



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Mecánica**

**“Estudio comparativo de métodos para la automatización de un circuito neumático.”**

**Seminario de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero de Ejecución en Mecánica.**

**Profesor Guía:  
Sr. Heraldo Alejo Bastidas Medel**

Fabián Antonio Moreno Oliva  
Daniel Antonio Gajardo Lillo

**A Ñ O 2013**

Agradecimientos y/o dedicatorias.

Agradezco el tiempo y cariño dedicado durante mi formación como persona, especialmente a mis padres y maestros, cuyas enseñanzas me guiaron por buen camino y me dieron la base para ser quien hoy soy.

Dedicado a mí mujer por nunca dejar de creer en mí, y a mis hijos por darme con cada sonrisa las fuerzas para nunca rendirme.

Daniel Antonio Gajardo Lillo.

Quiero agradecer a mi familia por el apoyo incondicional en este camino hacia mi futuro, en especial a Antonio Moreno y Ruth Oliva, Karen Vásquez, Carola Moreno, Pablo Oliva, Daniel Gajardo y a mis profesores. A cada uno de ellos gracias por llenar de conocimiento mis años de universidad.

Fabián Antonio Moreno Oliva.

Resumen:

En el presente proyecto de seminario, se podrá observar el desarrollo de un estudio técnico comparativo entre dos alternativas de automatización, aplicadas ambas a una misma instalación neumática, además de una evaluación económica entre ambas opciones. En el análisis técnico se evaluarán ventajas y desventajas asociadas a su utilización.

Se efectuará en primera instancia un análisis del plano neumático, en él se realizarán correcciones o leves modificaciones si fuese necesario, para así eliminar los detalles técnicos encontrados, principalmente se espera rectificar que la simbología expuesta sea la correcta. La meta será obtener un circuito neumático correctamente planteado y libre de errores técnicos. Una vez sea completada la revisión del circuito, se efectuará un análisis con base en la funcionalidad y operatividad del sistema automatizado a través de tecnologías cableadas.

La segunda alternativa de automatización, corresponde a la aplicación de un autómatas programable para controlar las electro - válvulas y cilindros, a través de la información transmitida por los sensores de posición considerados, el sistema seguirá cumpliendo las mismas funciones, pero sin embargo se reducirá al mínimo la cantidad de componentes además de la necesidad de caudal. Las fases y secuencias de trabajo deberán ser las mismas que las planteadas en la primera alternativa de automatización.

Los circuitos para ambos casos serán trazados haciendo uso de softwares de ingeniería, especialmente utilizados en el diseño y trazado de circuitos, ya sean eléctricos, neumáticos o hidráulicos, en algunos casos será posible realizar una simulación de los procesos, siendo esta una efectiva manera de verificar el correcto funcionamiento del sistema.

Finalmente, una vez definida la lista de materiales para cada situación, se realizarán cotizaciones en empresas especializadas del rubro tanto del valor de los materiales como de los tiempos presupuestados para una hipotética puesta en marcha.

## Glosario de términos.

- Ld : Load, indica en el Ladder una entrada que se carga al PLC
- Out : Out, en ingles salir, indica en el Ladder efectivamente una salida o función resultante, producto de la asociación interna entre las diferentes entradas ingresadas al PLC.
- And : Función lógica utilizada en la escritura del Ladder o sentencias de un PLC, nos indica que al asociar dos o más entradas, estas funcionaran siempre y cuando funcione la otra entrada asignada y asociada a ella, es similar a una conexión eléctrica en serie.
- Or : Función lógica utilizada en la escritura del Ladder o sentencias de un PLC, nos indica que para una salida resultante pueden ser ocupadas tanto una como otra entrada, de las relacionadas con la función OR.
- PMS : Punto muerto superior, indica el fin de la carrera de ida efectuada por el embolo ubicado en el interior de cada cilindro neumático.
- PMI : Punto muerto inferior, indica el fin de la carrera de regreso del embolo ubicado en el interior de cada cilindro neumático.
- FRL : Filtro regulador lubricador

## Introducción.

En conjunto con los avances tecnológicos que se han desarrollado e incorporado a los procesos de la industria moderna durante las últimas décadas, es preciso que quienes trabajen dentro de ella se mantengan actualizados y capacitados para operar sus procesos. Pues a medida que estos van creciendo en capacidad y rapidez de ejecución, se van tornando cada vez más complejos, entonces se hace necesario y a veces imprescindible el contar con mano de obra calificada y eficiente, que asegure tanto la salud del operador como la integridad de los equipos. Esta situación de selección puede ser resuelta de manera fácil en algunos casos, pero en otros puede llegar a ser un tema no tan fácil de manejar, ya que existen cargos en que conseguir personal idóneo y a la vez de confianza se vuelve una tarea bastante compleja, sobre todo cuando el puesto es de alta responsabilidad o la vida del operador y la del resto del personal en la planta dependen del criterio, capacidad y buen juicio del mismo. Lo anterior sumado a las múltiples normativas y exigencias que garantizan la integridad de los trabajadores, otorgan una gran responsabilidad al empleador y a los encargados de la seguridad de las personas. Es por ello que en situaciones en que el trabajo se presenta demasiado complicado, superando incluso las capacidades físicas e intelectuales del trabajador, se ofrece como una opción altamente viable y oportuna el reemplazo de las funciones del trabajador por un sistema automatizado, que permita sin problemas repetir cada una de sus labores, con altas expectativas de calidad y confianza en cuanto a el resultado final, además de dar la posibilidad al proceso de ser repetido virtualmente sin límite de tiempo.

Existen variadas e ingeniosas posibilidades para la aplicación de sistemas automatizados, todas ellas utilizables en los distintos sectores de la industria moderna, dando la oportunidad al programador de ordenar labores sencillas y comunes como trasladar o presionar objetos, como también otras más complejas, tales como seleccionar objetos según color, tamaño o peso.

Objetivos.

Objetivo general:

- Realizar un estudio comparativo entre dos métodos de automatización para un circuito neumático, de una instalación dosificadora envasadora de líquidos.

Objetivos específicos:

- Analizar la configuración del circuito neumático propuesto.
- Desarrollar una solución lógica para conseguir un correcto funcionamiento de el circuito neumático original
- Realizar un análisis comparativo entre las dos alternativas de automatización.
- Desarrollar un sistema automatizado análogo que al ser controlado a través de un autómata programable permita realizar las mismas funciones que las efectuadas a través de tecnologías cableadas.
- Realizar un estudio económico comparativo entre las dos alternativas de automatización.

Tabla de contenidos.		
I.	Dedicatorias y/o agradecimientos.	b.
II.	Resumen.	c.
III.	Glosario.	d.
IV.	Introducción.	e.
V.	Objetivos.	f.
VI.	Tabla de contenidos	g.
Capítulo 1.0	Automatización.	01
1.1	Clasificación de Sistemas de control.	03
1.1.1	Sistemas de control en lazo abierto.	03
1.1.2	Sistemas de control en lazo cerrado.	04
1.2	Mando y operatividad en un sistema automatizado.	06
1.2.1	Mando en los sistemas automatizados.	06
	• Mando por tecnologías cableadas.	07
	• Mando por tecnologías programables.	12
1.2.2	Parte operativa de un sistema automatizado.	27
	• Detectores y transductores.	27
	• Actuadores, accionadores y preaccionadores	30
Capítulo 2.0	Planteamiento del problema.	31
Capítulo 3.0	Alternativas de automatización.	38
3.1	Primera alternativa de automatización: “Mando a través de tecnologías cableadas”.	38
3.1.1	Funcionamiento general de la instalación.	38

3.1.2	Desarrollo del trabajo en la instalación.	42
3.1.3	Cálculo y selección de cilindros neumáticos.	47
3.1.4	Solución propuesta para el circuito neumático asociado a la alternativa 1	59
3.2	Segunda alternativa de automatización: Mando de un sistema electro – neumático a través de un autómatas programable.	71
3.2.1	Consigna.	72
3.2.2	Tabla de asignación y direccionamiento.	73
3.3.3	Diagrama Ladder.	76
3.2.4	Lista de instrucciones.	77
Capítulo 4.0	Estudio económico.	78
5.0	Conclusiones.	82
6.0	Bibliografía.	86



## Capítulo 1 : “Automatización”.

La automatización es por definición una técnica de control, que tiene por finalidad hacer que un sistema productivo o de cualquier otro tipo que contenga procesos, que opere de manera automática, transfiriendo las tareas que habitualmente son realizadas por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos coordinados sistemáticamente para realizar la labor.

Un sistema automatizado puede ser de lazo abierto o cerrado, y ambas clasificaciones constan de dos partes principales en su configuración, son las siguientes:

- La Parte Operativa:

Es la parte del sistema automatizado que actúa de manera directa sobre los materiales o materias primas a procesar, son los elementos físicos que realizan el trabajo dentro del sistema, su función es hacer que la máquina se mueva y realice las operaciones deseadas. Los elementos que forman la parte operativa son: sensores, actuadores, válvulas y además máquinas de fluidos asociadas a la instalación, como por ejemplo: bombas y compresores.

- La Parte de Mando:

En la actualidad por lo general esta labor es asignada a un autómata programable, por tratarse tecnología moderna y de flexible utilización, pero sin embargo también pudiesen existir sistemas controlados por relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos.

Dentro de las posibilidades de mando en un sistema automatizado se distinguen dos principales: a) A través de tecnologías cableadas y b) A través de tecnologías programables.

Algunos de los objetivos principales asignados a la automatización, son:

- Mejorar la productividad, reduciendo los tiempos y costos asociados a la producción, además de a la vez elevar la calidad y cantidad de productos terminados.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos peligrosos, y aquellos que sobrepasen sus capacidades físicas e intelectuales, incrementando así la seguridad.
- Realizar operaciones veloces e imposibles de controlar intelectual o manualmente por un ser humano común.
- Incrementar la capacidad de la producción, aumentando la confiabilidad en el cumplimiento de compromisos hacia los clientes y proveedores.

