a cabo con un control manual de estas variables utilizando sólo instrumentos simples, manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., control que era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos. Sin embargo, la gradual complejidad con que éstos se han ido desarrollando ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido liberando al personal de campo de su función de actuación física directa en la planta y, al mismo tiempo, le han permitido una labor única de supervisión y de vigilancia del proceso desde centros de control situados en el propio proceso o bien en salas aisladas separadas; asimismo, gracias a los instrumentos, ha sido posible fabricar productos complejos en condiciones estables de calidad y de características, condiciones que al operario le serían imposibles o muy difíciles de conseguir, realizando exclusivamente un control manual.

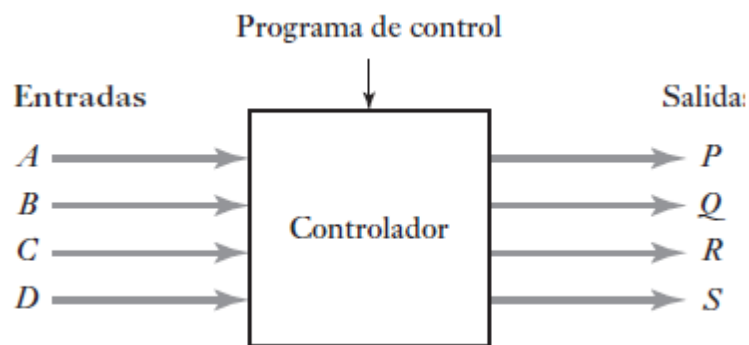
Los procesos industriales para controlar pueden dividirse ampliamente en dos categorías: procesos continuos y procesos discontinuos. En general, en ambos tipos deben

mantenerse las variables (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.), bien en un valor deseado fijo, bien en un valor variable con el tiempo de acuerdo con una relación predeterminada, o bien guardando una relación determinada con otra variable. (Solé, 2010).

2.2. Controlador Lógico Programable (PLC)

En muchos sistemas sencillos tal vez exista un microcontrolador integrado, que sea un microprocesador con memoria todo integrado dentro de un chip, que ha sido específicamente programado para la tarea en cuestión. Una forma más adaptable es el controlador lógico programable (PLC). Éste es un controlador basado en un microprocesador que utiliza memoria programable para almacenar instrucciones y para implementar funciones como secuencia, conteo de tiempo y aritmética lógicas para controlar eventos y que puedan reprogramarse con facilidad para distintas tareas. En la figura N° 2.1 se muestra la acción del control de un controlador lógico programable, las salidas como señales desde, por ejemplo, interruptores cerrados y el programa que se usa para determinar cómo deberá responder el controlador a las entradas y entonces se deberá dar la salida. (Bolton, 2013)

Figura N° 2.1. Controlador Lógico Programable.



Fuente: Bolton, 2013.

Los controladores lógicos programables se utilizan ampliamente en la industria donde se requiere un control de encendido/apagado. Por ejemplo, se puede emplear en el control

del proceso donde se llena un tanque de líquido y luego se calienta a una temperatura específica antes de ser vaciado. De esta manera, la secuencia de control puede ser:

1. Encender la bomba para verter el líquido en el tanque.
2. Apagar la bomba cuando un detector de nivel emita señal de encendido, lo que indica que el líquido ha alcanzado el nivel requerido.
3. Encender el calentador.
4. Apagar el calentador cuando un sensor de temperatura envía la señal de encendido para indicar que se ha alcanzado la temperatura requerida.
5. Encender la bomba para vaciar el líquido del contenedor.
6. Apagar la bomba cuando un detector de nivel envíe una señal de encendido para indicar que el tanque está vacío. (Bolton, 2013).

2.3. Neumática

En la antigüedad los griegos fueron cautivados en su búsqueda de la verdad por cuatro elementos que se presentaban con relativa continuidad y abundancia, estos eran: el agua, el aire, el fuego y la tierra.

Uno en particular, el aire, parecía con su naturaleza volátil y presencia transparente, la más fina expresión de la materia, que en otras “densidades” o “estados” constituía, además, los otros “elementos”. Era casi el alma. En griego la palabra PNEUMA significa “alma” y en consecuencia la técnica que utiliza el aire como vehículo para transmitir energía se llamó PNEUMATICA.

El aire representa en general connotaciones muy importantes desde el punto de vista de su utilización: Desde su necesidad para la vida, hasta contener olas en el mar o impedir

el congelamiento de agua por burbujeo, ha sido empleado en otras importantes funciones cuya evolución se resume así:

- 1500 A.C. Fuelle de mano y pie (Fundición no ferrosa).
- 1762 D.C. Cilindro soplante (John Smeaton).
- 1776 D.C. Prototipo compresor mecánico (John Wilkinson).
- 1861 D.C. Perforadoras neumáticas, G. Someillier (Monte Cenis).
- 1869 D.C. Freno de aire para F.F.C.C. (Westinghouse).
- 1874 D.C. Correo neumático de Viena (Austria).
- 1875 D.C. Correo neumático de Berlín (Alemania).
- 1888 D.C. Reloj neumático (Actuado por impulsos).
- 1891 D.C. Compresor de dos etapas (Riedler).

De allí en más continúa una franca expansión de la aplicación de la técnica neumática, expansión que se produce en forma simultánea con la involución de la utilización del vapor y que coincide con el segundo hecho de la segunda revolución industrial.

En nuestros días la neumática ha tomado fundamentalmente importancia sobre todo en aplicaciones donde la velocidad de actuación debe ser elevada y particularmente en instalaciones donde la seguridad es el factor más importante. (Bronzini, 1997).

2.3.1. Generalidades del Aire Comprimido

El aire comprimido constituye en realidad una forma de transporte de energía y su utilización se ha ido imponiendo paulatinamente como ya se ha visto. Por lo que tenemos:

- Se trata de un medio elástico, así que permite su compresión.
- Una vez comprimido puede almacenarse en recipientes.
- Esta posibilidad de almacenamiento hace que su transporte se efectúe de dos formas: Una por conductos y tuberías y otra en pequeños recipientes preparados para tal efecto.
- Aún comprimido el aire no posee características explosivas, esta particular situación hace de la técnica neumática un aliado fundamental en casos de seguridad. Además, no existen riesgos de chispas o cargas electrostáticas.
- La velocidad de los actuadores neumáticos es razonablemente alta (en términos industriales) y su regulación es posible realizarla fácilmente y en forma continua con ciertas restricciones.
- Los cambios de temperatura no modifican su prestación en forma significativa y no produce calor por sí mismo.
- Requiere instalaciones especiales para la recuperación del fluido utilizado (aire).
- Normalmente se trata de una técnica limpia (desde el punto de vista microscópico) característica que, unida a la seguridad, ya mencionada, proporciona una herramienta eficaz en muchísimos procesos industriales. (Bronzini, 1997).

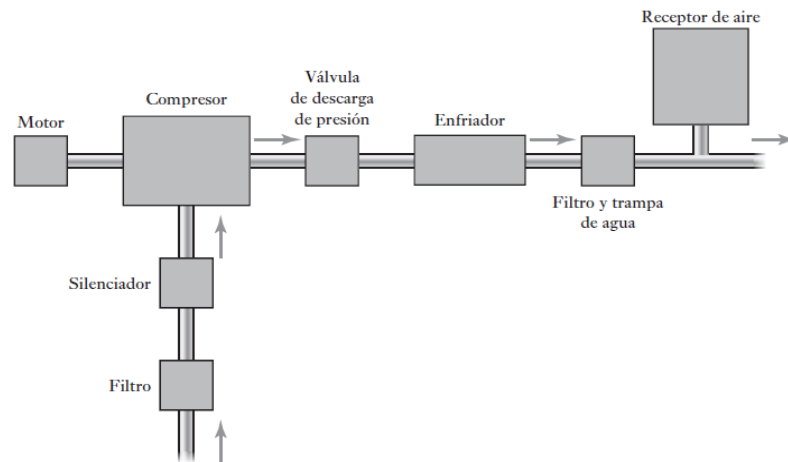
2.4. Sistemas de Actuación

Los sistemas de actuación son los elementos de los sistemas de control que transforman la salida de un microprocesador o un controlador en una acción de control para una máquina o dispositivo. Por ejemplo, puede ser necesario transformar una salida eléctrica del controlador en un movimiento lineal que desplaza una carga. Otro ejemplo sería cuando la salida eléctrica del controlador debe transformarse en una acción que controle la cantidad de líquido que pasa por una tubería. (Bolton, 2013).

2.5 Sistemas Neumáticos

Con un suministro de energía neumática (ver figura N° 2.2) un motor eléctrico impulsa un compresor de aire. La entrada de aire al compresor es probable que se filtre y a través de un silenciador se reduzca el nivel del ruido. Una válvula de descarga de presión ofrece protección contra la presión en el sistema que surge sobre un nivel seguro. Puesto que el compresor de aire aumenta la temperatura del aire, es probable que haya un sistema de enfriamiento y para quitar la contaminación y el agua del aire con un filtro con una trampa de agua. Un receptor de aire aumenta el volumen del aire en el sistema y suaviza cualquier fluctuación de presión a corto plazo.

Figura N° 2.2. Suministro de energía neumática.



Fuente: (Bolton, 2013).

2.6. Válvulas

Las válvulas se usan con sistemas neumáticos e hidráulicos para dirigir y regular el flujo del fluido. Existen básicamente dos formas de válvula, las válvulas de posición finita y las de posición infinita. Las válvulas de posición finita sólo permiten o bloquean el flujo del fluido y así pueden usarse para encender o apagar actuadores. Se pueden emplear para el control direccional del flujo de una trayectoria a otra y así desde un actuador a otro. Las válvulas de posición infinita son capaces de controlar el flujo en cualquier lado entre completamente encendido o apagado y de esta manera se usan para controlar las fuerzas de variación o la tasa de flujo del fluido para una situación de control de proceso. (Bolton, 2013)

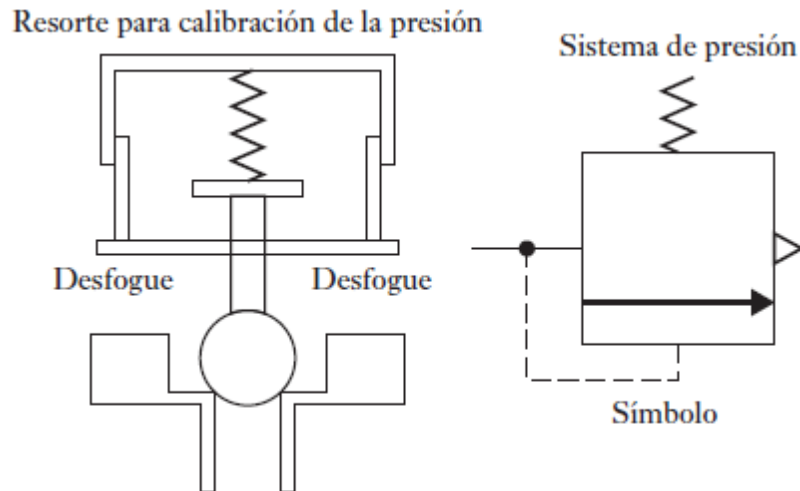
2.6.1. Válvulas de Control de Presión

Hay tres tipos principales de válvulas de control de presión:

- 1) **Válvulas para regulación de presión:** Sirven para controlar la presión de operación en un circuito y mantenerla en un valor constante.
- 2) **Válvulas limitadoras de presión:** Se usan como dispositivos de seguridad para limitar la presión en un circuito abajo de cierto valor de seguridad. La válvula se abre y desfoga a la atmósfera, o devuelve el fluido al pozo recolector si la presión es mayor que el valor de seguridad predeterminado.

A continuación, figura N° 2.3 muestra una válvula limitadora de presión que cuenta con un orificio que por lo general está cerrado. Cuando la presión de entrada supera la fuerza ejercida por el resorte, la válvula abre y desfoga a la atmósfera, o se devuelve al pozo.

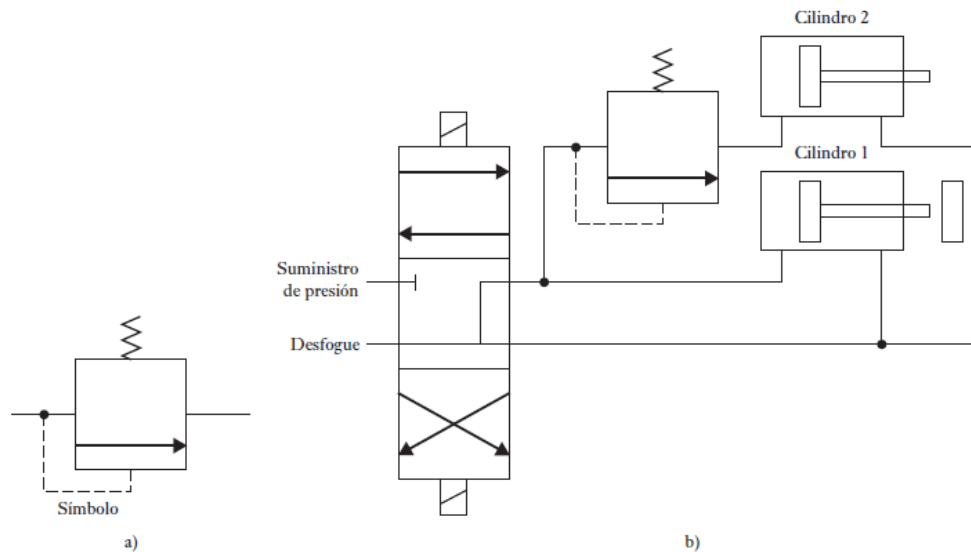
Figura N° 2.3. Válvula limitadora de presión.



Fuente: (Bolton, 2013).

- 3) **Válvulas de secuencia de presión:** Estas válvulas se usan para detectar la presión de una línea externa y producir una señal cuando se alcanza un valor establecido. Con la válvula limitadora de presión de la figura 2.4, la presión límite se establece por la presión a la entrada de la válvula. Se puede adaptar esta válvula para dar una válvula de secuencia. Esto se puede usar para permitir que el flujo tenga lugar en alguna parte del sistema cuando la presión ha subido al nivel requerido. Por ejemplo, en una máquina automática se podría requerir alguna operación para empezar cuando la presión de sujeción aplicada a una pieza de trabajo adquiriera un valor particular. La figura N° 2.4 a) muestra el símbolo para una válvula de secuencia, la válvula que se enciende cuando la presión interna alcanza un valor particular y permite a la presión ser aplicada al sistema que sigue. La figura N° 2.4 b) muestra un sistema en la que se usa dicha válvula de secuencia. Cuando la válvula 4/3 opera primero, se aplica la presión al cilindro 1 y su émbolo se desplaza a la derecha. Mientras esto pasa la presión es demasiado baja para operar la válvula de secuencia y así ninguna presión es aplicada al cilindro 2. Cuando el émbolo del cilindro 1 llega al tope del extremo, la presión en el sistema aumenta y, a un nivel apropiado, activa la válvula de secuencia para abrirla y así aplicar presión al cilindro 2 para empezar el desplazamiento del émbolo. (Bolton, 2013).