En el presente proyecto los estudios se efectuarán con una instalación neumática, cuya función principal es dosificar y envasar líquidos, sobre esta instalación se realizará un análisis comparativo, entre alternativas de automatización basadas en distintas técnicas de mando.

La parte medular del presente proyecto, consiste precisamente en comprobar con bases cuan ventajoso resulta implementar un autómata programable (PLC), para realizar las mismas funciones obtenidas a través de un sistema de coordinación entre la activación de sensores, válvulas y cilindros.

Para ambos casos, se describirán las características de funcionamiento y los pasos que se realicen durante el desarrollo del proyecto.

## 1.1 Clasificación de los sistemas de control automatizado.

### 1.1.1 Sistemas en lazo abierto.

Son los sistemas de control en los que la salida no afecta la acción de control. En un sistema en lazo abierto no se mide la salida, ni se realimenta para compararla con la entrada de referencia. Por lo tanto a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada, o la realiza deficientemente. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se utiliza si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado.

Elementos básicos que componen un sistema de control de lazo abierto.

Elementos de control: Estos elementos determinan qué acción se va a tomar, en función de una entrada ingresada al sistema de control.

Elementos de corrección: Estos elementos responden a la entrada que viene del elemento de control e inician la acción para producir el cambio en la variable controlada hasta conseguir obtener los valores requeridos.

Elementos de proceso: Son todos aquellos elementos que componen el proceso o planta en el que se va a controlar la variable.

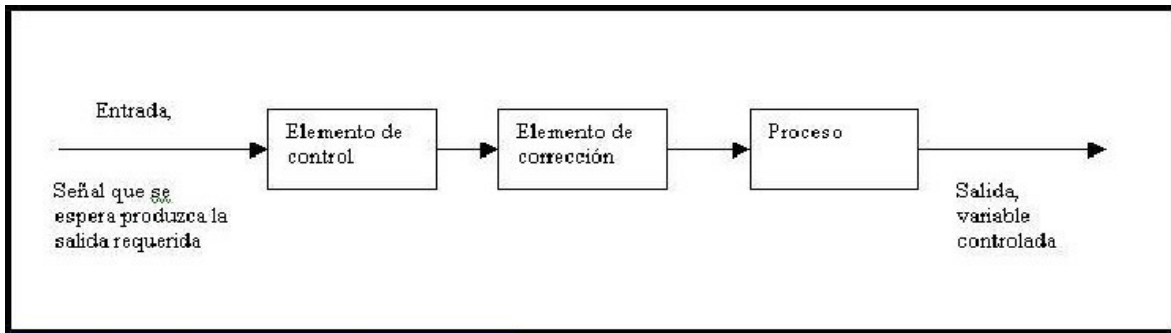


Ilustración 1 Sistema de control de lazo abierto.

### 1.1.2 Sistemas en lazo cerrado.

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control de lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador con la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales) a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentando para reducir el error del sistema.

#### Elementos básicos.

**Elementos de comparación:** Estos elementos comparan los valores requeridos o de referencia asignados a cada variable por controlar, con el valor medido y observado en la salida, además producen señales de error, las cuales indican las diferencias entre el valor obtenido a la salida y el valor requerido.

**Elementos de control:** Estos elementos deciden que acciones realizar cuando se reciben las señales de error.

Elementos de corrección: Estos elementos se utilizan para producir cambios en el proceso, que permitan eliminar los errores detectados.

Elementos de proceso: Son los elementos pertenecientes al proceso o planta donde se van a controlar las distintas variables.

Elementos de medición: Estos elementos producen una señal relacionada con la condición de la variable controlada, y proporcionan la señal de realimentación dirigida a los elementos de comparación para que determinen si hay o no error.

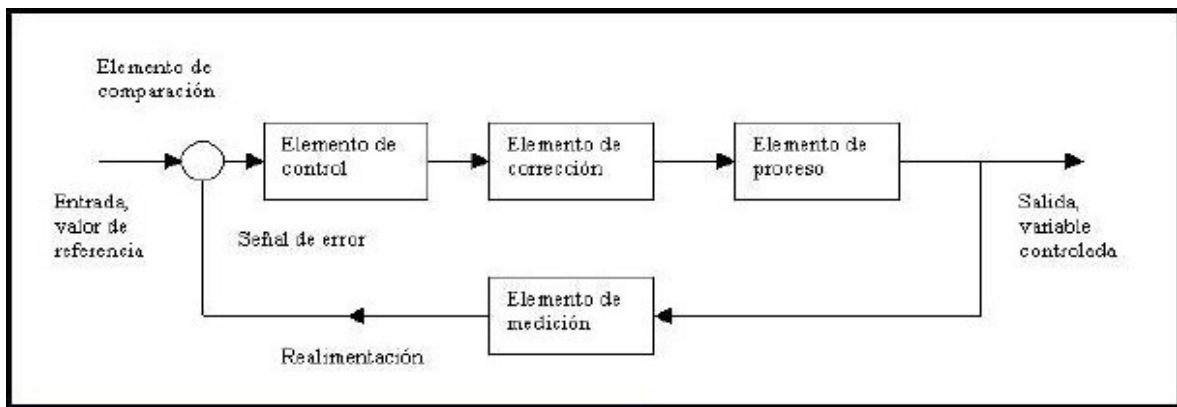


Ilustración 1 Sistemas de control de lazo cerrado.

## 1.2 “Mando y operatividad de un sistema automatizado”.

Existen dos partes principales dentro de todo sistema automatizado, ya sea este de lazo abierto o cerrado.

### 1.2.1 “Mando en los sistemas automatizados”.

Un sistema automatizado por definición debe funcionar con la mínima intervención de los operadores, no se depende de forma directa y esencial de sus conocimientos, habilidades y experiencia previa para realizar las operaciones.

Todas las operaciones deben estar previamente definidas e ingresadas al programa de control, en forma de listas de instrucciones o de algún otro lenguaje que contenga las acciones a realizar, ordenadas todas ellas según la secuencia de mando requerida por el sistema automatizado. Por lo tanto, se deben realizar antes de la ejecución del sistema, uno o varios análisis que aseguren la continuidad y correcta secuencia de los ciclos de trabajo, para así evitar que se dañen los equipos, los materiales e incluso las personas.

A continuación, se describirán las principales opciones de mando y control para un sistema automatizado. Se distinguen dos grandes clasificaciones en cuanto a la tecnología utilizada para comandar un sistema autónomo:

- La lógica cableada.
- La lógica programada.

Ambas con distintas posibilidades de funcionamiento, según el tipo de sistema en que se apliquen, o también según los componentes utilizados en su configuración, lo anterior se puede apreciar claramente en el siguiente esquema:



Ilustración 1 Mando en un sistema automatizado.

“Tecnologías cableadas”.

Este tipo de mando fue una de las primeras formas de control en ser implementadas para dar solución a los problemas en la industria, en este tipo de mando el tratamiento de los datos se caracteriza por ser efectuado a través de la activación y desactivación de contactores o relés auxiliares, en secuencias lógicas previamente definidas, frecuentemente se utilizan también en su configuración temporizadores y contadores.

La implementación del mando a través de lógicas cableadas, consiste en diseñar el sistema de automatización, agregando al circuito los distintos componentes en estratégicas posiciones, entre los componentes más comunes se cuenta principalmente con: Contactos auxiliares de relés electromecánicos, contactores de potencia, relés temporizados, diodos, relés de protección, válvulas óleo-hidráulicas o neumáticas, entre otros.

El automatismo se realiza precisamente al interconectar los distintos elementos que integran el sistema. Su funcionamiento está establecido y ligado directamente a los elementos que lo componen y a la forma en que se conectan, influyendo

directamente en la ejecución de las labores de señalización, protección, potencia, comando y control.

La potencia en el sistema de mando además de estar ligada a los circuitos eléctricos está compuesta a la vez también por circuitos neumáticos (mando por aire a presión) y circuitos óleo hidráulicos (mando por aceite a presión).

Utilizando el mando a través de tecnologías cableadas, es posible crear automatismos rígidos, capaces de realizar una serie de tareas en forma secuencial, sin posibilidad de cambiar sus variables y parámetros. Si se ha de realizar otra tarea se hace necesario realizar un nuevo diseño. Se emplea en automatismos pequeños, o en lugares críticos, donde la seguridad de las personas y máquinas, no puede depender de la falla de un programa de computación.

Sus principales inconvenientes, podrían ser los siguientes:

- Ocupan demasiado espacio físico, que perfectamente podría ser aprovechado en otras funciones del proceso.
- Son poco flexibles ante modificaciones o ampliaciones, no es fácil adecuarles ante el crecimiento o disminución de las operaciones.
- Su mantenimiento es complicado y muy necesario, debido al desgaste acelerado de piezas y componentes, en constante golpeteo y roce.
- Son de alto precio, debido al costo de sus componentes y a la gran cantidad de horas hombre necesarias para realizar el cableado.
- No es útil en aplicaciones de control complejas.



Los principales dispositivos que se utilizan en el mando a través de tecnologías cableadas son:

**Relés electromagnéticos:** Es posible definir un relé electromagnético como aquél interruptor comandado a distancia, el cual vuelve a su posición de reposo, ya sea normalmente cerrado o normalmente abierto, cuando la fuerza de accionamiento deja de actuar sobre él.

El mando a distancia presenta dos ventajas importantes: primeramente, la instalación puede efectuarse con una evidente economía, pues bastan dos hilos conductores que unan la bobina del relé con el puesto de mando. La segunda razón, está en que se aísla al operario de los puntos peligrosos de la instalación.

Su funcionamiento interno se basa en la excitación de una bobina que magnetiza a un núcleo de hierro y éste a su vez atrae una armadura móvil a la cual van unidos los contactos.



Ilustración 1 Relé electromagnético de 24 (V).