Figura N° 2.4. Válvula limitadora de presión a) Símbolo de válvula secuencial, b) Sistema secuencial.



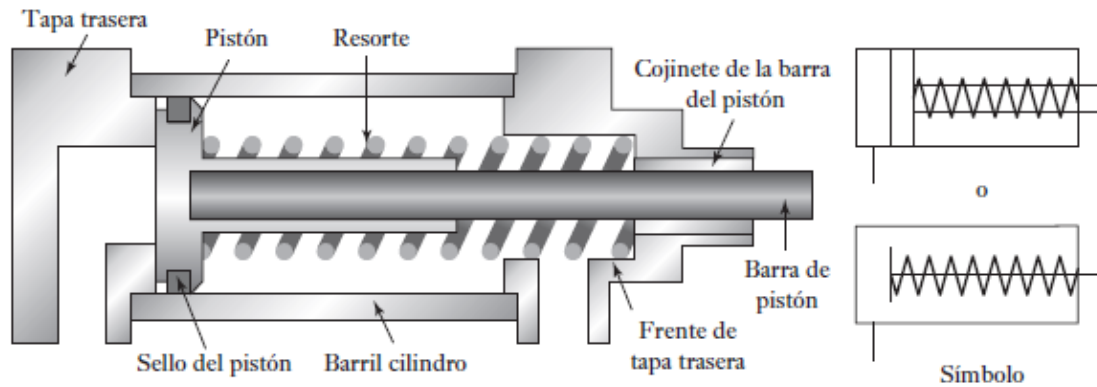
Fuente: (Bolton, 2013).

2.7. Cilindros

El cilindro hidráulico o neumático es un ejemplo de actuador lineal. Los principios y configuración son los mismos para la versión hidráulica y la neumática; la diferencia es el tamaño como consecuencia de las presiones más altas usadas en las versiones hidráulicas. El cilindro consiste en un tubo cilíndrico por el que se desplaza un pistón/émbolo. Existen dos tipos básicos, los cilindros de acción y los cilindros de doble acción.

El término simple acción se utiliza cuando la presión se aplica sólo en uno de los extremos del pistón; en general se utiliza un resorte para oponerse al desplazamiento del pistón. El otro lado del pistón se abre a la atmósfera. La figura N° 2.5 muestra un cilindro con un resorte de regreso. El fluido es aplicado a un lado del pistón a una presión manométrica p con el otro lado a la presión atmosférica y así se produce una fuerza en el pistón de pA , donde A es el área del pistón. La fuerza real que actúa en la barra del pistón será menos que ésta debido a la fricción. (Bolton, 2013).

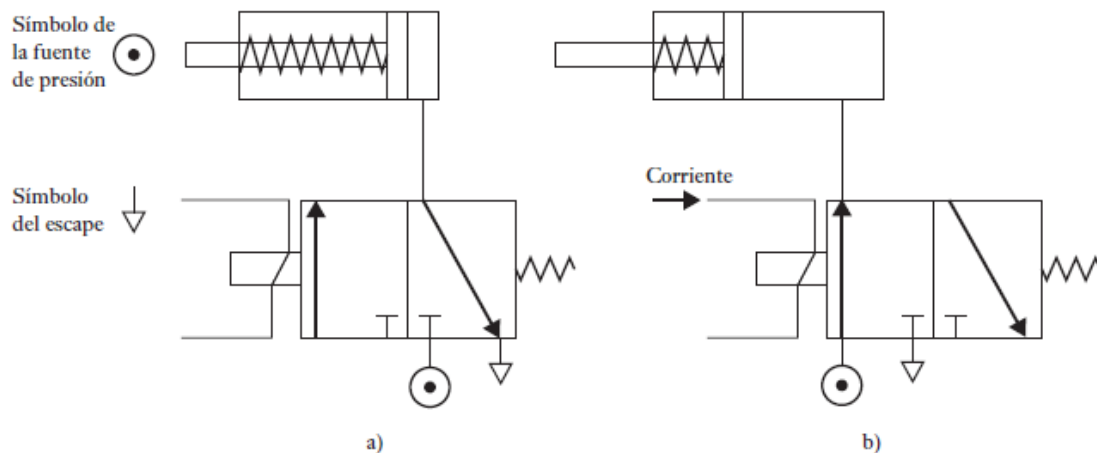
Figura N° 2.5. Cilindro de acción simple.



Fuente: (Bolton, 2013).

Para el cilindro de acción sencilla que se muestra en la figura N° 2.6, cuando las corrientes pasan por el solenoide, la válvula cambia la posición y la presión es aplicada para mover el pistón a lo largo del cilindro. Cuando la corriente a través del solenoide cesa, la válvula vuelve a su posición inicial y el aire se desfoga del cilindro. Como consecuencia, el resorte regresa al pistón hacia atrás a lo largo del cilindro.

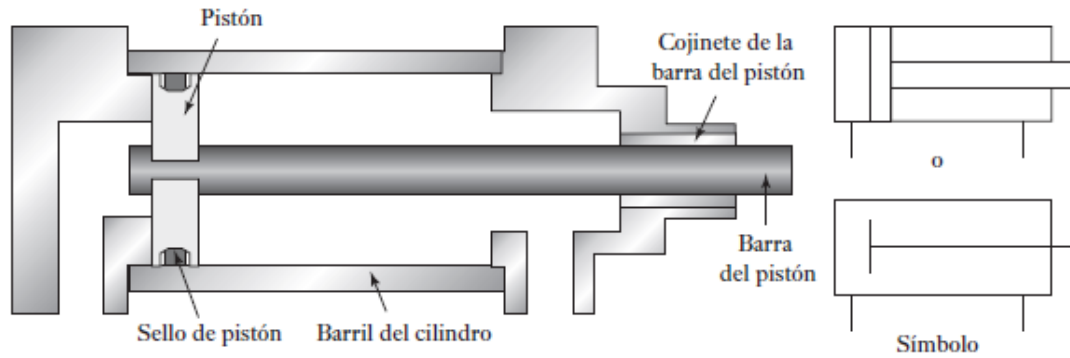
Figura N° 2.6. Control de un cilindro con acción sencilla con a) No corriente, a través, del solenoide, b) Una corriente, a través, del solenoide.



Fuente: (Bolton, 2013).

El término doble acción se utiliza cuando se aplica presión de control a los dos lados de un pistón como se muestra a continuación, en la figura N° 2.7.

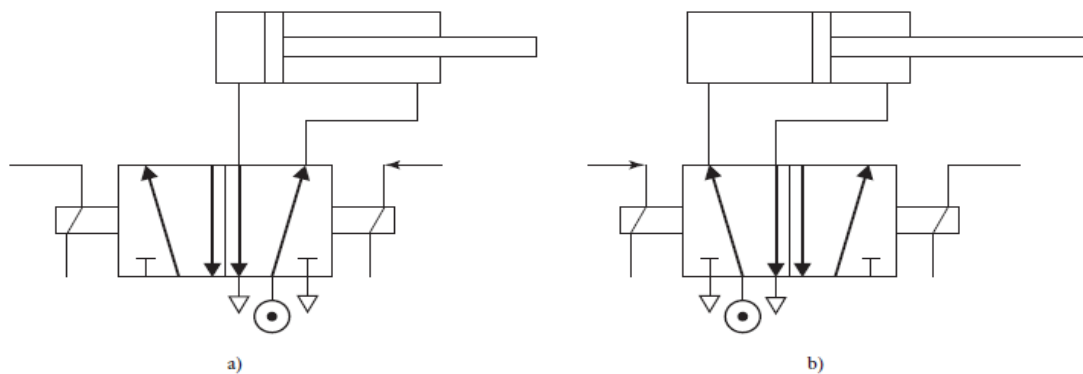
Figura N° 2.7. Cilindro de doble acción.



Fuente: (Bolton, 2013).

La diferencia de presión entre ambos lados produce el movimiento del pistón, el cual se puede mover en cualquier dirección por el cilindro como resultado de las señales de alta presión. En el cilindro de doble acción de la figura N° 2.8, la corriente que pasa por un solenoide causa que el pistón se mueva en una dirección y la corriente por el otro solenoide invierte la dirección del movimiento. (Bolton, 2013).

Figura N° 2.8. Control de un cilindro de un cilindro de doble acción con solenoide, a) No activado, b) Activado.

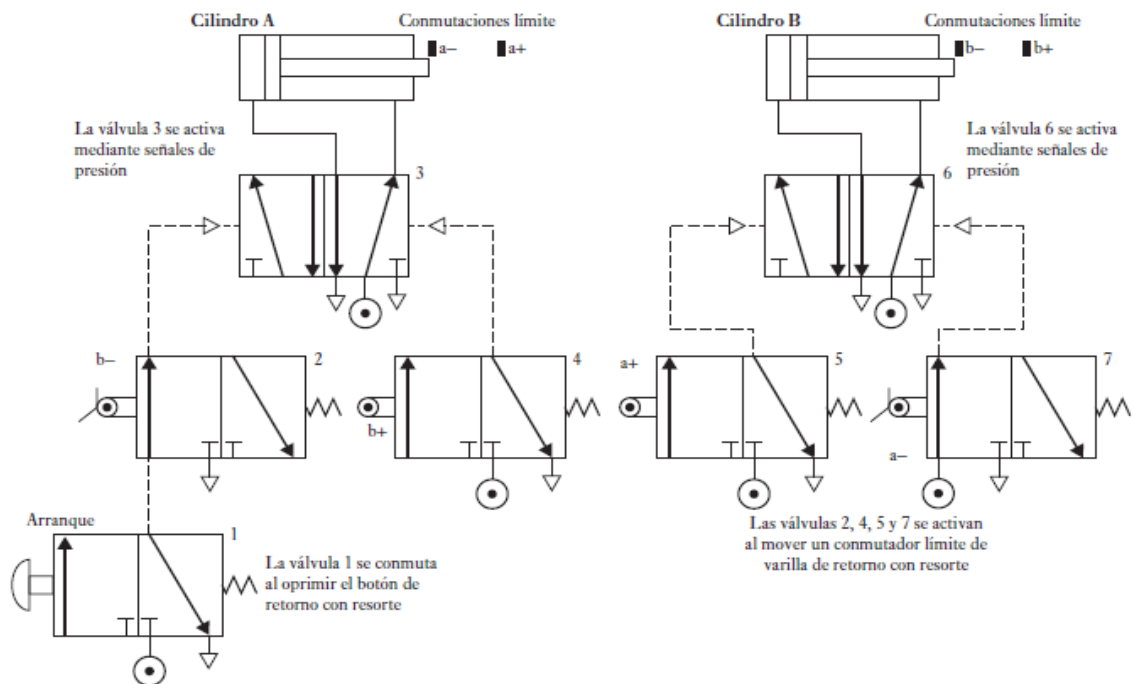


Fuente: (Bolton, 2013).

2.7.1. Secuenciado de Cilindros

En muchos sistemas de control se utilizan cilindros neumáticos e hidráulicos como elementos de actuación que requieren una secuencia de extensiones y contracciones de dichos cilindros. Por ejemplo, suponiendo que se tienen los cilindros A y B y se necesita que al oprimir el botón de arranque se extienda el pistón del cilindro A y, una vez extendido, se extienda el cilindro B. Cuando esto ocurre y ambos cilindros están extendidos, se necesita que el cilindro A se contraiga y una vez que está todo contraído, el pistón B se contraiga. En el control secuencial mediante cilindros es común asignar a los cilindros una literal de referencia A, B, C, D, etc, e indicar el estado correspondiente del cilindro mediante un signo +, si el cilindro está extendido, o un signo - si está contraído. De este modo, la secuencia de operaciones sería: A+, B +, A- y B-. A continuación, en la figura N° 2.9 se muestra un circuito mediante el que se produciría esta secuencia. (Bolton, 2013).

Figura N° 2.9. Operación de dos actuadores secuenciales.



Fuente: (Bolton, 2013).

La secuencia de operación es la siguiente:

Al principio los pistones de ambos cilindros están contraídos. Se oprime el botón de arranque de la válvula 1, esta acción aplica presión a la válvula 2, conforme el interruptor límite b- se activa; a continuación, se conmuta la válvula 3 para aplicar presión al cilindro A y éste se extiende.

El cilindro A se extiende y se deja de presionar el interruptor límite a-. Cuando el cilindro A está del todo extendido, se activa el interruptor límite a+. Éste conmuta la válvula 5 y provoca que se aplique presión a la válvula 6 para conmutarla y así aplicar presión al cilindro B a fin de que se extienda su pistón.

El cilindro B se extiende y se libera el interruptor b-. Una vez que el cilindro B está extendido entra en funcionamiento el interruptor límite b+. Éste conmuta la válvula 4 y causa que se aplique presión a la válvula 3 y al cilindro A para iniciar la contracción de su cilindro.

El cilindro A se contrae y libera al interruptor límite a+. Cuando el cilindro A está extendido se activa el interruptor límite a-. Éste conmuta la válvula 7, aplica presión a la válvula 5 y al cilindro B para que inicie la contracción de su cilindro.

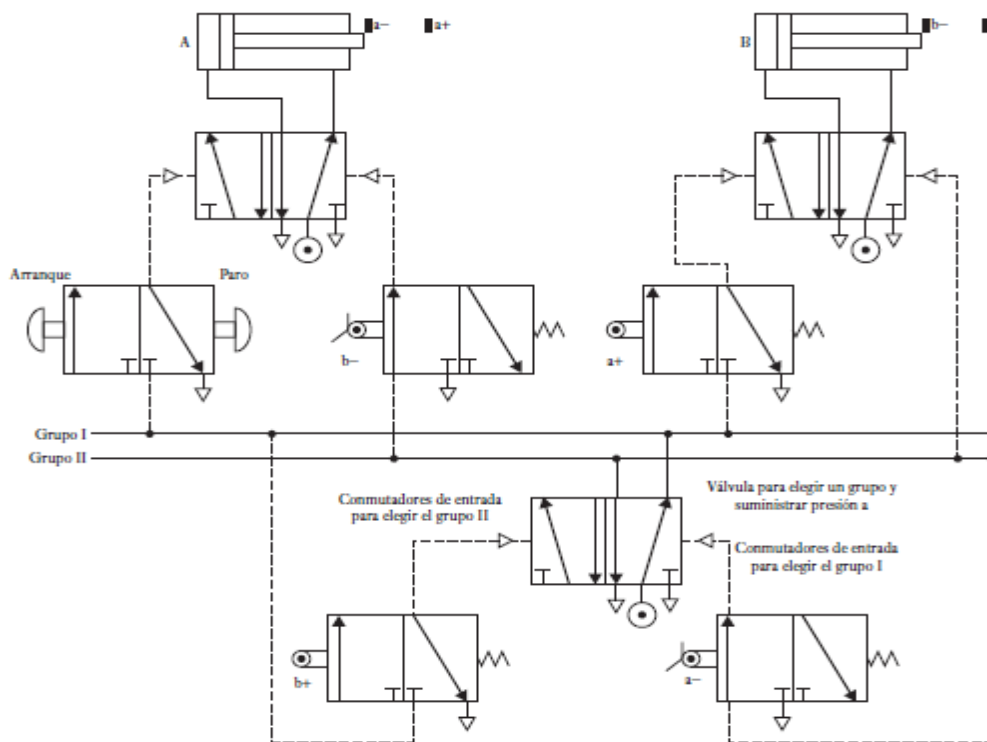
El cilindro B se contrae y libera al interruptor límite b+. Una vez contraído el cilindro B, entra en operación el interruptor límite b- para completar el ciclo.

Para iniciar de nuevo el ciclo basta oprimir el botón de arranque. Si se desea el funcionamiento continuo del sistema, será necesario que el último movimiento de la secuencia active el primer movimiento.

Otra forma de lograr la secuencia anterior es conectar y desconectar por grupos el suministro del aire que se alimenta a las válvulas, método que se conoce como control en cascada y con el cual se evita un problema que puede presentarse en los circuitos

dispuestos como se ve en la figura N° 2.9. En ellos el aire queda atrapado en la línea de presión para controlar una válvula, evitando así que sea conmutada. Al usar el control en cascada, la secuencia de operaciones se distribuye entre grupos donde la letra para identificar los cilindros aparece sólo una vez por grupo. Así, en la secuencia A+, B +, B- y A-, se tendrían los grupos A+, B + y A-, B-. A continuación, se utiliza una válvula para conmutar el suministro de aire entre ambos grupos, es decir, se proporciona aire al grupo A+B + y luego al grupo A-B-. En la línea para seleccionar el primer grupo se incluye una válvula de arranque/paro y, si se desea, la repetición continua de la secuencia, en la última operación se debe producir una señal que inicie de nuevo la secuencia. La primera función de cada grupo se inicia con la conmutación de la fuente de alimentación de ese grupo. Las siguientes acciones del grupo se controlan mediante válvulas operadas por interruptor; la última operación de una válvula activa al siguiente grupo elegido. La figura N° 2.10 muestra el circuito neumático. (Bolton, 2013).

Figura N° 2.10. Control en cascada que se usa para dar A+, B+, B-A-.



Fuente: (Bolton, 2013).

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DEL BANCO NEUMÁTICO

El banco neumático posee la finalidad de facilitar el proceso de enseñanza aprendizaje de los sistemas neumáticos a los estudiantes de las carreras del área, a través, de la práctica de los conocimientos entregados previamente por el docente. Se visualiza que pueda ser utilizado por las asignaturas de instrumentación, automatización u otras que defina la academia.

Este banco neumático deberá contener a los componentes necesarios para armar circuitos simulando de manera experimental lo que se vea en la industria (ver figura N° 3.1).

El banco neumático cuenta con una alimentación de aire suministrada por un compresor, el cual, entrega una compresión constante de 50 PSI esta línea de aire alimenta una electroválvula la que suministra la energía neumática inicial para desarrollar las experiencias.

Figura N° 3.1. Banco neumático existente en la actualidad en el taller de instrumentación de la Universidad de Atacama.



La neumática y la hidráulica, están regidas por las leyes del comportamiento y movimiento de los gases (en general el aire comprimido) y de los líquidos (en general aceites) así como de los problemas que plantea su uso. Etimológicamente estas palabras se derivan de las griegas pneuma e hydro que significan aire y agua respectivamente. La diferencia entre ambas es que el aire es comprensible y el agua, y en general los líquidos, no lo es. [1].

a) **La Neumática:**

La neumática tiene muchas aplicaciones y su uso se encuentra en el rango de aplicaciones para fuerzas entre 1,2 a 3 Toneladas con desplazamientos muy rápidos. Se encuentran motores accionados neumáticamente a velocidades que alcanzan 500.000 rpm. y muchas otras en herramientas portátiles. Su campo de aplicación cubre procesos de control de calidad, embalajes, etiquetados, clutches, y muchas otras en el campo industrial. [1].

Su campo de aplicación abarca procesos de control de calidad, etiquetado, embalaje, herramientas, en todo tipo de industrias.

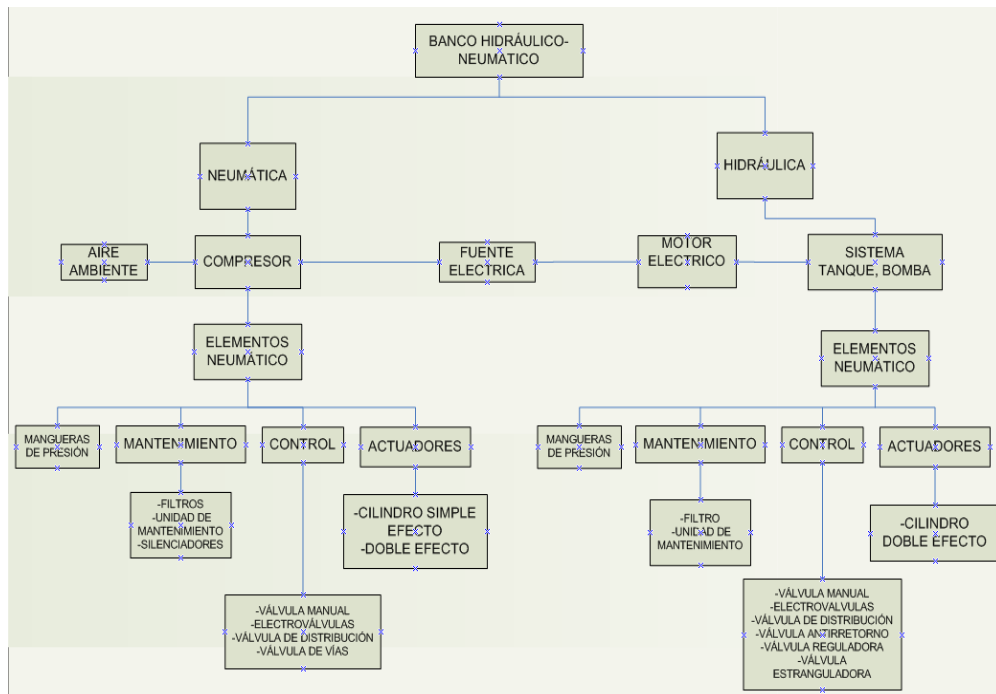
b) **La Hidráulica:**

La hidráulica es apropiada para grandes esfuerzos, tanto en actuadores lineales como en motores de par elevado, y permite un control exacto de velocidad y parada. Su utilización se extiende a las industrias metalúrgicas, a las máquinas-herramientas, prensas, maquinaria de obras públicas, industria naval y aeronáutica, sistemas de transporte, entre otros [1].

3.1. Diseño y Selección de Componentes

Para el diseño del banco se construyó un mapa conceptual para determinar los sistemas neumáticos e hidráulicos que lo componen, como se observa en la figura N° 3.2.

Figura N° 3.2: Mapa conceptual diseño del banco hidráulico neumático.



Fuente: Tipler, 2020.

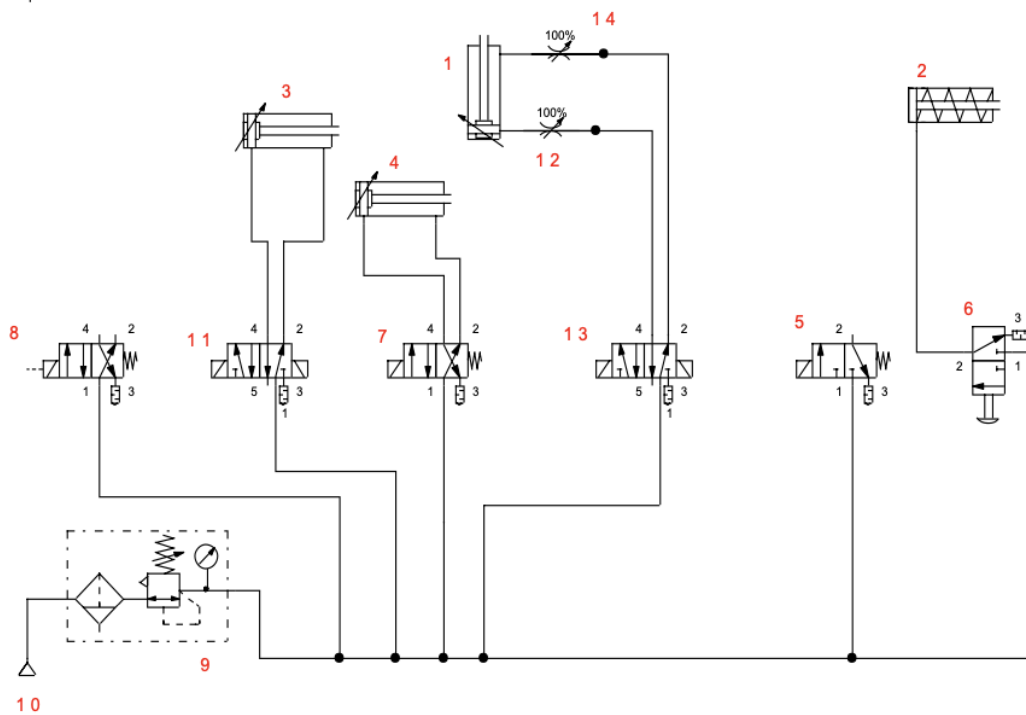
3.1.1. Diseño del Sistema Neumático

Para el diseño del sistema neumático se tuvo en cuenta los elementos con los cuales ya contaba en el laboratorio del banco neumático existente de la UDA. Elementos como: estructuras en aluminio modulado, actuadores doble efecto, actuador de simple efecto con silenciador, manifold de 5 salidas, válvulas solenoides, unidad de mantenimiento con filtro, regulador, lubricador, manómetro y control eléctrico de conectores tipo banana, pulsadores e indicadores lumínicos. A estos elementos se les verificó el estado en el que se encontraban para así definir su posible uso, se rediseñó el banco neumático, incorporando elementos que tendrán importancia para las prácticas a diseñar, con características que se acomodarán al sistema ya implementado. Sin embargo, en el transcurso de este proyecto de título se detectaron fallas en los instrumentos a utilizar: Válvulas, electroválvulas, cilindros, tubos de transmisión de aire, unidades de filtro, regulador y lubricación de aire.

De esta manera, se determinaron las variables requeridas, y sus cálculos utilizando la herramienta Google Sketchup 8, para visualizar y direccionar el objetivo del proyecto, primero en simulación y luego en la parte real.

La figura N° 3.3, se presenta el diseño neumático, elaborados con la herramienta Festo® fluid_sim hidraulic y Festo® fluid_sim pneumatic, respectivamente.

Figura N° 3.3. Diseño neumático con la herramienta Festo® fluid_sim hidraulic.

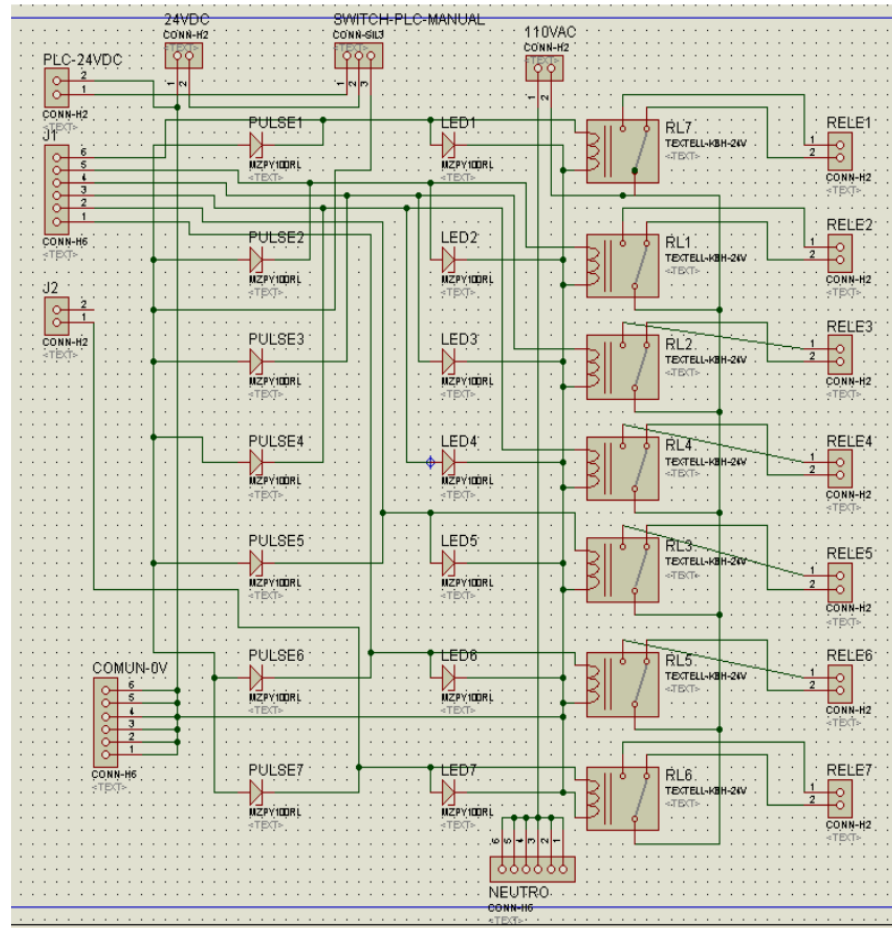


Fuente: Festo Fluid.

3.1.2. Diseño del Sistema Electrónico

Para el manejo o funcionamiento del banco neumático se diseña un circuito electrónico (ver figura N° 3.4) que facilitará dicho proceso.

Figura N° 3.4. Diseño del circuito electrónico para control de banco neumático.

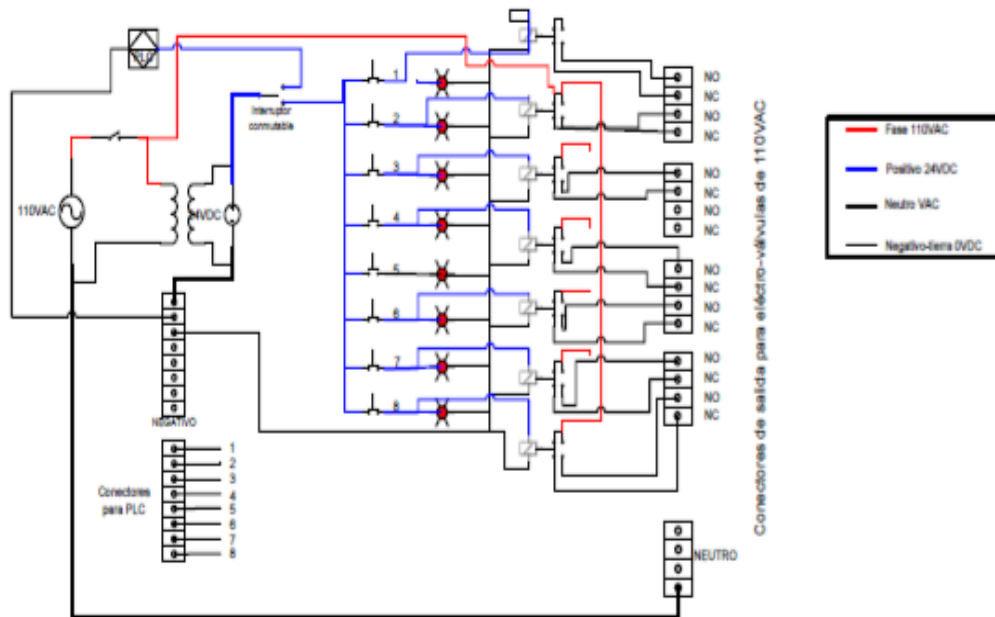


Fuente: Festo Fluid.