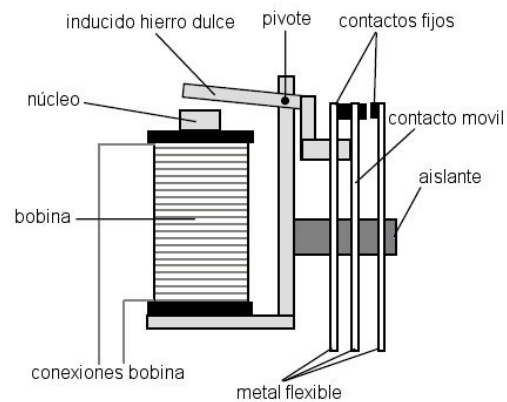


Ilustración 1 Configuración interna de un relé electromagnético.

**Módulos lógicos neumáticos:** Son dispositivos neumáticos que permiten manipular el flujo de aire comprimido según la función lógica para la que estén asignados, un ejemplo de ellos son las válvulas selectoras de caudal con función and, las

cuales funcionan permitiendo el paso del flujo de aire desde uno de los sentidos posibles sobreponiéndose el que posea mayor presión, su función lógica permite solo dar paso a una de las corrientes de aire.



Ilustración 1 Módulos lógicos neumáticos.

Tarjetas o módulos electrónicos: Un módulo de dirección es un aparato electrónico, que por medio de señales de entrada, puede determinar el funcionamiento de uno o más equipos. Cada módulo tiene normalmente una o más tarjetas electrónicas que son el cerebro del módulo de dirección y controlan el buen funcionamiento de todas las señales de salida.

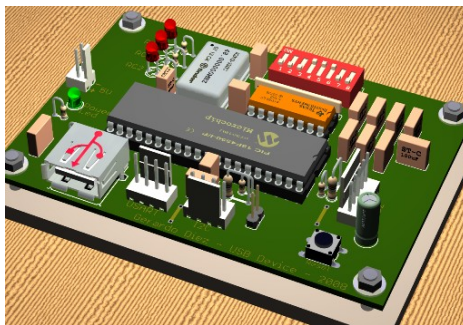


Ilustración 1 Tarjeta electrónica.

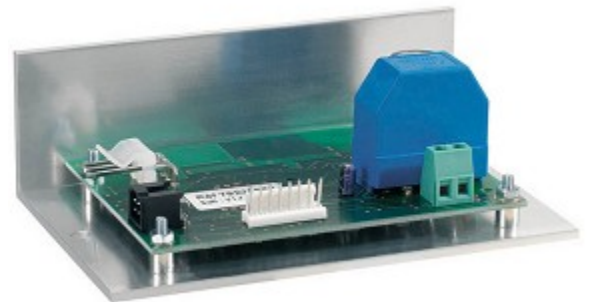


Ilustración 1 Tarjeta electrónica, control de velocidad de una escobilladora eléctrica.

Contadores: Los contadores usados en un PLC tienen la misma función que un contador mecánico. Los contadores comparan un valor acumulado y un valor

preestablecido para la función de circuito de control. Los contadores pueden ser utilizados para inicializar una operación cuando se alcanza una cuenta o esperar la realización de una operación hasta que se alcanza la cuenta. Existen tres diferentes tipos de contadores: los contadores que incrementan, los contadores que disminuyen y los que pueden incrementar y disminuir.



SÍMBOLO	ELEMENTO
CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO	
CONTACTO NORMALMENTE CERRADO	
BOBINA	
TIMERS	
CONTADORES	

Ilustración 1 Símbolo eléctrico para un contador, algunas variables. CU: Entrada de contaje adelante; R: Entrada de puesta a cero; PV: Valor para iniciar el contador.

Ilustración 1 Contador con pantalla.

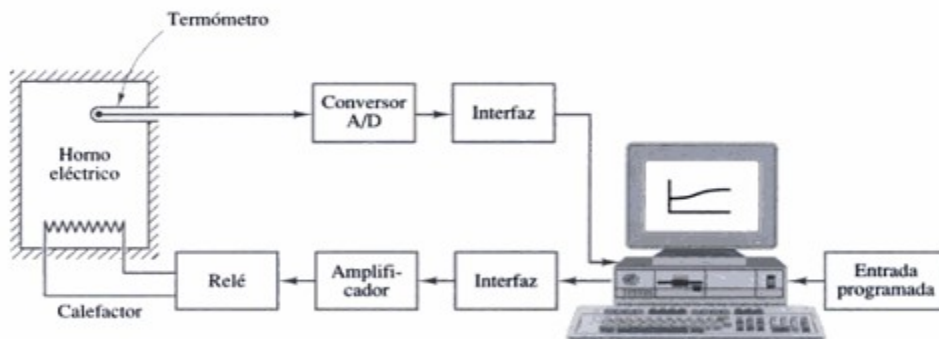
Temporizadores: Un temporizador (figura 4.4) es un aparato mediante el cual, podemos regular la conexión o desconexión de un circuito eléctrico pasado un tiempo desde que se le dio dicha orden. Existen diferentes tipos de temporizadores, su funcionamiento se describe en la siguiente tabla:

Temporizadores	Descripción
<b>S_IMPULS</b> Temporizador de impulso	El tiempo máximo que la señal de salida permanece a 1 corresponde al valor de temporización t programado. La señal de salida permanece a 1 durante un tiempo inferior si la señal de entrada cambia a 0.
<b>S_VIMP</b> Temporizador de impulso prolongado	La señal de salida permanece a 1 durante el tiempo programado, independientemente del tiempo en que la señal de entrada esté a 1.
<b>S_EVERZ</b> Temporizador de retardo a la conexión	La señal de salida es 1 solamente si ha finalizado el tiempo programado y la señal de entrada sigue siendo 1.
<b>S_SEVERZ</b> Temporizador de retardo a la conexión con memoria	La señal de salida cambia de 0 a 1 solamente si ha finalizado el tiempo programado, independientemente del tiempo en que la señal de salida esté a 1.
<b>S_AVERZ</b> Temporizador de retardo a la desconexión	La señal de salida es 1 cuando la señal de entrada es 1 o cuando el temporizador está en marcha. El temporizador arranca cuando la señal de entrada cambia de 1 a 0.

“Tecnologías programadas”.

Los avances existentes en el campo de los microprocesadores durante las últimas décadas han favorecido la masificación en el uso de tecnologías programadas para controlar los sistemas automatizados. La principal característica de este tipo de mando es la utilización de software y microprocesadores para ordenar y manipular los procesos, dándoles una elevada flexibilidad. Los equipos que comúnmente son utilizados en la implementación de este tipo de mando:

Los ordenadores: El ordenador como parte del mando de un sistema autónomo, presenta la ventaja de ser altamente flexible en cuanto a la realización de posibles modificaciones en los procesos. Pero sin embargo, al mismo tiempo resultan ser elementos tremendamente frágiles, debido a que originalmente su diseño no se consideró para ser utilizados dentro entornos industriales o en líneas de producción, en donde los ambientes son en ciertas ocasiones altamente hostiles y agrestes.



**Figura 2.1.** Sistemas de control de temperatura.

Ilustración 1 Esquema que muestra la utilización de un ordenador en un sistema de control automático.

Los autómatas programables: Son equipos electrónicos que disponen de una CPU en su configuración interna, y trabajan en función del estado de las diferentes entradas que se ingresen o se reciban en el módulo de entrada, las que son administradas por un programa previamente introducido, el resultado de

dicha administración es la emisión de una o varias salidas desde el módulo de salidas.

Las partes fundamentales de un autómata programable son: La unidad central de procesamiento (CPU), la memoria y el sistema de entradas y salidas.

- La CPU: Realiza el control interno y externo del autómata e interpreta las instrucciones del programa. A partir de las instrucciones almacenadas en la memoria y de los datos que recibe en las entradas, genera las señales de salida.
- La memoria: Se encuentra dividida en dos bloques, memoria ROM que es solo de lectura, y memoria RAM que permite lectura y escritura. En la memoria ROM se almacenan programas para el correcto funcionamiento del sistema autónomo, como el programa de comprobación de la puesta en marcha y el programa de exploración de la memoria RAM.
- El sistema de Entradas y Salidas: Recoge la información del proceso controlado (Entradas) y envía las acciones de control del mismo (salidas). Los dispositivos de entrada pueden ser pulsadores, interruptores, finales de carrera, termostatos, presostatos, detectores de nivel, detectores de proximidad, contactos auxiliares, etc. Los dispositivos de salida son también muy variados, pueden ser: Pilotos, indicadores, relés, contactores, arrancadores de marcha, válvulas, etc.

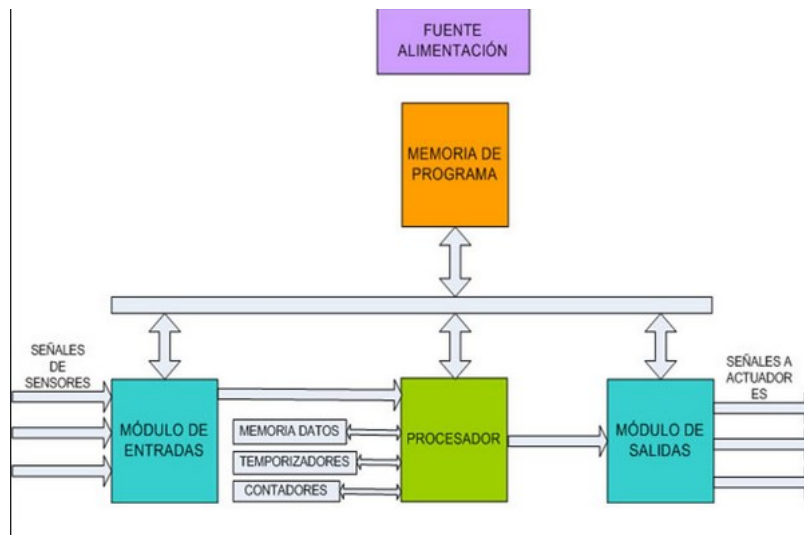


Ilustración 1 Configuración interna típica de un PLC.