3.1.3. Diseño del Sistema Eléctrico

Para el diseño del sistema eléctrico se usaron los programas de Microsoft Office Visio Profesional 2022 para los diagramas de flujo y Proteus para el diseño del circuito eléctrico (ver figura 3.5).

Figura N° 3.5. Diseño del circuito eléctrico.



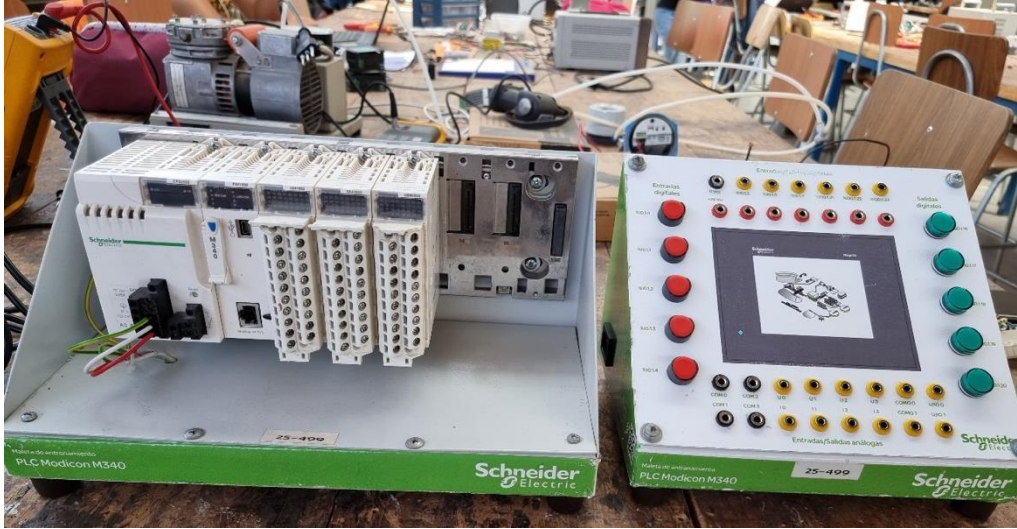
Fuente: Festo Fluid.

3.2. Proceso de Automatización

La automatización en este proyecto tiene como primera medida el hacer posible la visualización de los actuadores en un proceso similar a lo que ocurriría en la industria.

Para llevar a cabo esto se habilitó, verifíco y utilizó el módulo de entrenamiento marca Schneider existente en el taller de instrumentación de la Universidad de Atacama. Desde este punto se programó el PLC de marca Schneider modelo Modicom M340. Luego, se activó una parte de los elementos de entrada digital, a través, de pulsadores que trae consigo el módulo de entrenamiento de Schneider (ver figura N° 3.6). Esto con la finalidad de simular los elementos de entrada al proceso, por ejemplo: Sensores de tamaño de caja, pesómetros, etc. Posteriormente, se verificó el efecto sobre los cilindros de simple y doble efecto.

Figura N° 3.6. Módulo de entrenamiento marca Schneider PLC más módulos de entradas y salidas.



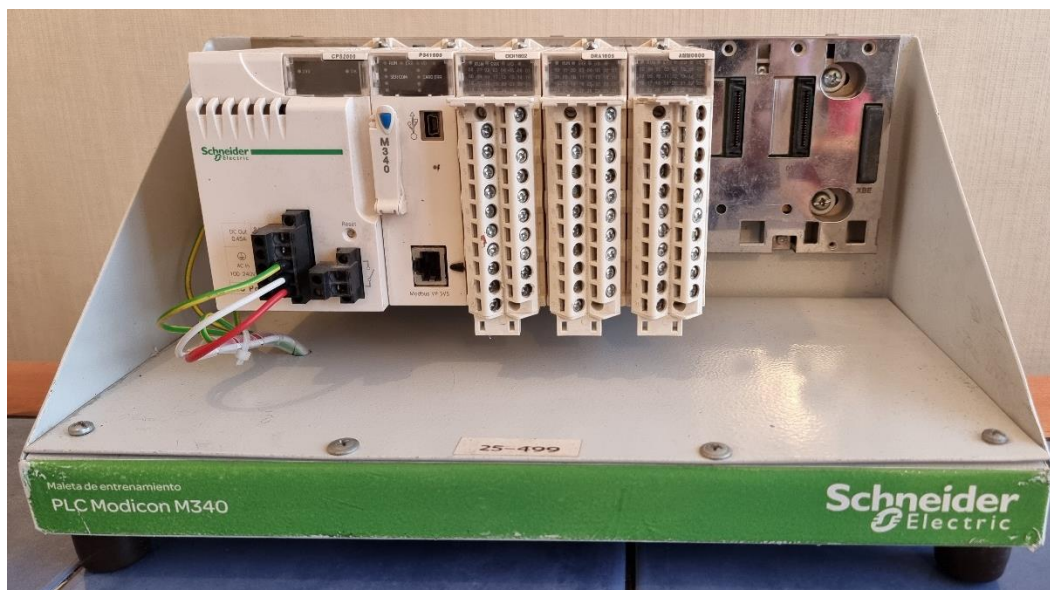
CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO

4.1. Hardware

PLC marca Schneider modelo MODICOM M340 como se visualiza a continuación, en la figura N° 4.1.

Figura N° 4.1. PLC marca Schneider modelo M340 de estructura modular.



Fuente: Catálogo Schneider.

4.1.1. Fuente de Alimentación

La fuente de alimentación utilizada es de la marca Schneider modelo BMXCPS2000 que posee las siguientes características: Tensión primaria 100 VAC a 240 VAC, potencia nominal de 20 W y grado de protección IP 20. Fuente: (Electric, BMXCPS2000, s.f.)

4.1.2. Unidad de Procesamiento Central (CPU)

La CPU utilizada es de la marca Schneider modelo BMXP341000 que posee las siguientes características: Capacidad del procesador de entradas y salidas digitales 512, capacidad del procesador de entradas y salidas analógicas 66 en rack simple y 128 en multirack, número de canales 20, tipo de conexiones integradas (RJ45, RS232 Y RS485),

memoria RAM interna 2048 kB, puerto micro USB de 12 Mbit/s. Fuente: (Electric, BMXP341000, s.f.)

4.1.3. La Tarjeta de Memoria Digital Segura (SD) de la CPU

La tarjeta de memoria SD para la CPU es de marca Schneider modelo BMXRMS128MPF con capacidad de 128 MB. Fuente: (Electric, BMXRMS128MPF, s.f.)

4.1.4. El Módulo de Entrada Digital

El módulo de entrada digital marca Schneider modelo BMXDDI1602 que posee las siguientes características: Número de entradas digitales 16, voltaje de entrada 24 VCC positiva y corriente de entrada 3.5 mA. Fuente: (Electric, BMXDDI1602, s.f.)

4.1.5. El Módulo de Salida Digital a Relé

El módulo de salida digital a relé marca Schneider modelo BMXDRA1605 que posee las siguientes características: Número de salidas discretas 16, tipo de salida digital a relé, tensión de salida (24VCC y 240 VCA) y grado de protección IP 20. Fuente: (Electric, BMXDRA1605, s.f.)

4.1.6. El Módulo de Entrada Salida Análogo Digital

El módulo de entrada salida análogo digital marca Schneider modelo BMXAMM0600 que posee las siguientes características: Numero de entrada analógicas 4, tipo de entrada analógica (4-20mA y +-10V) y grado de protección IP 20. Fuente: (Electric, BMXAMM0600, s.f.)

4.2. Montaje de Elementos en el Banco de Pruebas

Luego de realizar un levantamiento y chequeo exhaustivo de los componentes necesarios para las experiencias prácticas se logró verificar que las válvulas, electroválvulas, mangueras, cilindros, unidad de filtro, regulación y lubricación. Se

encontraban con deficiencias y/o estaban fuera de servicio. Lo que imposibilitó habilitar de manera efectiva la instrumentación necesaria. Debido a lo anterior se debió repensar esta parte del proyecto. Lo que llevó a utilizar los aspectos más significativos de la industria 4.0 y la IoT (Internet Of Things) y así demostrar de manera virtual la viabilidad del proyecto.

Para esto se utilizaron los softwares: CODESYS V3.5.16, KepserverX OPC y Festo FluidSim V4.2p/1.70 Neumática.

4.2.1. Software CODESYS

CODESYS es una plataforma de software para tecnología de automatización industrial. El núcleo de la plataforma es la herramienta de programación IEC-61131-3 "Sistema de desarrollo CODESYS". Ofrece a los usuarios soluciones integradas y orientadas a la práctica para la configuración conveniente de aplicaciones de automatización. El objetivo es proporcionarles un apoyo práctico para sus tareas diarias.

Las interfaces abiertas, las funciones de seguridad integrales y una conexión conveniente a una plataforma de administración basada en la nube hacen de CODESYS una plataforma natural de la Industria 4.0. Los controladores de borde, niebla o nube se pueden desarrollar con CODESYS. El intercambio de datos entre cualquier red IIoT también se puede realizar fácilmente.

Los fabricantes de dispositivos utilizan CODESYS para implementar sus propios componentes de automatización programables o configurables. Para ello, instalan un sistema de tiempo de ejecución. Usando las opciones de productos disponibles, el alcance funcional de su dispositivo se puede definir de manera flexible. Las opciones incluyen productos integrados para visualización, control de movimiento coordinado y conexión a sistemas de bus de campo y Ethernet industrial.

Millones de dispositivos únicos compatibles con CODESYS, más de 1000 tipos de dispositivos diferentes de más de 500 fabricantes y decenas de miles de usuarios finales

de CODESYS en todo el mundo demuestran que CODESYS es la principal herramienta de programación IEC 61131-3 independiente del fabricante. (CODESYS, s.f.)

4.2.2. Software KEPServerEX

Es una solución de conectividad que adquiere cualquier tipo de dato proveniente de un proceso industrial y lo deja disponible en un formato estándar y seguro para cualquier plataforma de supervisión, monitorización, control o análisis de información.

Una de las características más apreciadas de KEPServerEX es su escalabilidad. Se puede crear un proyecto para comunicar inicialmente con un único controlador y, según van creciendo las necesidades, se pueden ir añadiendo nuevos drivers de comunicación. Todo ello desde un único interfaz común.

La gran cantidad de drivers diferentes permiten a KEPServerEX ser el servidor de datos basado en tecnología OPC para comunicar con casi cualquier dispositivo y sistema. Se pueden agregar múltiples drivers de comunicación dentro de un único servidor OPC sin preocuparse por aprender nuevos protocolos de comunicación.

KEPServerEX minimiza el esfuerzo necesario para trabajar con él, concentra toda la configuración en único interfaz, centraliza todos los datos adquiridos en único software y sirve toda la información desde el mismo punto de acceso.

Optimiza las comunicaciones y reduce la carga de la red configurando los tamaños de tramas, separando y priorizando las frecuencias de consulta entre los clientes OPC y las comunicaciones de campo.

KEPServerEX es capaz de proveer la información adquirida de campo a cualquier sistema superior (SCADAs, plataformas IoT o softwares de analítica de datos) de múltiples formas: OPC DA, OPC UA, MQTT, REST, SNMP, ODBC.

Al ser un software de comunicación, KEPServerEX es capaz de encriptar y autenticar las comunicaciones, gestionar el acceso al programa y a los datos o regular los permisos de lectura y escritura de las variables.

Las comunicaciones son un componente tan crítico del sistema que si hay un problema debe ser resuelto tan rápido como sea posible, por ello KEPServerEX incorpora un conjunto de herramientas y loggers específicos para cada tipo de comunicación tanto aguas abajo como aguas arriba. (KEPServerXOPC, s.f.).

4.2.3. Software FluidSIM

Es un software completo para crear, simular, enseñar y aprender circuitos electroneumáticos, electrohidráulicos, digitales y electrónicos. Las distintas funciones del programa se entrelazan a la perfección y vinculan diferentes medios y fuentes de conocimiento.

FluidSIM combina un editor de circuitos intuitivo con descripciones detalladas de todos los componentes, fotos de componentes, animaciones de vistas en sección y secuencias de vídeo. El software de simulación es ideal para preparar las clases, utilizarlo en clase y para el autoaprendizaje.

FluidSIM dispone de una amplia gama de componentes neumáticos, hidráulicos, electrotécnicos, electrónicos y digitales incluidos en bibliotecas. Se dividen en las tres áreas de neumática, hidráulica e ingeniería eléctrica y en FluidSIM están disponibles por separado o conjuntamente. También se incluyen componentes GRAFCET simulables en todos los paquetes.

Con el hardware EasyPort, disponible por separado, FluidSIM se encuentra aún más cerca de la industria. De este modo, FluidSIM puede utilizarse tanto como control de plantas reales (hardware-in-the-loop) como una sustitución de las mismas (software-in-the-loop). De este modo, los alumnos comprueban directamente en la práctica los conocimientos aprendidos teóricamente. Además, es compatible con el estándar industrial

OPC-UA. La simulación de los controles y procesos se considera un estándar industrial desde hace mucho tiempo, ayuda a minimizar las pérdidas por fallos y a prevenir errores, además de garantizar una mayor eficacia y calidad. (FESTO, s.f.)

CAPÍTULO V

PAUTAS DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DEL COSTO

5.1. Pautas de laboratorio

El enfoque principal de este proyecto es el apoyo a la docencia por lo cual se realizaron pautas de laboratorio para las experiencias número uno y número dos.

5.1.1. Pauta de Laboratorio Experiencia Número Uno

Se requiere automatizar la siguiente secuencia neumática:

A+B+C+D+E+A-B-C-D-E- inicio e0 más pul.

De lo anterior se requiere diseñar el diagrama de fases, realizar la programación en PLC en lenguaje Grafset, realizar diagrama de bloques lógico y visualizar resultados.

5.1.2. Diagrama de fases

Un diagrama de fases, también conocido como diagrama de equilibrio de fases o diagrama de fase, es una representación gráfica que muestra los diferentes estados de agregación (sólido, líquido, gas) de una sustancia o sistema en función de la temperatura y la presión. Estos diagramas son útiles para comprender y predecir el comportamiento de las sustancias en diferentes condiciones.

En un diagrama de fases, los ejes horizontal y vertical representan la temperatura y la presión, respectivamente. Las líneas que aparecen en el diagrama indican las condiciones de temperatura y presión en las que dos fases coexisten en equilibrio. Estas líneas se conocen como líneas de equilibrio o líneas de fase.

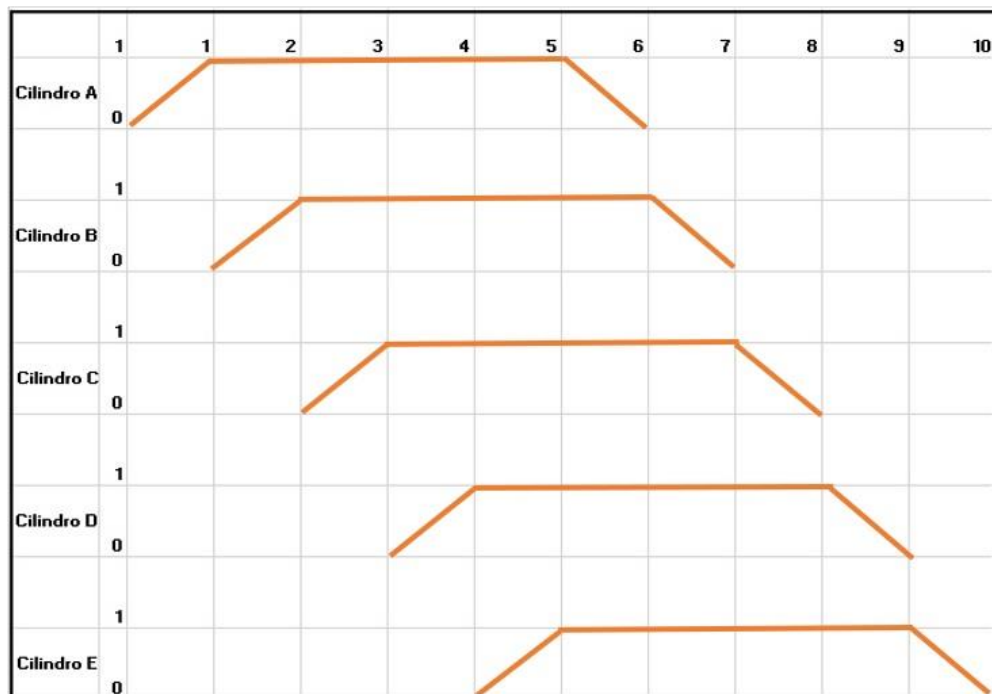
Los puntos en el diagrama de fases representan las condiciones en las cuales una sustancia puede existir en un estado puro en equilibrio. Estos puntos se denominan puntos críticos y corresponden a la temperatura y la presión crítica de la sustancia.

Además de las líneas de equilibrio y los puntos críticos, los diagramas de fases pueden incluir regiones o áreas que representan las fases estables en diferentes rangos de temperatura y presión.

Por ejemplo, en el caso del agua, un diagrama de fases típico muestra las fases sólida (hielo), líquida (agua) y gaseosa (vapor) en función de los cambios de temperatura y presión. La línea que separa el hielo y el agua líquida se llama "línea de fusión" o "curva de solidus", y la línea que separa el agua líquida y el vapor se llama "curva de vaporización" o "línea de ebullición". En el punto crítico, las tres fases coexisten y las propiedades físicas se vuelven indistinguibles entre sí.

Los diagramas de fases (ver figura N° 5.1) son útiles para comprender cómo las sustancias cambian de fase en diferentes condiciones y para prever cómo se comportarán en diversas situaciones de temperatura y presión. Estos diagramas son ampliamente utilizados en campos como la física, la química, la termodinámica y la ingeniería.

Figura N° 5.1. Diagrama de fases para la experiencia número uno.



Fuente: Catálogo diagrama de fases.

5.1.3. Programa del PLC en lenguaje Grafcet

El lenguaje Grafcet es un estándar de programación gráfica utilizado en la programación de controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés). El Grafcet se basa en la representación gráfica de los estados y transiciones de un sistema automatizado.

A continuación, mostraré un ejemplo básico de un programa en lenguaje Grafcet para un PLC:

1. Inicio:

- Acción: Iniciar el sistema.
- Transición: Condición de inicio cumplida.

2. Estado 1:

- Acción: Realizar una tarea específica.
- Transición: Condición de transición cumplida.

3. Estado 2:

- Acción: Realizar otra tarea específica.
- Transición: Condición de transición cumplida.

4. Estado 3:

- Acción: Realizar una tarea adicional.
- Transición: Condición de transición cumplida.

5. Fin:

- Acción: Detener el sistema.
- Transición: Condición de finalización cumplida.

Este es solo un ejemplo básico de un programa Grafcet en un PLC. En un programa real, los estados y transiciones pueden ser mucho más complejos y pueden involucrar múltiples acciones y condiciones.

Es importante tener en cuenta que la implementación exacta del lenguaje Grafcet puede variar según el fabricante del PLC o el software de programación utilizado. Además, el Grafcet a menudo se combina con otros lenguajes de programación como ladder diagram (LD) o structured text (ST) para realizar tareas más complejas. Por lo tanto, es recomendable consultar la documentación específica del PLC o el software de programación que estás utilizando para obtener información detallada sobre cómo implementar el Grafcet en tu sistema.

Figura N° 5.2. Programa del PLC para la experiencia número uno.

```

1  PROGRAM PLC_PRG
2  VAR
3  A, B, C, D, E, a0, a1, b0, b1, c0, c1, d0, d1, e0, e1, pul: BOOL;
4  x1, x2, x3, x4, x5: INT;
5  END_VAR

1  a0:=TRUE;
2  b0:=TRUE;
3  c0:=TRUE;
4  d0:=TRUE;
5  e0:=TRUE;

1  IF a0=TRUE THEN
2      x1:=0;
3  END_IF
4  IF x1<=100 THEN
5      x1:=x1+1;
6      a0:=FALSE;
7  END_IF
8  IF x1=100 THEN
9      a1:=TRUE;
10 END_IF

1  IF x5>=0 THEN
2      x5:=x5-1;
3      e1:=FALSE;
4  END_IF
5  IF x5=0 THEN
6      e0:=TRUE;
7  END_IF

```

Fuente: Software CODESYS.

5.1.4. Diagrama de bloques lógicos Grafcet

El lenguaje Grafcet es una herramienta gráfica para describir la secuencia de funcionamiento de un sistema automatizado. A diferencia de los diagramas de bloques lógicos, que se utilizan para representar circuitos eléctricos o lógicos, el Grafcet se centra en los estados y transiciones del sistema.

Sin embargo, puedo mostrarte cómo representar algunos elementos lógicos comunes utilizando símbolos Grafcet. A continuación se muestra una lista de símbolos Grafcet y su equivalencia con algunos bloques lógicos:

1. Contacto normalmente abierto:

- Símbolo Grafcet: |
- Equivalencia lógica: Contacto abierto

2. Contacto normalmente cerrado:

- Símbolo Grafcet: /
- Equivalencia lógica: Contacto cerrado

3. Bobina (salida):

- Símbolo Grafcet: \Rightarrow
- Equivalencia lógica: Bobina de salida

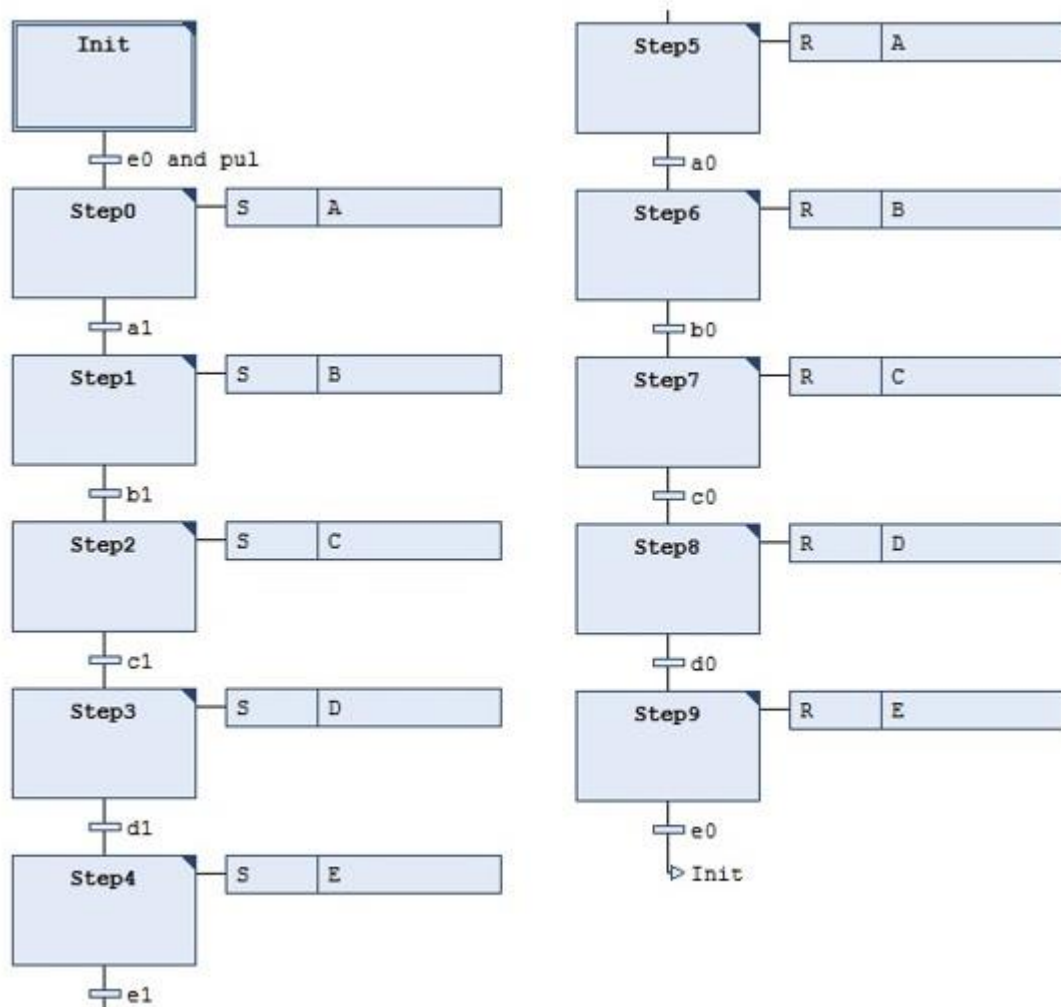
4. Temporizador:

- Símbolo Grafcet: T
- Equivalencia lógica: Temporizador

Estos son solo algunos ejemplos básicos de cómo se pueden representar los elementos lógicos en un diagrama Grafcet. Es importante tener en cuenta que el Grafcet se utiliza principalmente para describir la secuencia y el comportamiento de un sistema automatizado, y no para representar circuitos eléctricos o lógicos detallados.

Si necesitas diseñar un diagrama de bloques lógicos para un circuito eléctrico o lógico específico, te recomendaría utilizar herramientas específicas para ello, como software de diseño de circuitos o lógica, donde encontrarás símbolos y elementos gráficos adecuados para ese propósito.

Figura N° 5.3. Diagrama de bloques lógico para la experiencia número uno.

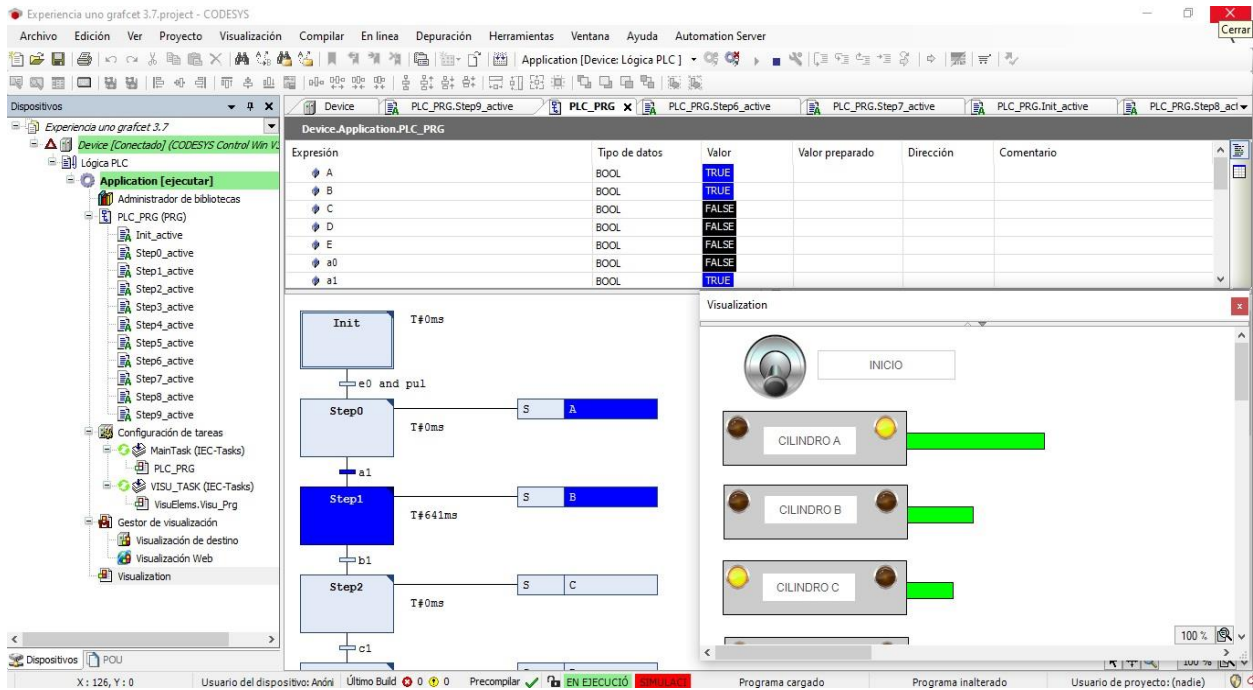


Fuente: Software CODESYS.

5.1.5. Visualización de resultados

La visualización de resultados se realiza a través del software CODESYS, es un entorno de desarrollo integrado (IDE) utilizado para la programación de controladores lógicos programables (PLC) y sistemas de automatización industrial. Proporciona un conjunto de herramientas y funciones que permiten a los ingenieros desarrollar y depurar programas de control de manera eficiente. A continuación, en la figura N° 5.4 se observa la simulación de los resultados para la experiencia número uno.

Figura N° 5.4. Simulación de los resultados para la experiencia número uno.



Fuente: Software CODESYS.