Debido a la relevancia que presenta para el presente proyecto el concepto de autómatas programables se ahondará un poco más la descripción de características e información con respecto a los autómatas programables, en especial nos referiremos al PLC, denominado por sus siglas en inglés (Program logic control). Se hablará de sus características principales, sus aplicaciones y consecuencias tras su aplicación en la industria moderna, como también se hará una breve descripción de la manera en que se deben ingresar los datos en estos dispositivos.

El PLC en la industria moderna.

En la actualidad después de casi 50 años desde que se comenzó a utilizar el concepto de control lógico programable, se hace muy común encontrar en la vida cotidiana un sinnúmero de mecanismos automatizados y controlados a través de un PLC, cumpliendo tareas tan sencillas como por ejemplo la apertura de puertas en un supermercado, la elevación de personas y cargas a través del uso de ascensores, y otras mucho más complejas como por ejemplo: la utilización de máquinas herramientas con PLC incorporado (tornos CNC. Fresadoras CNC,

Rectificadoras CNC, brazos robóticos automatizados o semi automatizados, etc) Un sin número de aplicaciones complejas en la industria moderna, que han permitido optimizar los procesos y disminuir la carga de trabajo de los seres humanos.

Los Controladores Lógico Programables (PLC) fueron inventados como respuesta a las necesidades de la industria automotriz. Inicialmente fueron adoptados por las empresas para sustituir la lógica cableada constituida por relés y temporizadores, pues estas tecnologías resultaban bastante problemáticas.

Los PLC´s han ganado popularidad en las industrias y probablemente continuarán predominando por algún tiempo, debido a las ventajas que ofrecen:

- Son un gasto efectivo para controlar sistemas complejos.
- Son flexibles y pueden ser aplicados para controlar otros sistemas de manera rápida y fácil.
- Su capacidad computacional permite diseñar controles más complejos.
- La ayuda para resolver problemas permite programar fácilmente y reduce el tiempo de inactividad del proceso.
- Sus componentes confiables hacen posible que pueda operar varios años sin fallas.
- Capacidad de entradas y salidas
- Monitoreo
- Velocidad de operación.
- Están diseñados para trabajar en condiciones severas como: vibraciones, campos magnéticos, humedad, temperaturas extremas.



Ilustración 1 En la imagen con un modelo 084 PLC, los pioneros de la compañía Bedford Associates: Dick Morley, Tom Boissevain, George Scwerk, Jonas Landau.

### El PLC.

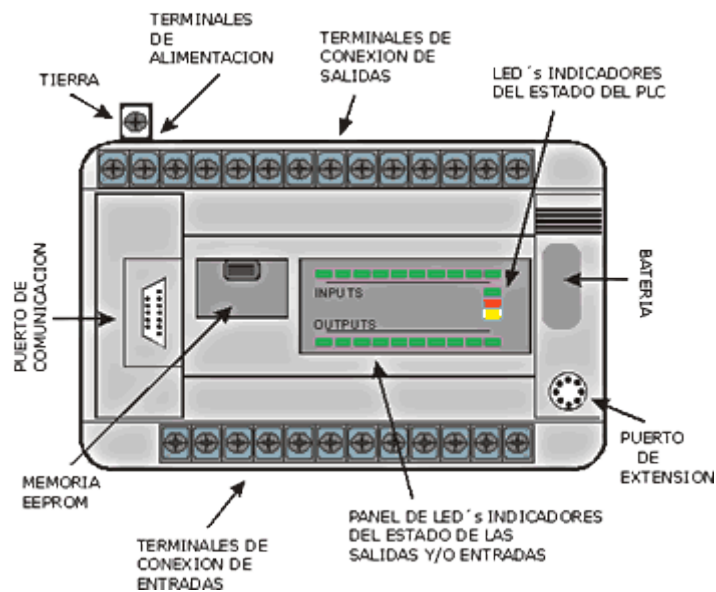


Ilustración 1 Estructura típica de un PLC.

Un controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo operado digitalmente, que usa una memoria para el almacenamiento interno de instrucciones con el fin de implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro



y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas, para controlar a través de entradas/salidas digitales o analógicas, varios tipos de máquinas o procesos.

Los PLC's operan de manera secuencial y cíclica, es decir, una vez finalizado el recorrido completo de un programa, comienza a ejecutar su primera instrucción.

Los elementos que contiene un PLC son:

- Unidad Central de proceso (CPU).
- Módulos de entrada.
- Módulos de salida.
- Fuentes de Alimentación.
- Dispositivos periféricos.
- Interfaces.

El funcionamiento del PLC es un continuo ciclo cerrado, primero el sistema operativo inicia la vigilancia de tiempo de ciclo, después el CPU escribe los valores de imagen de proceso de las salidas en los módulos de salida, a continuación la CPU lee el estado de las entradas en los módulos de entrada y actualiza la imagen de proceso de las entradas, el CPU procesa el programa del usuario en segmentos de tiempo y ejecuta las operaciones indicadas en el programa, al final de un ciclo el sistema realiza las tareas pendientes por ejemplo carga y borrado de bloques.

El lenguaje de programación.

Existen distintos tipos de lenguaje de programación para un PLC, los más significativos son:

Lenguaje por Lista de Instrucciones: En equipos PLC de gama baja, es el único modo de programación. Consiste en elaborar una lista de instrucciones lógicas que son análogas a los símbolos utilizados comúnmente, este tipo de lenguaje es

en algunos los casos, la forma más rápida de programación e incluso la más potente, se necesita de un diestro manejo en el uso de la tecnología.

Algunas de las funciones más comunes en este sistema de ingreso de datos son las funciones:

- LD: Indica que la entrada va a ser cargada (load) o ingresada al programa, en el ladder es posible encontrarles en el lado izquierdo, el símbolo nemónico utilizado son dos líneas paralelas verticales.
- OUT: Indica que el PLC emitirá una salida, en el ladder van al lado derecho el símbolo nemónico utilizado son paréntesis redondos.
- AND: Es una función lógica denominada conjunción, indica que para que se cargue una entrada o salida, también debe ingresarse aquella con la que está relacionada en la configuración del programa. A y B, ocurre A si y solamente si ocurre B.

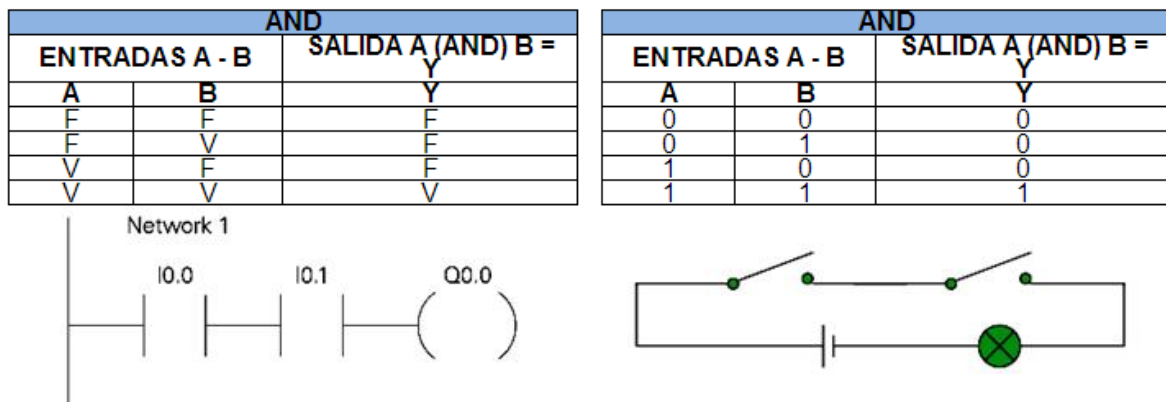


Ilustración 1 Función lógica de conjunción, a) Tablas de verdad; b) Simbología nemónica; c) Simbología de contactos

- OR: Es una función lógica denominada disyunción, indica que las entradas o salidas que se encuentran relacionadas a través de esta función pueden

ocurrir de manera simultánea o una a la vez, y obtener las mismas salidas asociadas.

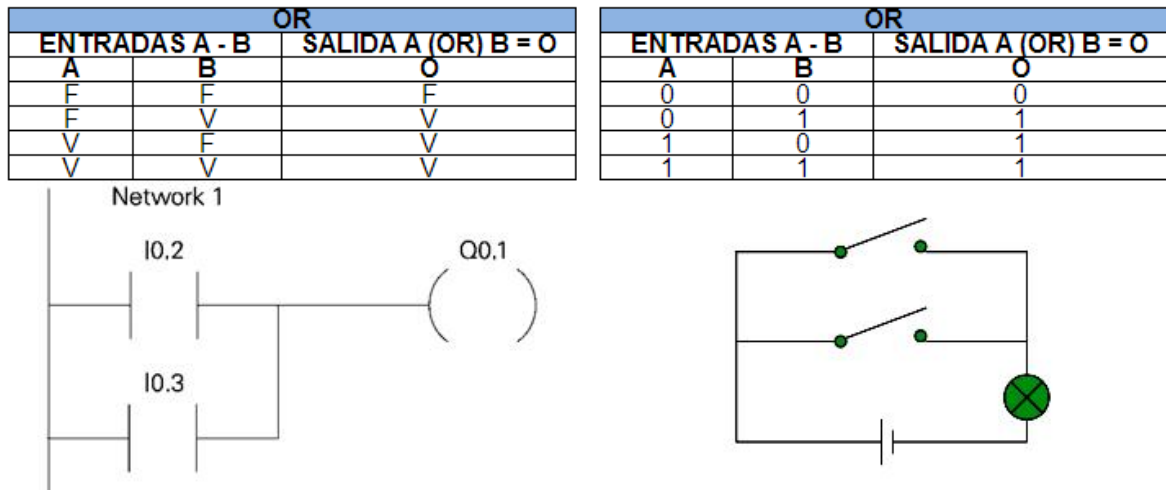


Ilustración 1 Función lógica de disyunción, a) Tablas de verdad; b) Simbología nemónica; c) Simbología de contactos

- XOR: Función lógica denominada “exclusiva”, al igual que la función disyunción permite el paso de dos variables por una misma línea pero solamente una a la vez.

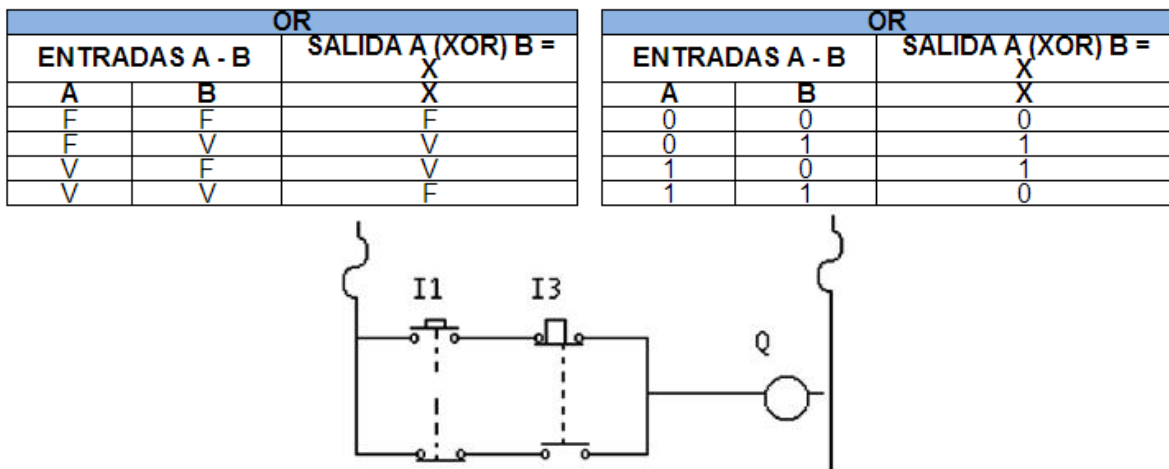


Ilustración 1 Función lógica exclusiva, a) Tablas de verdad; b) Simbología de contactos

Norma / Función	Nemónicos	Boole	DIN-40713-6 (relés)	NEMA (contactos)	Símbolos lógicos	Operadores lógicos UNE-20-004-75 (XVI)
Y (Serie)	AND	•				
O (Paralelo)	OR	+				
Complementaria	NOT	$\bar{a}$				
Exclusiva	XOR	$\oplus$				

Tabla : Simbologías utilizadas para representar funciones lógicas. En la programación del PLC se utilizan comúnmente los “Nemónicos” y los “NEMA”.

```

000  LD    %I0.1  Bp. inicio ciclo
      AND  %I0.0  Dp. presencia vehículo
      AND  %M3    Bit autorización reloj calendario
      AND  %I0.5  Fc. alto rodillo
      AND  %I0.4  Fc. detrás pórtico
005  S    %M0    Memo inicio ciclo
      LD    %M2
      AND  %I0.5
      OR   %I0.2  Bp. parada ciclo
      R    %M0
010  LD    %M0
      ST   %Q0.0  Piloto ciclo
    
```

Ilustración 1 Ejemplo de lista de instrucciones para un PLC.

Grafcet: Es el llamado Gráfico de Orden Etapa Transición. Ha sido especialmente diseñado para resolver problemas de automatismos secuenciales. Las acciones son asociadas a las etapas y las condiciones a cumplir a las transiciones. Este lenguaje resulta enormemente sencillo de interpretar por operarios sin conocimientos de automatismos eléctricos. Muchos de los equipos PLC existentes en el mercado permiten la programación en GRAFCET, tanto en modo gráfico o como por lista de instrucciones. También se puede utilizar para resolver problemas de automatización en forma teórica y posteriormente convertirlo a plano de contactos o plano ladder.

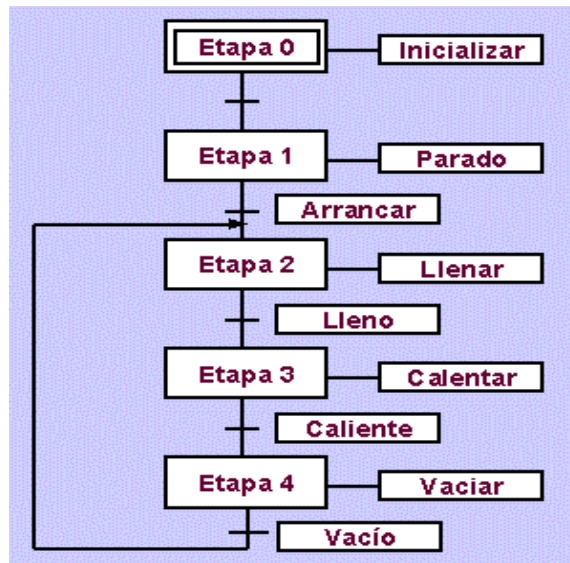


Ilustración 1 Grafcet.

Plano de funciones: El plano de funciones lógicas resulta especialmente cómodo, a técnicos familiarizados con circuitos de puertas lógicas, ya que la simbología usada en ambos casos es equivalente.

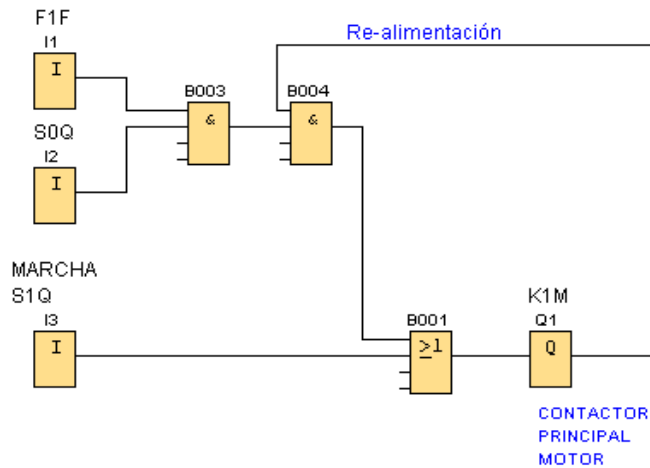
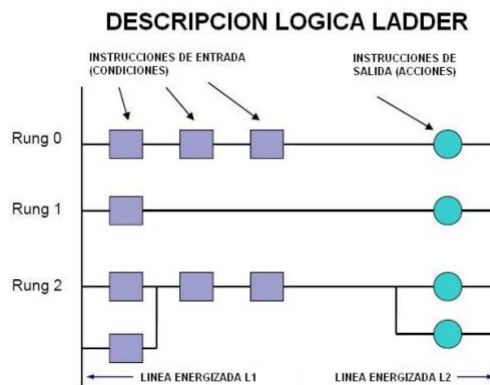


Ilustración 1 Plano de funciones lógicas.

Sin embargo cabe destacar que según lo investigado el lenguaje más común en el ámbito de la programación, o al menos para quienes comienzan a introducirse en él, es el lenguaje a través del esquema “Ladder” o escalera, que se expresa en un formato muy similar al de los diagramas de lógica en escalera utilizados comúnmente por electricistas e ingenieros eléctricos, ya que a ellos esta comúnmente asignada la labor de programación y montaje del PLC y sus componentes asociados, mas al interiorizarse someramente en el tema es posible lograr comprender con bastante claridad el funcionamiento y operación tanto del ingreso de sentencias como también del montaje y puesta en marcha de un PLC. Los diagramas de escalera son esquemas simples, y se utilizan para representar la lógica de control implementada en sistemas industriales. Se le llama diagrama de "escalera" por su similitud a una escalera, con dos rieles verticales, que representan las vías de alimentación, y varios "escalones" o líneas horizontales, en donde se encuentran representados los circuitos de control que definen las funciones lógicas a ejecutar. Las principales características del lenguaje ladder son las siguientes:

- El orden de exploración por defecto efectuado por el controlador es recorrer los peldaños de la escalera desde arriba hacia abajo y desde la izquierda hacia la derecha.

- Las instrucciones de entrada, se introducen en el lado izquierdo del esquema y se representan con dos pequeñas líneas verticales paralelas.
- Las instrucciones de salida, se ingresan en el lado derecho del esquema, y se representan con dos paréntesis redondos.
- Los carriles de alimentación, las dos líneas verticales paralelas, representan el suministro de energía eléctrica, se denominan generalmente como L1 y L2. En los circuitos de corriente alterna (CA) las dos líneas verticales paralelas representan (+) y (-) respectivamente, y en circuitos de corriente continua (CC) representan la línea de voltaje de 24 (VDC) y el sumidero.



- La mayoría de los PLC permiten más de una salida por cada escalón

Las instrucciones de entrada son las condiciones que tiene el circuito para permitir o no permitir el paso de corriente desde una línea hacia la otra. Estas condiciones se manejan comúnmente con contactos, que pueden ser, normalmente abiertos (NO) o normalmente cerrados (NC), en el PLC se interpretan las señales de alta y baja frecuencia emitidas por los sensores o bien por elementos de dialogo hombre máquina (botones, palancas, pedales, etc.), y si

las condiciones son óptimas en cuanto a conexiones y lógica de las funciones, las señales recibidas por el PLC son procesadas y transformadas en instrucciones de salida, que se emiten en forma de impulsos eléctricos que pasan a través del PLC y son dirigidos hacia los relés, ahí al excitarse la bobina que poseen se activa un contacto que al cerrarse permite el paso de la corriente hacia los contactores, estos elementos están diseñados para soportar un mayor voltaje que los relés y al igual que ellos su función es permitir o no permitir el paso de corriente, pero en este caso hacia los solenoides o bornes que existen en los actuadores y válvulas, generando acciones como por ejemplo: Dar la partida a un motor; encender o apagar letreros publicitarios, balizas o luces de emergencia; compresión de materiales o traslado de los mismos; entre muchas otras aplicaciones.