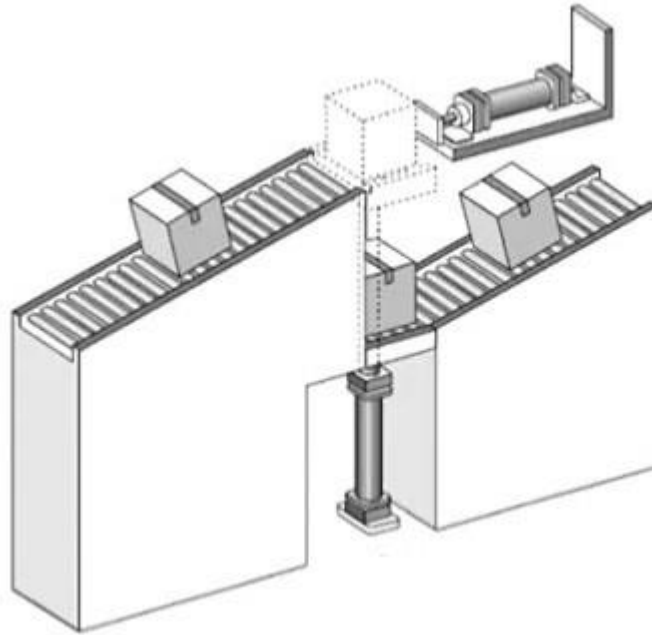
5.2. Pauta de Laboratorio Experiencia Número Dos

Una cinta transportadora posee un sensor de proximidad B0 el cual permite comprobar si existe presencia de una caja en la cinta transportadora. Si se cumple la condición de activación del sensor B0 deberá activar el cilindro 1.0 de elevación y luego el cilindro 2.0 de transferencia hacia otra cinta transportadora.

Para efectos lógicos el cilindro 1 retrocederá primero y luego el cilindro 2. Los cilindros se activarán al accionar las electroválvulas mediante las bobinas Y1 e Y2. Las posiciones de los cilindros se supervisan por medio de los interruptores de proximidad B2 o B5. Las cajas vienen de un proceso previo el cual permite que estas lleguen de manera individual por la cinta transportadora.

De lo anterior se requiere diseñar el circuito neumático, realizar el programa del PLC en lenguaje Ladder y verificar resultados enlazándolo mediante protocolo OPC UA.

Figura N° 5.5. Imagen de referencia para llevar adelante la experiencia.



Fuente: Catálogo Ladder.

5.2.1. Diseño del circuito neumático

Para diseñar un circuito neumático, es necesario tener en cuenta los componentes neumáticos y las conexiones necesarias para el funcionamiento del sistema. A continuación, se presentan los pasos generales para el diseño de un circuito neumático:

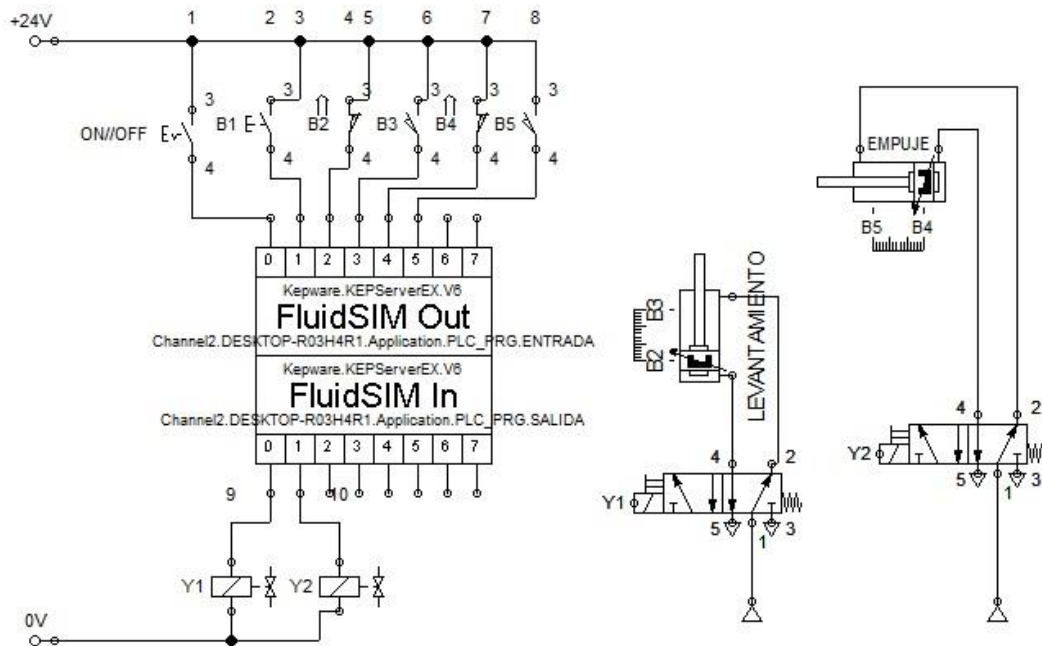
1. **Identifica los requisitos:** Determina los requisitos del sistema neumático, como la presión de trabajo, el caudal necesario, el tipo de actuadores requeridos (cilindros, motores, etc.) y las operaciones que se deben realizar.
2. **Selecciona los componentes neumáticos:** Selecciona los componentes necesarios para el circuito, que pueden incluir válvulas, cilindros, filtros, reguladores de presión, manómetros, entre otros. Asegúrate de elegir componentes compatibles con las especificaciones del sistema y con las condiciones de trabajo requeridas.
3. **Dibuja un esquema:** Realiza un esquema del circuito neumático. Puedes hacerlo a mano en papel o utilizar software de diseño de circuitos para crear un esquema

electrónico. El esquema debe incluir todos los componentes y las conexiones entre ellos.

4. **Diseña las conexiones:** Determina cómo se conectarán los componentes neumáticos en el circuito. Utiliza tubos, mangueras y accesorios adecuados para las conexiones. Asegúrate de seguir las especificaciones de tamaño y tipo de conexión recomendadas por los fabricantes de los componentes.
5. **Establece la secuencia de operación:** Define la secuencia de operación de los actuadores neumáticos. Esto implica determinar qué válvulas se activarán y en qué orden para lograr la secuencia de movimientos deseada. Considera el uso de válvulas direccionales, válvulas de control de caudal y otros dispositivos según sea necesario.
6. **Realiza las conexiones eléctricas:** Si el circuito neumático incluye componentes eléctricos, como sensores o válvulas solenoides, asegúrate de realizar las conexiones eléctricas adecuadas. Utiliza cables y conectores adecuados y sigue los diagramas de conexión proporcionados por los fabricantes de los componentes.
7. **Prueba y ajusta:** Una vez que el circuito neumático está montado, realiza pruebas para verificar su funcionamiento. Verifica que todos los componentes se activen correctamente y que las operaciones se realicen según lo previsto. Realiza ajustes si es necesario para optimizar el rendimiento del sistema.

A continuación, la figura N° 5.6 muestra el circuito neumático de la experiencia número dos.

Figura N° 5.6. Circuito neumático de la experiencia número dos.

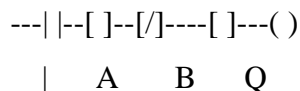


Fuente: Software fluidsims.

5.2.2. Programa del PLC en lenguaje Ladder (LD)

El lenguaje Ladder (LD) es un lenguaje de programación comúnmente utilizado en la programación de controladores lógicos programables (PLC). Se basa en la representación gráfica de circuitos de relés y contactos eléctricos utilizando símbolos y diagramas similares a una escalera.

A continuación, se muestra un ejemplo básico de un programa en lenguaje Ladder para un PLC:



En este ejemplo, tenemos un circuito Ladder con tres componentes:

1. **Contacto normalmente abierto (A):** Representado por el símbolo | |. Este contacto actúa como una condición que debe cumplirse para que la corriente fluya a través de él.
2. **Bobina (Q):** Representada por el símbolo (). La bobina es el resultado de la acción del circuito y se activa cuando se cumplen las condiciones de los contactos.
3. **Contacto normalmente cerrado (B):** Representado por el símbolo []. Este contacto actúa como una condición inversa a un contacto normalmente abierto. La corriente fluye a través de él cuando el contacto está en reposo o cerrado.

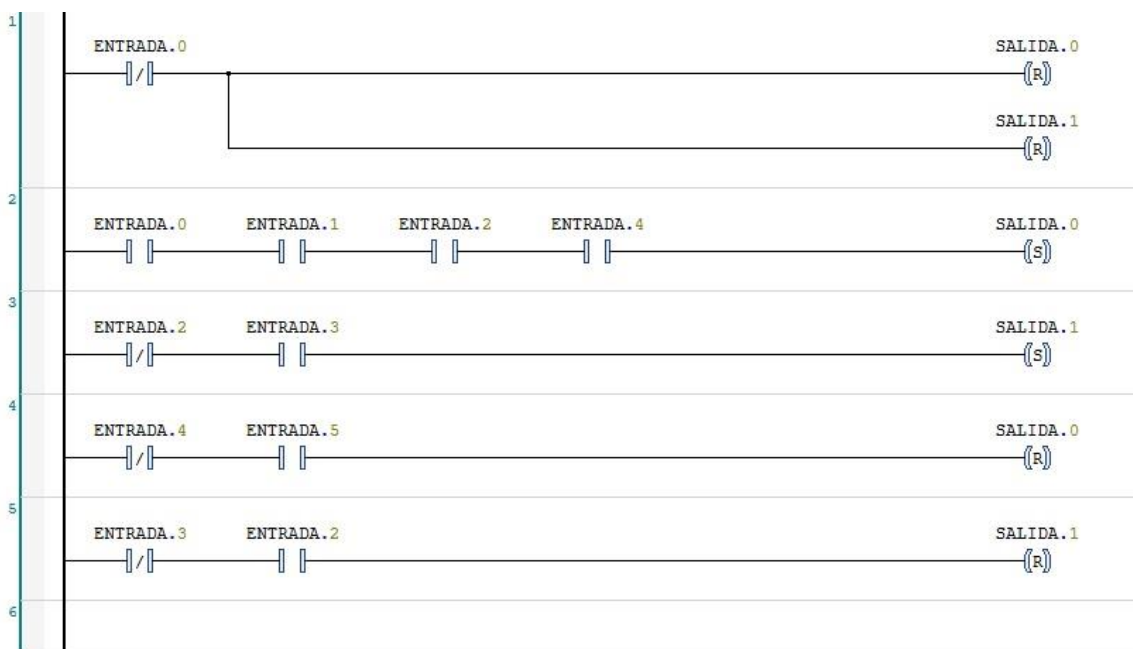
El programa Ladder se interpreta de izquierda a derecha y de arriba a abajo. En este ejemplo, la bobina Q se activará cuando se cumplan las siguientes condiciones: el contacto A está cerrado y el contacto B está abierto.

Es importante destacar que el lenguaje Ladder permite la combinación de múltiples contactos y bobinas para crear programas más complejos. Además, se pueden utilizar otros elementos y funciones, como temporizadores, contadores y operaciones lógicas, para realizar tareas más avanzadas de control.

Recuerda que la sintaxis y la simbología pueden variar ligeramente dependiendo del fabricante del PLC y del software de programación utilizado. Es recomendable consultar la documentación específica del PLC o el software de programación que estés utilizando para obtener información detallada sobre cómo programar en lenguaje Ladder en tu sistema.

A continuación, la figura N° 5.7 muestra el programa del PLC en lenguaje Ladder.

Figura N° 5.7. Programa del PLC en lenguaje Ladder.



Fuente: Software CODESYS.

5.2.3. Comunicación mediante protocolo OPC UA

Se realiza la comunicación entre el software CODESYS de PLC multimarca y el software de diseño y simulación neumática FluidSim mediante protocolo OPC Server con el software KeepServer.

La comunicación mediante el protocolo OPC UA (OPC Unified Architecture) es ampliamente utilizado en la industria para intercambiar datos y realizar control y supervisión en sistemas de automatización. OPC UA es una arquitectura abierta y estándar que ofrece una comunicación segura y confiable entre diferentes dispositivos y sistemas.

A continuación, se indican los pasos de una descripción general de cómo funciona la comunicación mediante el protocolo OPC UA:

1. **Cliente OPC UA:** El cliente OPC UA es una aplicación o dispositivo que solicita datos o envía comandos a un servidor OPC UA. Puede ser un sistema SCADA,

una aplicación de monitoreo o cualquier dispositivo que necesite acceder a datos del servidor OPC UA.

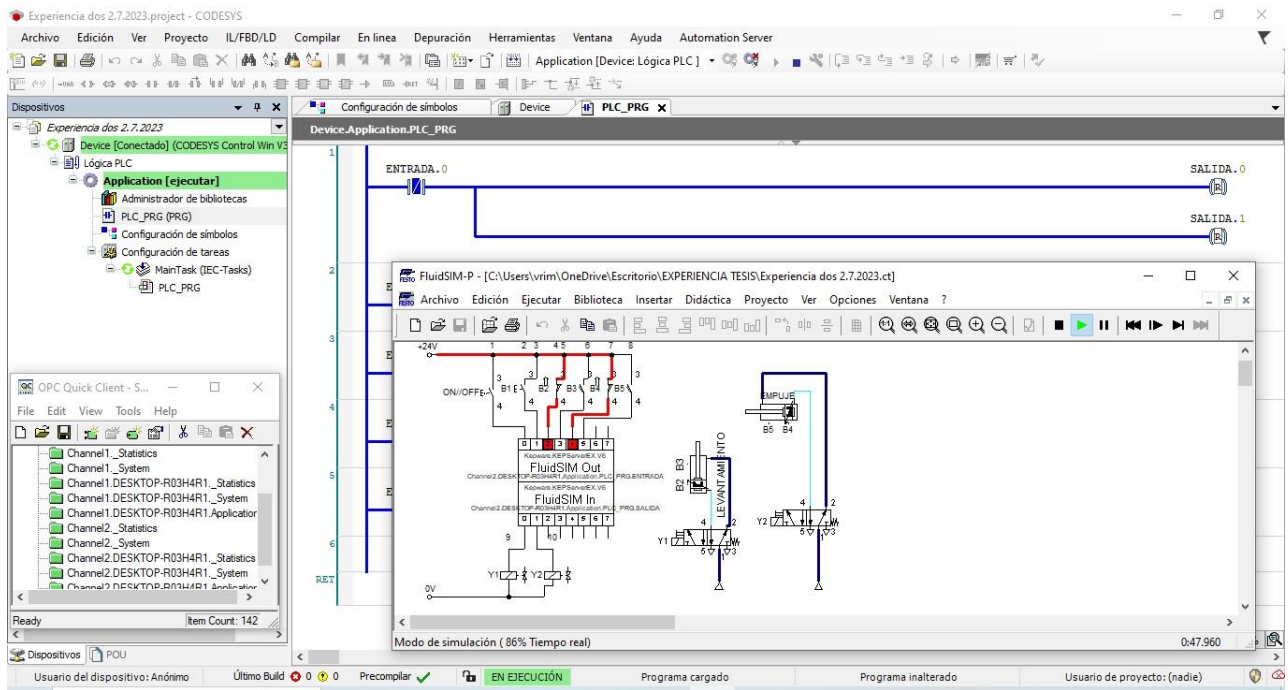
2. **Servidor OPC UA:** El servidor OPC UA es una aplicación o dispositivo que proporciona los datos y servicios a los clientes OPC UA. Puede ser un PLC, un sistema de control o cualquier dispositivo que contenga información que se desea compartir.
3. **Descubrimiento:** Antes de establecer una conexión, el cliente OPC UA necesita descubrir los servidores disponibles en la red. Esto se logra mediante la búsqueda de servidores OPC UA a través del protocolo mDNS (Multicast DNS) o utilizando direcciones IP conocidas.
4. **Establecimiento de conexión:** Una vez que el cliente ha descubierto el servidor OPC UA, se establece una conexión segura y confiable utilizando un mecanismo de autenticación y encriptación. OPC UA utiliza certificados X.509 para autenticar y asegurar las comunicaciones entre el cliente y el servidor.
5. **Navegación y descubrimiento de objetos:** Una vez que la conexión se ha establecido, el cliente puede navegar a través de la estructura de objetos del servidor OPC UA para descubrir los nodos disponibles, como variables, alarmas, eventos, métodos, etc. Esto permite al cliente obtener información sobre los datos y servicios que el servidor proporciona.
6. **Lectura y escritura de datos:** El cliente OPC UA puede leer y escribir datos en los nodos del servidor. Puede solicitar la lectura de valores de variables, escribir nuevos valores en variables y realizar operaciones específicas definidas por el servidor.
7. **Suscripción y notificaciones:** OPC UA permite la suscripción a cambios de datos en tiempo real. El cliente puede suscribirse a nodos específicos y recibir

notificaciones automáticas cuando los datos cambien, evitando así la necesidad de realizar solicitudes repetitivas.

La comunicación mediante el protocolo OPC UA ofrece ventajas como la interoperabilidad entre diferentes sistemas, la seguridad de los datos, la facilidad de integración y la capacidad de soportar una amplia gama de plataformas y dispositivos.

Es importante destacar que la implementación del protocolo OPC UA puede variar dependiendo del fabricante del dispositivo o software utilizado. Además, existen bibliotecas y herramientas disponibles para facilitar la implementación y desarrollo de aplicaciones basadas en OPC UA.

Figura N° 5.8. Comunicación efectiva entre software CODESYS y el software FluidSim. Mediante protocolo OPC UA software KeepServer.



Fuente: Software CODESYS, fluidsim y KeepServer.

5.3. Análisis de costo

Para realizar un análisis del costo del levantamiento y automatización del banco neumático del taller de instrumentación, es necesario considerar los siguientes aspectos:

1. **Costos de materiales:** Identifica y lista los materiales necesarios para el levantamiento y la automatización del banco neumático. Esto puede incluir componentes neumáticos (cilindros, válvulas, tuberías, etc.), controladores lógicos programables (PLC), sensores, cables, herramientas, entre otros.
2. **Costos de mano de obra:** Determina los costos asociados con la mano de obra requerida para llevar a cabo el proyecto. Esto puede incluir el tiempo y el salario de los técnicos o ingenieros que realizarán el levantamiento y la automatización del banco neumático.
3. **Costos de ingeniería:** Si es necesario, considera los costos de ingeniería asociados con el diseño, planificación y desarrollo del proyecto. Esto puede incluir servicios de consultoría o contratación de especialistas en automatización.
4. **Costos de instalación:** Considera los costos asociados con la instalación de los componentes neumáticos y la infraestructura requerida, como la conexión de tuberías, la fijación de los componentes en su lugar, etc.
5. **Costos de programación y configuración:** Si se requiere programación y configuración del PLC u otros dispositivos, incluye los costos asociados con esta actividad. Esto puede implicar el tiempo y los recursos necesarios para desarrollar y cargar el programa en el PLC, configurar las comunicaciones y realizar pruebas.
6. **Costos de puesta en marcha y pruebas:** Considera los costos asociados con la puesta en marcha del banco neumático y las pruebas necesarias para asegurar su correcto funcionamiento. Esto puede incluir el tiempo dedicado a la verificación

de todas las funcionalidades, la calibración de los sensores y la solución de cualquier problema o ajuste necesario.

7. **Costos de capacitación y documentación:** Si se requiere capacitación del personal o la generación de documentación técnica, incluye los costos asociados con estos aspectos. Esto puede implicar la contratación de un especialista en capacitación o la asignación de tiempo y recursos para desarrollar manuales y documentación.

Es importante realizar una estimación detallada de los costos asociados con cada aspecto mencionado anteriormente y sumarlos para obtener el costo total del levantamiento y la automatización del banco neumático. Además, también considera los beneficios y el retorno de la inversión que se espera obtener a través de la mejora en la eficiencia y la productividad del taller de instrumentación.

5.4. Inversiones

Las inversiones se refieren a la colocación de recursos, ya sean financieros, materiales o de tiempo, en activos, proyectos o empresas con la expectativa de obtener beneficios futuros. Estas inversiones se realizan con el propósito de aumentar el valor del capital invertido, generar ingresos adicionales o alcanzar metas financieras a largo plazo.

Tabla N° 5.1. Inversiones proyecto.

Elemento	Cantidad (un)	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Unidad de mantenimiento combinada MSB6	2	110.000	220.000
Electroválvula solenoide 5/2	7	115.000	805.000
Actuador neumático de doble efecto	7	200.000	1.400.000
Tubo de plástico PUN-H, PUN-H-DUO (50 mts)	1	80.500	80.500
Total			2.505.500

Fuente: www.festo.com.

5.5. Flujo de Caja del Proyecto

Para la elaboración del flujo de caja del proyecto, fue necesario considerar diversos supuestos. Algunos de estos supuestos, fueron asumidos en base a información proporcionada por profesionales que desempeñan labores en la Universidad de Atacama, correspondiente a la sede Copiapó, por lo cual se prevé que son de primera fuente, debido a la particularidad e impacto del proyecto.

Tabla N° 5.2. Supuestos análisis económico proyecto.

Ítem	Valor
Cupos de alumnos	30
Retención alumnos 1er año	85%
Retención alumno 2 do año	80%
Tasa de egreso oportuno	80%
Valor matrícula	\$ 153.000
Valor arancel real de la carrera	\$ 1.994.000
Valor hora profesor	\$ 17.000
Tasa de crecimiento	10%

Fuente: Análisis Institucional y Departamento de RRHH, Universidad de Atacama.

Se asumió una tasa de descuento del 6 por ciento, debido a las particularidades del proyecto. Se debe mencionar, que se utilizó la tasa social de descuento establecida por el gobierno de un 6%, ya que el proyecto es de carácter social por ser la única Universidad Estatal en la región de Atacama, ciudad de Copiapó.

En primer lugar, el laboratorio fue diseñado para 25 alumnos. Éste contará con cinco mesas rectangulares, ya que se trabajará en grupos de cinco alumnos por mesa (cinco mesas), más una para el profesor. De igual manera se implementa el laboratorio con insumos y algunas maquinarias que hacen falta en la Universidad de Atacama para que los alumnos logren las competencias requeridas para que se desempeñen de manera óptima en el campo laboral.

Luego de todo lo mencionado anteriormente el flujo de caja que se obtuvo es el siguiente:

Tabla N° 5.3. Flujo de caja del proyecto (valores expresados en M\$).

Flujo de Caja (M\$)	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Cupos		30	30	30	30
Matrícula		153	168	185	204
Arancel Real		1.994	2.193	2.413	2.654
(+) Ingresos		64.410	70.851	77.936	85.730
Gastos Corrientes		-1.500	-2.880	-2.938	-2.996
Biblioteca y Material Docente		-3.000	-3.000	-3.000	-3.000
Mantenimiento de la Infraestructura		-4.200	-5.600	-5.712	-5.826
Laboratorio		-22.000			
Equipamiento		-6.443	-324		
(-) Costos		-37.143	-11.804	-11.650	-11.822
Margen Bruto		27.267	59.047	66.286	73.907
Utilidad Antes de Impuestos (UAI)		27.267	59.047	66.286	73.907
(-) Impuestos (27%) ¹					
Utilidad Después de Impuestos (UDI)		27.267	59.047	66.286	73.907
(-) Inversiones Depreciables	-2.506				
(-) Inversiones No Depreciables					
(-) Inversión Capital de Trabajo					
(+) Recuperación Capital de Trabajo					
Flujo de Caja	-2.506	27.267	59.047	66.286	73.907
(+) Créditos LP					
(+) Créditos CP					
Flujo Caja Neto	-2.506	27.267	59.047	66.286	73.907

Fuente: Universidad de Atacama.

¹ Por tratarse de una institución sin fines de lucro no paga impuesto por sus beneficios económicos generados.

Se pudo apreciar que los excedentes crecen de manera dinámica. Esto se debe al incremento del número de alumnos cada año y a que los gastos en relación a los ingresos son menores. Finalmente, queda el levantamiento y automatización del banco neumático trae consigo beneficios para la institución, en materia que dicho proceso formativo se torna más atractivo.

5.6. Evaluación económica (VAN y TIR)

En esta sección se debe destacar que solamente se utilizó el valor actual neto (VAN) o valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) debido a las particularidades del proyecto. Además, se empleó una tasa de descuento equivalente al 6% por ciento (valor alto), porque es una tasa para resguardarse del riesgo asociado a emprender un proyecto nuevo y por tratarse de un proyecto de carácter social. Utilizando la función “VNA” y “TIR” del excel, el resultado arrojado es el siguiente:

Tabla N° 5.4: Valor actual neto el proyecto. (\$)

Indicador	Valor
VAN (6%)	\$ 189.965.621
TIR	1.188%

Fuente: Análisis Económico.

Esto se traduce en un proyecto notoriamente atractivo, ya que significa que los futuros movimientos de dinero se traducen en la actualidad, a una cantidad positiva y que equivale a la no despreciable suma de \$189.965.621.-

5.7. Análisis de sensibilidad

En este apartado se reflejó un escenario distinto. Por las características del proyecto, las variables críticas y las que serán modificadas, son las que se relacionan directamente con los estudiantes: Cupos por matrícula, tasas de retención y tasa de egreso oportuno.

Finalmente no se modifica la tasa de descuento del proyecto. Lógicamente los resultados previamente calculados del flujo de caja y del valor actual neto (VAN), son el contexto principal del proyecto.

- **Escenario N°1:** Considerando un 10 por ciento menos de matriculados, el cálculo del valor actual neto (VAN) a una tasa de descuento de un 6% corresponde al valor de **\$ 130.730.202.-**
- **Escenario N°2:** Considerando un 15 por ciento menos de matriculados, el cálculo del valor actual neto (VAN) a una tasa de descuento de un 6% corresponde al valor de **\$ 118.723.318.-**

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El escenario actual en que se encuentra el país es favorable bajo un entorno educativo y potencial demanda para poder formar técnicos de nivel superior, ya que permite altos niveles de empleabilidad y una rápida inserción laboral en diversas empresas ligadas a sectores productivos de minería, mantenimiento, electricidad y electrónica, sin embargo ello propicia adoptar diversas tecnologías que permitan establecer lineamientos con el proceso formativo del estudiantado con el fin de poder formar a los futuros técnicos de nivel superior comprometidos con el sector productivo local, nacional e internacional.

El análisis económico resulta bastante atractivo para la universidad, ya que la evaluación efectuada arroja números que son más que positivos en cuanto a la factibilidad del proyecto. Se debe destacar, que los supuestos financieros utilizados fueron establecidos en base a fuentes directas de la Universidad de Atacama, por lo que los resultados arrojados se acercan bastante a la realidad. Tuvo sentido calcular una tasa interna de retorno, ya que se efectúa inversión en el año cero. Sin embargo, una interesante inversión se efectúa al primer y segundo año de la carrera, y tiene que ver básicamente con el equipamiento de un laboratorio multidisciplinario, en donde los estudiantes pueden desenvolverse y aprender de manera eficiente, dando una ventaja competitiva a la carrera con respecto a otras instituciones que no poseen laboratorios que estén a la altura de las necesidades actuales de las empresas. Esto se refiere a que se desea equipar un laboratorio con los instrumentos que se utilizan en el sector productivo, haciendo más práctica la carrera, para que así el futuro estudiante pueda desempeñarse sin mayores contratiempos en sus labores cotidianas una vez que se inserta en el mercado laboral y que además pueda mantenerse en el mismo sin perjuicio en el desarrollo de su profesión , garantizando un trabajo de calidad y alineado a las nuevas temáticas del sector productivo.

6.2. Recomendaciones

A continuación, se presentan algunas recomendaciones para llevar a cabo este proceso de manera efectiva:

1. **Planificación y Diseño:** Antes de iniciar cualquier acción, es crucial realizar una planificación detallada del proyecto. Define claramente los objetivos, alcance, requisitos técnicos y presupuesto disponible. Diseña un esquema del banco neumático, identificando los componentes clave y su ubicación.
2. **Selección de Componentes:** Investiga y selecciona los componentes neumáticos adecuados para el banco, como cilindros, válvulas, reguladores de presión, sensores de presión, entre otros. Asegúrate de que sean compatibles con los requerimientos del sistema y de calidad adecuada.
3. **Instalación Segura:** La instalación de los componentes neumáticos debe realizarse de manera segura, siguiendo las instrucciones del fabricante y cumpliendo con las normas de seguridad. Considera la utilización de conexiones roscadas o de compresión, y verifica que no haya fugas de aire.
4. **Automatización del Control:** Emplea un sistema de control automatizado para gestionar las operaciones del banco neumático. Podrías utilizar un PLC (Controlador Lógico Programable) o una interfaz de adquisición de datos para controlar las válvulas y otros elementos del sistema.
5. **Programación y Software:** Si utilizas un PLC u otra plataforma de automatización, necesitarás programar el software para controlar el flujo de aire, los tiempos de operación, la presión, etc. Asegúrate de que el software sea fácil de usar y que proporcione información en tiempo real.
6. **Interfaz de Usuario:** Si el banco neumático será utilizado por diferentes personas, es importante tener una interfaz de usuario intuitiva. Puedes emplear una pantalla

táctil o un panel de control con botones y luces indicadoras para facilitar la interacción.

7. **Calibración y Pruebas:** Realiza una calibración adecuada de los sensores y componentes neumáticos para asegurar mediciones precisas. Luego, lleva a cabo pruebas de funcionamiento exhaustivas para verificar que todo el sistema opera correctamente.
8. **Documentación y Mantenimiento:** Documenta todo el proceso de levantamiento y automatización, incluyendo diagramas, manuales y procedimientos. Asigna responsabilidades para el mantenimiento y asegúrate de realizar revisiones periódicas para evitar fallos y asegurar el correcto funcionamiento a largo plazo.
9. **Capacitación:** Proporciona capacitación adecuada a los usuarios y operadores del banco neumático. Todos deben estar familiarizados con su funcionamiento seguro y eficiente.
10. **Escalabilidad:** Considera la posibilidad de ampliar o modificar el banco neumático en el futuro, dependiendo de las necesidades y requerimientos cambiantes.
11. **Supervisión y Seguridad:** Implementa sistemas de supervisión y seguridad para evitar situaciones peligrosas. Esto podría incluir sensores de emergencia, paradas de emergencia y alarmas.