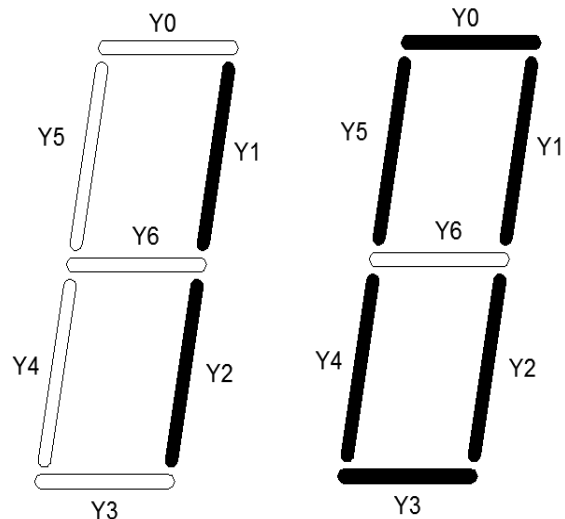


Ilustración 1 Partida de motor eléctrico a través de un PLC.

Ilustración 1 Letrero luminoso controlado por un PLC, cuenta regresiva

### Lógica ladder y su cableado

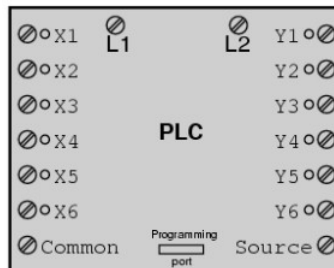
Las conexiones y estándares de programación pueden variar entre uno u otro modelo de PLC, pero sin embargo la aplicación de los conceptos es la misma



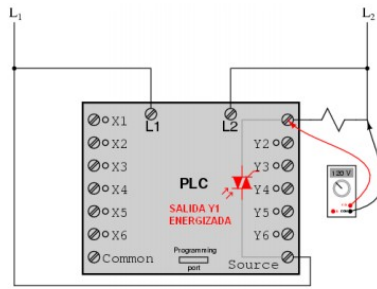
para todos, así que tanto el cableado, como la programación, puede ser repetida con éxito y sin temor a equivocarse en u otro modelo.

La siguiente ilustración muestra el esquema de un PLC simple, desde una vista frontal. Dos terminales proporcionan una conexión a 220V CA para alimentar los circuitos internos del PLC, L1 y L2.

Se pueden apreciar además seis terminales en el lado izquierdo que permiten conectar dispositivos de entrada, cada terminal representa una entrada diferente con su propia X000. La terminal ubicada en la zona inferior izquierda (Common) es un borne común de conexión, suele ser vinculado a L2 (neutro).



En el interior del PLC, conectado entre los bornes de entrada y el terminal común, existe un dispositivo opto – acoplador, cuya función es proporcionar señales de alto voltaje al circuito interno del PLC, cuando hay una señal de 120 (VCA) aplicada entre el terminal de entrada correspondiente y el terminal común, se encenderá un LED indicador en el panel señalando la existencia de una energía de entrada. Las señales de salida son generadas en la CPU interna del PLC, que al activar un dispositivo interno de conmutación, es capaz de conectar la fuente de energía a cualquiera de la terminales de salida "Y". La fuente en consecuencia, está por lo general relacionada con L1. Al igual que para cada entrada, un pequeño LED indicador existente en el panel frontal da una clara indicación visual de que se ha generado una energía de salida



La lógica real del sistema de control queda establecida en el PLC por medio de un software. Este software determina qué salida se energiza y bajo qué condiciones de entrada. Aunque el programa en sí parece ser un diagrama de lógica ladder, con los símbolos de interruptores y relés, no hay contactos de interruptores reales o bobinas de relés dentro del PLC para crear las relaciones lógicas entre la entrada y salida. Estos contactos y bobinas son imaginarios. El programa se carga en el PLC y es visto a través de una computadora personal conectada al puerto de programación del PLC.

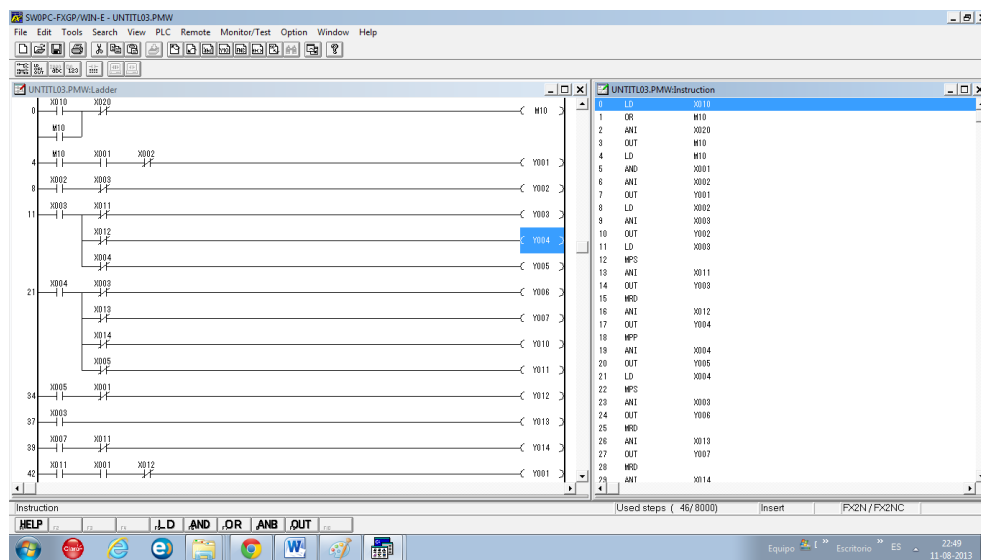


Ilustración 1 Programación de PLC a través de software Melsec Medoc Win E.

El software de programación utilizado en el desarrollo del presente proyecto de seminario es Melsec de Mitsubishi.

### 1.2.2 “Parte operativa de un sistema automatizado”.

“Detectores y transductores”.

Tal como nosotros los seres humanos necesitamos de nuestros cinco sentidos para percibir lo que ocurre a nuestro alrededor, los sistemas automatizados precisan de transductores y actuadores para adquirir información, y relacionarse con el medio que los rodea.

Los sensores y actuadores son los dispositivos del sistema de control que interactúan con el sistema físico que se pretende estudiar o controlar: los primeros permiten la toma de medidas de las distintas magnitudes físicas que se van a analizar; mientras que los actuadores posibilitan la modificación de dicho sistema.

Los términos sensor y transductor, tienen un distinto significado.

Un sensor es un dispositivo que a partir de la energía del medio, proporciona una señal de entrada que identifica la variable que se pretende medir. Se denomina sensor primario al dispositivo que transforma la magnitud física a medir en otra magnitud transducible.



Ilustración 1 Sensores en la vida diaria

En cambio un transductor es el dispositivo que transforma una magnitud física (mecánica, térmica, magnética, eléctrica, óptica, etc.) en otra magnitud, normalmente eléctrica.



Los transductores pueden ser clasificados según la forma en que se codifique la señal de salida, existen tres tipos de transductores:

**Transductores Analógicos:** Suministran una señal continua que es fiel reflejo de la variación de la magnitud física percibida por los sensores. La salida del transductor es un nivel de tensión o intensidad que varía de forma continua con la variable a medir dentro del rango de medida del transductor. Es frecuente que estos transductores incluyan una etapa para adaptar su salida a los valores normalizados [(0-10 (V) ó 4-20 (mA))].

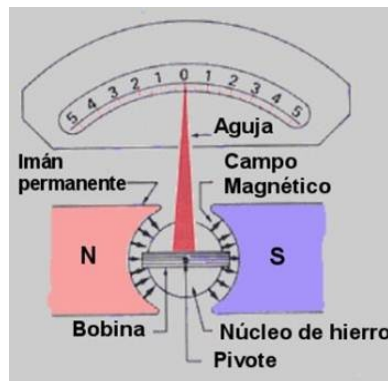


Ilustración 1 Transductor de medición analógico, galvanómetro.

Transductores Digitales: La señal de salida de este tipo de transductores es una codificación del valor medido, bien sea en forma de pulsos o como un valor representado según código binario, BCD, Gray, o cualquier otro sistema.



Ilustración 1 Transductor digital de presión.

Transductores Todo-Nada: Suministran una señal binaria claramente diferenciable. En este tipo de transductores, la salida sólo puede presentar dos estados: activa o no activa. No son estrictamente un tipo distinto de transductor, ya que son un caso particular de los transductores de salida digital con sólo dos estados posibles; pero son de gran importancia en la industria. Un ejemplo de transductor todo-nada muy utilizado son los detectores de presencia en sus distintos tipos (inductivos, capacitivos, ópticos, etc.)

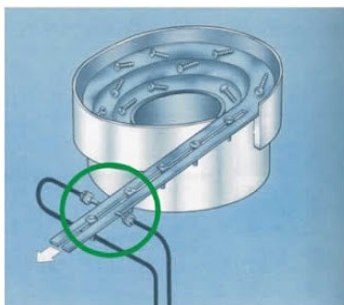


Ilustración 1 Sistema para detectar presencia, movimiento, posición o conteo de objetos.

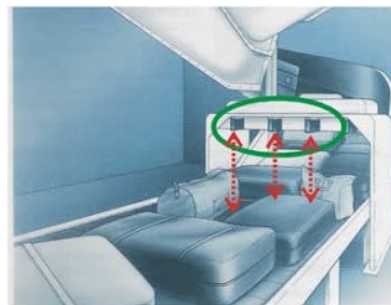


Ilustración 1 Control de flujo de objetos.

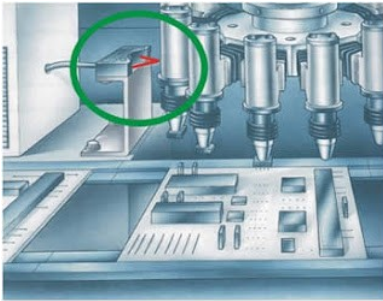


Ilustración 1 Control de posición de mecanismos.