Siguiendo estas recomendaciones, podrás crear un banco neumático eficiente y seguro que impulsará la investigación y el aprendizaje en el taller de instrumentación de la institución.

Finalmente, la Universidad de Atacama debe de considerar dicho proyecto de título como un insumo relevante en el desarrollo del perfil de egreso de la carrera, ya que permite

estar alineado a las nuevas tendencias en materia del proceso formativo, garantizando una educación inclusiva y de calidad, por otra parte, esto se torna atractivo al momento de cada proceso de admisión, ya que le permite a la institución dar a conocer sus instalaciones con tecnología de punta y a la vanguardia del sector productivo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Antonio Creus Sole (2010). Instrumentación industrial. Octava edición.

- [2] William Bolton (2013). Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. Un enfoque multidisciplinario. Quinta edición.

- [3] Nassir Sapag Chain (2011). Proyectos de inversión, formulación y evaluación. Segunda edición.

- [4] Modelo Educativo Universidad de Atacama.

- [5] Plan de Desarrollo Estratégico Universidad de Atacama 2021-2025.

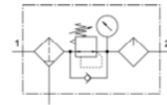
ANEXOS

Anexo A: Unidad de Mantenimiento Combinada MSB6

Unidades de mantenimiento combinadas MSB6-1/2-FRC5:J1M1

Número de artículo: 530244

FESTO



Hoja de datos

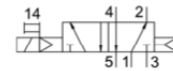
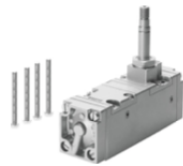
Característica	Valor
Tamaño	6
Serie	MS
Bloqueo del accionamiento	Botón giratorio con cerradura integrada
Posición de montaje	Vertical +/- 5°
Purga de condensado	Giro manual
Forma constructiva	Filtro regulador con manómetro Lubricador proporcional estándar
Grado de filtración	40 µm
Función del regulador	Presión inicial constante Con compensación de la presión Inicial Con escape de aire secundario Con flujo inverso
Protección de funda	Funda de protección de material sintético
Símbolo	00991761
Indicador de presión	Con manómetro
Presión de funcionamiento	1.5 bar ... 20 bar
Margen de regulación de presión	0.5 bar ... 12 bar
Caudal nominal normal	3700 l/min
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [:-:4-] Gases inertes
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Admite funcionamiento con lubricación (lo cual requiere seguir utilizándolo)
Clase de resistencia a la corrosión CRC	2 - riesgo de corrosión moderado
Conformidad PWIS	VDMA24364-B1/B2-L
Temperatura de almacenamiento	-10 °C ... 60 °C
Aptitud para el contacto con alimentos	Véase la información complementaria sobre el material
Clase de pureza del aire en la salida	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:-]
Temperatura del medio	-10 °C ... 60 °C
Temperatura ambiente	-10 °C ... 60 °C
Peso del producto	1495 g
Tipo de fijación	Con accesorios
Conexión neumática 1	G1/2
Conexión neumática 2	G1/2
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS

Anexo B: Electroválvula solenoide 5/2

Electroválvula CM-5/2-1/4-CH

Número de artículo: 5960

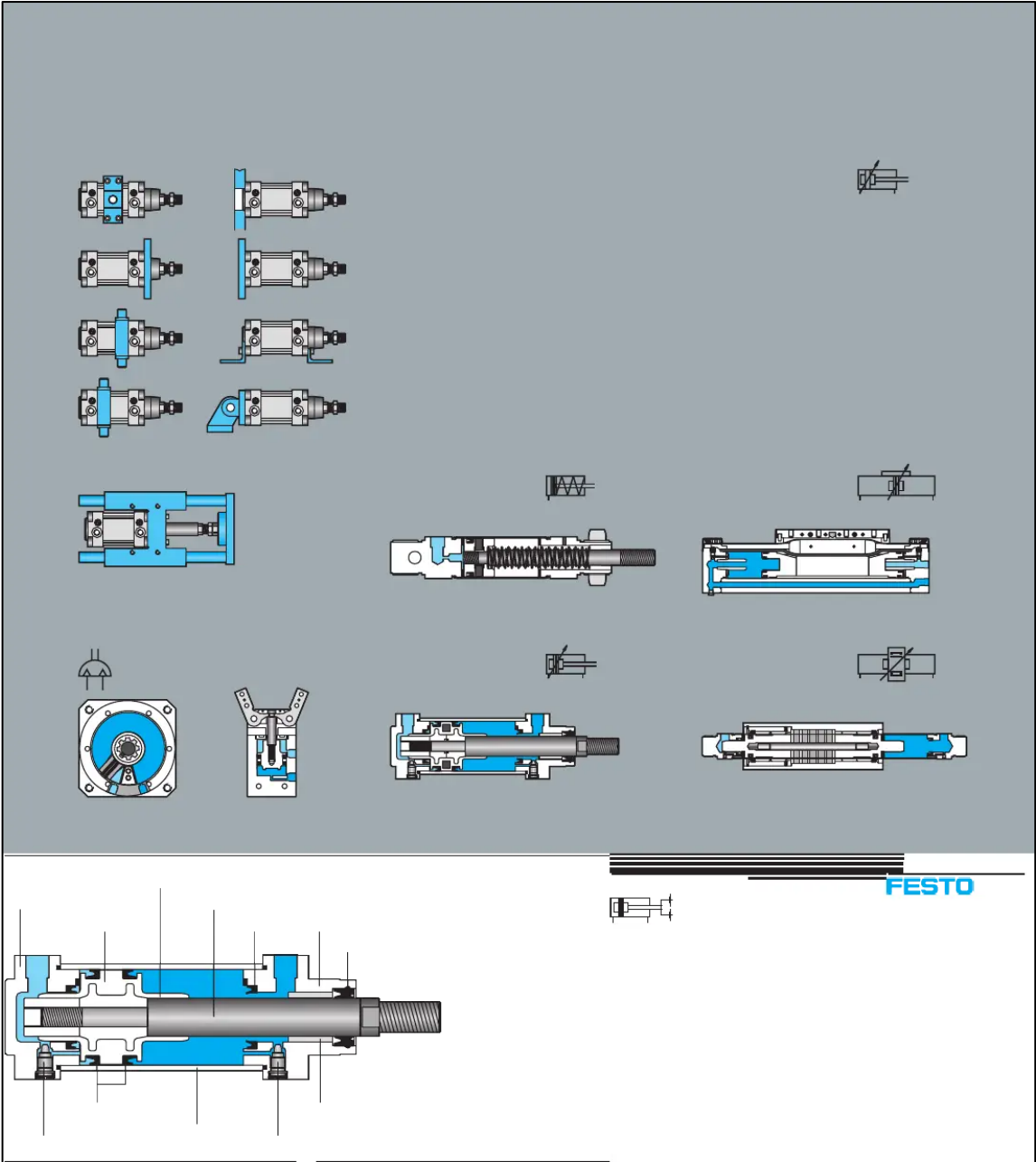
FESTO



Hoja de datos

Característica	Valor
Función de la válvula	Monoestable de 5/2 vías
Tipo de accionamiento	Eléctrico
Caudal nominal normal	1400 l/min
Conexión neumática de utilización	Placa base
Presión de funcionamiento	1.5 bar ... 10 bar
Tipo de reposición	Muelle neumático
Diámetro nominal	6.5 mm
Posición de montaje	Cualquiera
Accionamiento manual auxiliar	Sin enclavamiento
Tipo de control	Servopilotado
Símbolo	00991049
Frecuencia de conmutación máx.	40 Hz
Tiempo de conmutación ON	28 ms
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Admite funcionamiento con lubricación (lo cual requiere seguir utilizándolo)
Conformidad PWIS	VDMA24364-Zona III
Temperatura del medio	-10 °C ... 60 °C
Tipo de fijación	En placa base
Conexión aire de pilotaje 12	G1/8
Conexión aire de pilotaje 14	G1/8
Conexión neumática 1	G1/4
Conexión neumática 2	G1/4
Conexión neumática 3	G1/4
Conexión neumática 4	G1/4
Conexión neumática 5	G1/4
Material de las juntas	NBR
Material del cuerpo	Aleación de aluminio forjado
Material de la membrana	PUR

Anexo C: Actuador neumático de doble efecto



Anexo D: Tubo de plástico PUN-H, PUN-H-DUO (50 mts)

Tubo de plástico PUN-H-4X0,75-BL

Número de artículo: 197383

FESTO



Hoja de datos

Característica	Valor
Diámetro exterior	4 mm
Radio de curvatura relevante para el caudal	16 mm
Diámetro interior	2.6 mm
Radio de flexión mín.	8 mm
Nota sobre la utilización	TPE-U a base de éter
Características de los tubos flexibles	apropiado para cadenas de arrastre
Presión de funcionamiento en todo el margen de temperatura	-0.095 MPa ... 0.6 MPa
Presión de funcionamiento en todo el margen de temperatura	-0.95 bar ... 6 bar
Presión de funcionamiento en todo el margen de temperatura	-13.775 psi ... 87 psi
Presión de funcionamiento en función de la temperatura	-0.095 MPa ... 1 MPa
Presión de funcionamiento en función de la temperatura	-0.95 bar ... 10 bar
Presión de funcionamiento en función de la temperatura	-13.775 psi ... 145 psi
Nota sobre la presión de funcionamiento	Agua: presión de funcionamiento en función de la temperatura, véase el diagrama, máx. 0,3 MPa a 0 - 60 °C
Certificación	TÜV
Organismo que expide el certificado	B 013277 0506 00
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:--] Agua (líquida, sin hielo)
Control de inflamabilidad del material	UL94 HB
Conformidad PWIS	VDMA24364-B2-L
Idoneidad para la producción de baterías de iones de litio	No pueden utilizarse metales con más de un 1 % de cobre en masa, zinc o níquel. Excepciones: níquel en aceros, superficies niqueladas químicamente, placas de circuitos impresos, cables, conectores eléctricos y bobinas
Clase de sala limpia	Elemento instalado estáticamente, no es posible una evaluación significativa según la norma ISO 14644-1
Aptitud para el contacto con alimentos	Véase la información complementaria sobre el material
Temperatura ambiente	-35 °C ... 60 °C
Peso del producto según la longitud	0.0085 kg/m
Conexión neumática	Para racor de conexión de diámetro exterior 4 mm Para boquilla enchufable diámetro interior 3 mm con tuerca de unión
Color	Azul
Dureza Shore	D 52 +/-3
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Material del tubo flexible	TPE-U (PU)

Anexo E: Rúbrica Laboratorio Levantamiento y Automatización del Banco Neumático

Una rúbrica es una herramienta de evaluación que proporciona criterios claros y específicos para calificar un proyecto, trabajo o tarea. Aquí proporcionaré un ejemplo de rúbrica para evaluar el laboratorio de levantamiento y automatización del banco neumático en el taller de instrumentación de la Universidad de Atacama perteneciente a la Facultad Tecnológica. Recuerda que puedes ajustar los criterios y niveles de desempeño según las necesidades y objetivos de tu curso o proyecto.

Rúbrica: Laboratorio Levantamiento y Automatización del Banco Neumático

Criterio 1: Conocimiento del Banco Neumático Evalúa la comprensión y conocimiento del estudiante sobre los componentes, operación y características del banco neumático.

Nivel de Desempeño	Descripción
Sobresaliente (4)	El estudiante demuestra un profundo entendimiento de todos los componentes del banco neumático, su funcionamiento y su relación con la instrumentación. Puede explicar con precisión los principios neumáticos involucrados.
Competente (3)	El estudiante muestra un buen conocimiento de la mayoría de los componentes del banco neumático y su operación, aunque puede haber algunas lagunas en la comprensión de detalles específicos.
Básico (2)	El estudiante tiene una comprensión superficial de los componentes principales del banco neumático, pero carece de detalles y no puede explicar completamente su funcionamiento.
Insuficiente (1)	El estudiante muestra una comprensión muy limitada o incorrecta de los componentes y operación del banco neumático.

Criterio 2: Habilidades de Levantamiento y Automatización Evalúa la capacidad del estudiante para realizar el levantamiento y la automatización efectiva del banco neumático.

Nivel de Desempeño	Descripción
Sobresaliente (4)	El estudiante demuestra habilidades excepcionales en el levantamiento y manipulación de los componentes del banco neumático. La automatización se logra de manera eficiente con un alto grado de control y precisión.
Competente (3)	El estudiante lleva a cabo el levantamiento y la automatización de manera competente, aunque puede haber algunas áreas de mejora en términos de eficiencia y precisión.
Básico (2)	El estudiante muestra dificultades en el proceso de levantamiento y presenta una automatización básica y funcional, pero con limitaciones evidentes en términos de control y precisión.
Insuficiente (1)	El estudiante lucha significativamente con el levantamiento y la automatización, lo que resulta en un sistema poco funcional o inoperable.

Criterio 3: Documentación y Comunicación Evalúa la calidad de la documentación escrita y la capacidad del estudiante para comunicar el proceso y los resultados.

Nivel de Desempeño	Descripción
Sobresaliente (4)	La documentación es excepcionalmente clara, detallada y bien estructurada. El estudiante comunica eficazmente los pasos del proceso, los desafíos encontrados y los resultados obtenidos.

Nivel de Desempeño	Descripción
Competente (3)	La documentación es completa y organizada, pero puede haber algunos aspectos que requieran mayor claridad. El estudiante comunica adecuadamente el proceso y los resultados.
Básico (2)	La documentación carece de detalles importantes y estructura. La comunicación es limitada y dificulta la comprensión del proceso y los resultados.
Insuficiente (1)	La documentación es escasa, desorganizada o inexistente. La comunicación es confusa y no transmite eficazmente el proceso ni los resultados.

Criterio 4: Colaboración en Equipo Evalúa la capacidad del estudiante para trabajar en equipo y contribuir de manera constructiva al proyecto grupal.

Nivel de Desempeño	Descripción
Sobresaliente (4)	El estudiante colabora activamente, fomenta un ambiente positivo y contribuye significativamente al éxito del equipo. Trabaja bien con los demás, comparte ideas y resuelve conflictos de manera efectiva.
Competente (3)	El estudiante participa de manera adecuada en el equipo, ofrece aportes valiosos y muestra habilidades de colaboración. Puede haber algunos desafíos menores en la comunicación o la resolución de conflictos.
Básico (2)	El estudiante tiene dificultades para colaborar de manera efectiva, lo que resulta en contribuciones limitadas y posiblemente en tensiones dentro del equipo.
Insuficiente (1)	El estudiante muestra una falta significativa de colaboración y no contribuye de manera constructiva al equipo. Puede generar conflictos y obstáculos para el progreso del proyecto.

Total de Puntos Posibles: 16

Observaciones Generales:

Esta rúbrica brinda un marco claro para evaluar diferentes aspectos del laboratorio de levantamiento y automatización del banco neumático en el taller de instrumentación de la Universidad de Atacama.