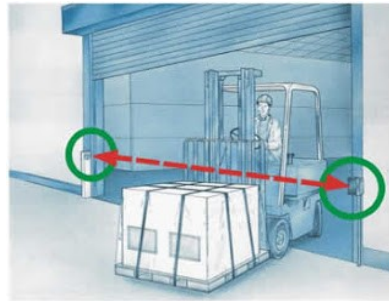


Ilustración 1 Control de apertura y cierre de puertas automáticas.

“Actuadores accionadores y Preaccionadores”.

El actuador es el elemento final del proceso de control, este en respuesta a la señal de mando recibida, actúa sobre la variable o elemento final del proceso, transformando la energía de salida del automatismo en otra útil para el entorno industrial de trabajo (principalmente energía cinética que se aprovecha para mover o trasladar objetos). Los accionadores pueden ser: eléctricos, neumáticos o hidráulicos, los más utilizados en la industria son: Cilindros y motores.



Ilustración 1 Actuadores neumáticos lineales



Ilustración 1 Actuadores neumáticos rotatorios.

Los accionadores: Son controlados directamente dirigidos por la parte de mando, sin embargo, pueden requerir algún pre accionamiento, para amplificar la señal emitida. Esta pre amplificación se traduce en establecer o interrumpir la circulación de energía desde la fuente hacia el actuador. Un ejemplo de la utilización de accionadores es la transmutación de las válvulas de maniobra presentes en circuito neumático, provocando el avance o retroceso de un cilindro.

Los preaccionadores: Son la parte de mando o de control que se encarga de conmutar las conexiones eléctricas, hidráulicas o neumáticas, existentes en el circuito de potencia. Un ejemplo del uso de preaccionadores es el cambio de posición de una válvula direccional a través de la aplicación de breves impulsos de aire comprimido o aceite a presión.

Cilindro doble efecto accionado neumáticamente.

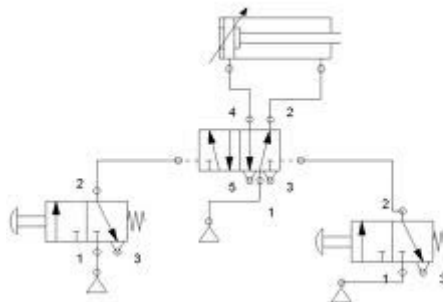


Ilustración 1 Accionadores y preaccionadores

## Capítulo 2: “Planteamiento de la situación o problema a resolver”.

El presente proyecto de seminario busca dar solución a un proceso de envasado de líquidos, originalmente efectuado de forma manual por los operadores, quienes para llenar los envases, deben acercar la boquilla de cada envase, hasta una válvula de llenado, conectada esta a su vez a un estanque contenedor, para luego trasladarles hasta una bodega de almacenaje, el proceso puede llegar a ser eficaz, pero siempre en función de la habilidad y ánimo de los encargados de realizar las labores de llenado y traslado. El proceso contempla para su traslado un peso razonablemente maniobrable para una persona media, mas es necesario aumentar el volumen y peso de los envases, por lo que se requiere un mayor esfuerzo físico por parte del operador. Por tal razón se hace necesario crear una opción que sea capaz de realizar las mismas labores, pero con mejores resultados y minimizando al máximo los esfuerzos físicos realizados por las personas.





Los esfuerzos en mejorar el proceso productivo están centrados a su vez en mejorar la calidad de vida de los operadores, evitando deteriorar su salud, eliminando o disminuyendo el riesgo de a mediano o largo plazo verse afectados por enfermedades derivadas del levantamiento excesivo de peso.

Además de la razón descrita anteriormente asociadas a la integridad de las personas, existen también otros factores, asociados más bien a mejorar el proceso productivo, que justifica realizar un cambio de fondo en la forma de realizar las tareas, tales como: el aumento de la cantidad y calidad de los productos; la realización de evaluaciones concretas de los resultados, cuya cantidad y calidad es más uniforme constante en el tiempo, dando la posibilidad de proyectar los resultados obtenidos con mayor seguridad y confianza de repetirlos.

Es por eso que para realizar dicho proceso de llenado se proponen dos alternativas de automatización que consiguen realizar el trabajo con mayor precisión y en un margen de tiempo mucho menor. Se espera que ambas alternativas permitan llenar a lo menos 4 envases simultáneamente, utilizando componentes neumáticos y también eléctricos, según sea el caso.

La primera de las alternativas para dar solución a la problemática descrita anteriormente, consiste en la utilización de una instalación neumática que permite llenar simultáneamente 4 envases, su funcionamiento es el siguiente: Primeramente se debe alimentar la instalación de envases vacíos, los cuales se trasladan desde una “zona de alimentación” hasta otra “zona de llenado”, para finalmente ser trasladados hasta una zona denominada “zona de descarga”, la alimentación de envases vacíos y posterior traslado de envases llenos se contempla que sean actividades realizadas por un operador, también podrían ser efectuadas a través de la utilización de una cinta transportadora o algún otro sistema de deslizamiento, mas tal parte del problema no es analizada en el presente seminario.

En la ilustración 2.1, se pueden apreciar los componentes comunes para ambas alternativas, además de la disposición de ellos en distintos colores, se aprecian 6 distintos tipos de cilindros con una función definida para cada uno de ellos, además de otros componentes tales como estanque tuberías y tubuladoras envasadoras.

Representación física de la instalación.

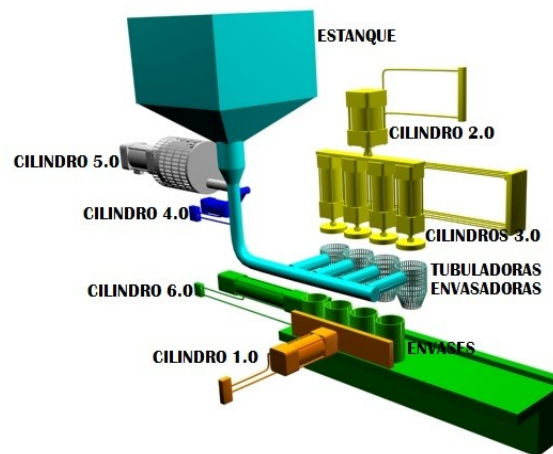


Ilustración 2 – 1: Disposición de los componentes comunes para ambas alternativas de automatización.

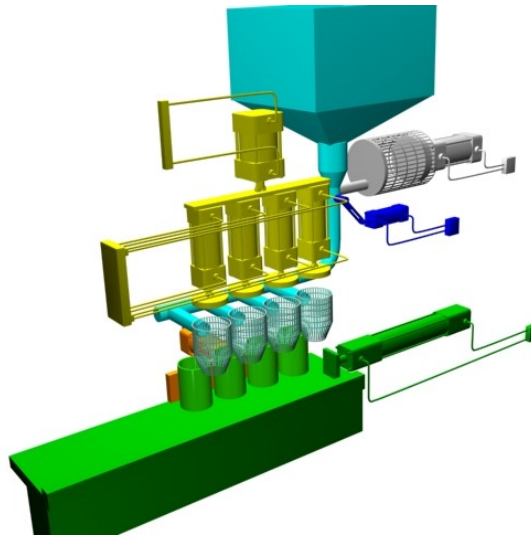


Ilustración 2 – 2: Representación gráfica de la instalación.

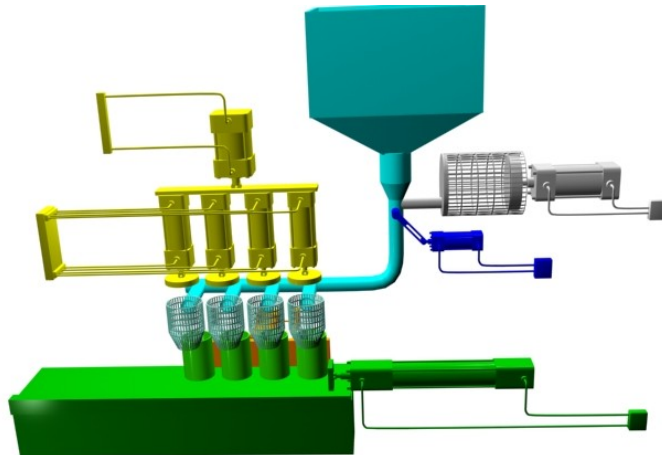


Ilustración 1 Representación gráfica de la instalación Vista posterior.

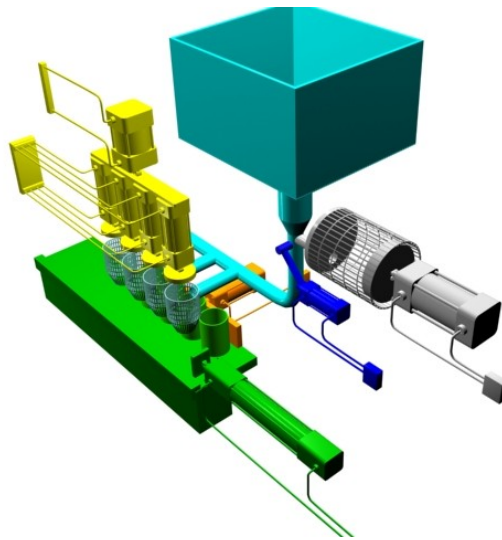


Ilustración 2 – 3: Representación gráfica de la instalación.

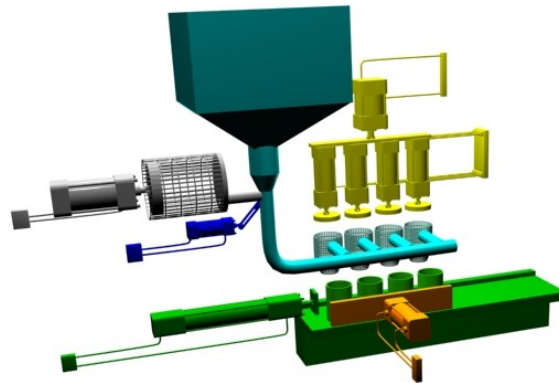


Ilustración 2 – 4: Representación gráfica de la instalación Vista frontal.

El sistema de automatización de tal instalación consiste en la obtención de una secuencia de funciones gracias a la sincronización de los sensores de posición de tipo mecánico que se encuentran incluidos en válvulas neumáticas denominadas de maniobra, que activan o desactivan otras válvulas denominadas principales, las que ordenan el funcionamiento de los cilindros neumáticos, los que realizan el trabajo finalmente.

El segundo sistema de automatización obtiene el mismo trabajo de los cilindros neumáticos, pero lo consigue a través de la utilización de otros métodos, cuenta en la configuración de su circuito con la inclusión de un PLC, el cual internamente realiza la labor obtenida anteriormente por la activación y desactivación de las válvulas de maniobra.

En el siguiente capítulo es posible apreciar el análisis de ambas alternativas con mayor detalle, y finalmente las principales diferencias entre ellas.

### Capítulo 3: “Alternativas de automatización”.

A continuación se describe el funcionamiento de cada una de las alternativas de automatización propuestas para lograr la automatización del sistema neumático, indicando su funcionamiento como también el desarrollo del trabajo en estas.

#### 3.1 Primera alternativa de automatización:

“Mando a través de la aplicación de tecnologías cableadas”.

La utilización de tecnologías cableadas para conseguir comandar un sistema automatizado fue una de las primeras soluciones en ser implementadas para superar las problemáticas en la industria, consistía principalmente en coordinar la activación y desactivación de relés electromagnéticos o válvulas con sensores incorporados, para conseguir el movimiento de actuadores.

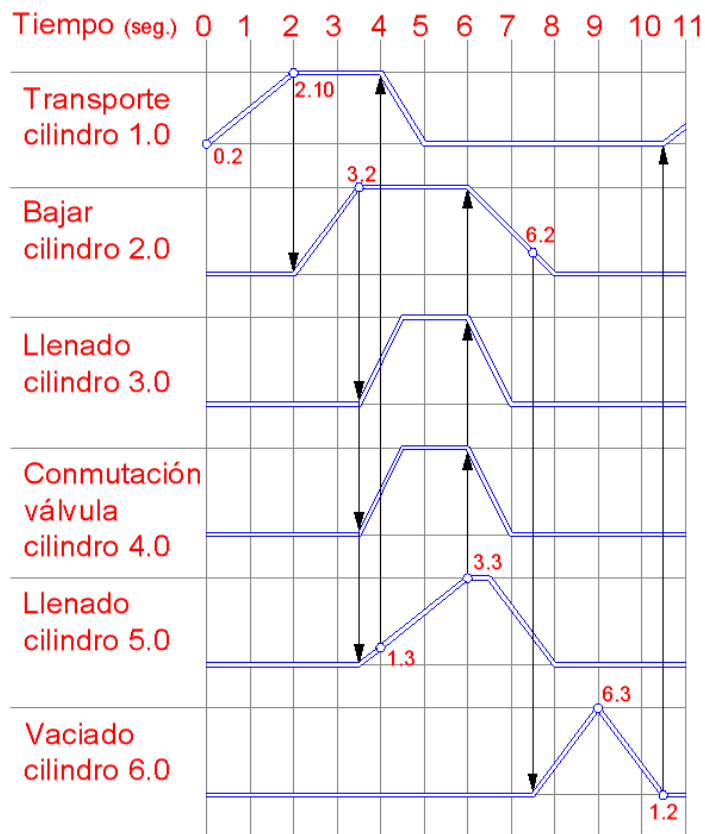
La primera alternativa de automatización tiene implementado un sistema de este tipo, pues cuenta solo con componentes neumáticos y mecánicos sin ningún tipo de procesador o elemento electrónico de mando. A continuación se describirá el funcionamiento y la forma en que se desarrollara el trabajo en ella.

##### 3.1.1 Funcionamiento general de la instalación.

La instalación dosificadora y envasadora de líquidos, funciona de manera automática. Una vez que es presionado el pulsador de arranque se da inicio al ciclo y con ello la posibilidad de repetirlo virtualmente sin límite de tiempo, a menos que sea detenido por el operador, esta instalación cuenta con seis cilindros neumáticos de doble efecto, con una determinada función a realizar dentro del ciclo, asociadas a cada uno de los cilindros se cuentan numerosas válvulas y sensores, los que al sincronizarse según las fases de trabajo, dan vida y movimiento al ciclo de trabajo.

Una vez que las válvulas y sensores han sido debidamente calibradas, el sistema puede comenzar a ser sincronizado, determinando así la realización de las funciones dentro del ciclo de trabajo de manera definitiva, la sincronización se logra a través de la relación que existe entre el largo de la carrera y la velocidad de avance o retroceso, siendo la variable tiempo la que se necesita controlar con mayor preocupación. Los sensores de posición deben ser instalados a la distancia adecuada asegurando que el contacto al interior de ellos se logre activar eficazmente. Se consigue con las consideraciones anteriores la coordinación de los tiempos en que se activa uno u otro cilindro, todo estas labores deben desarrollar en base a la información obtenida previamente desde el diagrama de fase, este diagrama entrega de forma clara el tiempo de duración de cada carrera y si los cilindros trabajan individual o simultáneamente, además de ello indican claramente la relación y dependencia entre sensores, válvulas y cilindros.

Esquema de funcionamiento.



Los sensores existentes en la instalación son de tipo mecánico y se accionan solo al entrar en contacto directo con ciertas zonas del vástago, generalmente estos sensores de posición se conectan por cables a los solenoides, y se ubican generalmente al comenzar o terminar una carrera, la mayoría de los existentes en la instalación se encuentran incluidos directamente en las válvulas, monoestables y con resorte por retorno.



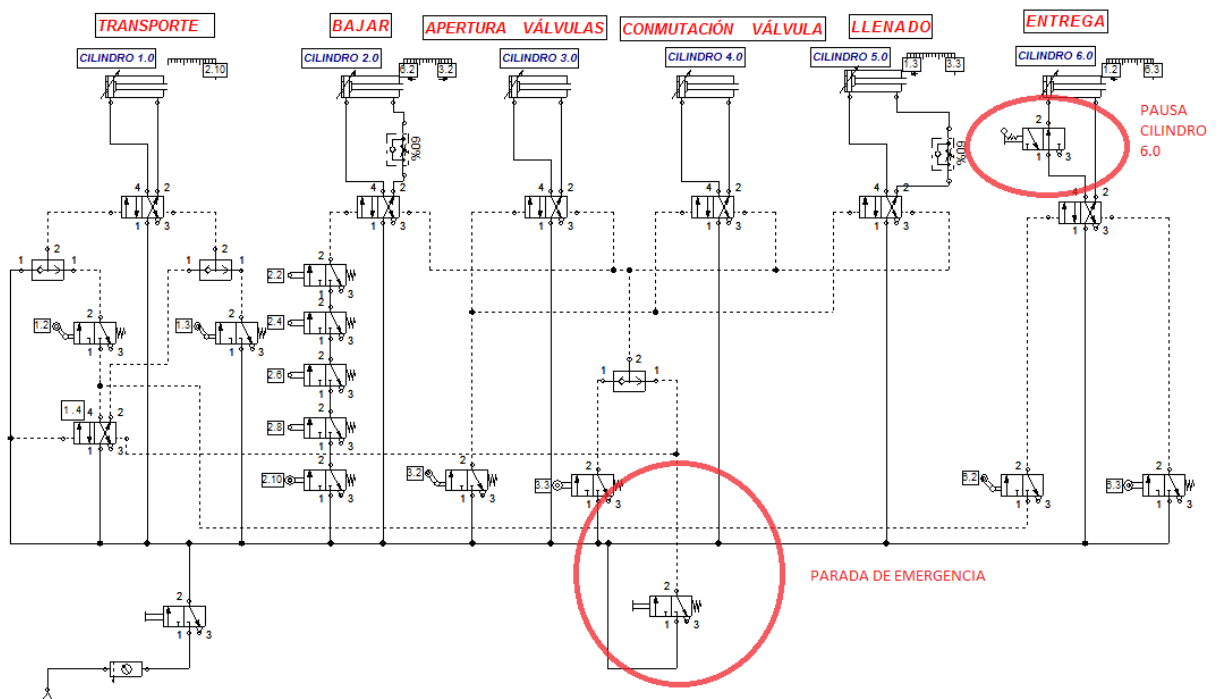
**Ilustración 3 - 2 Válvula monoestable 3/2 con activación de tipo mecánica de rodillo escamoteable.**

A continuación se describirán precisamente estas relaciones entre elementos de regulación y control, los primeros regulan el tránsito de aire comprimido en el interior del circuito mientras que los segundos se encuentran encargados están encargados de entregar y recibir información concerniente a la posición de cada cilindro.

La instalación está diseñada de manera tal que el operador encargado de la producción, tiene como función el vigilar la instalación cerciorándose en todo momento de que esta funcione correctamente, y además de vigilar también debe procurar que la máquina cuente con los envases vacíos suficientes en el inicio de cada ciclo de llenado, al completarse dicho ciclo también debe encargarse de retirar los envases llenos y trasladarlos a un centro de almacenaje, o bien ocuparse de montarlos en la cinta transportadora si la hubiese.



La instalación cuenta con dos paradas de emergencia. Una de ellas detiene por completo el funcionamiento de la instalación, sin importar en que parte del ciclo de llenado se encuentre el proceso, bajo una situación de emergencia esta válvula se encarga de detener el movimiento y a la vez de dejar a cada actuador en su posición inicial. La segunda de las paradas de emergencia es la ubicada en la línea de alimentación del cilindro 6.0, este cilindro tiene por función el empujar los envases llenos hacia la zona de descarga, esta válvula proporciona un tiempo al operador para trasladar los envases llenos, mientras el resto de la instalación a excepción del cilindro 6.0 continúa su funcionamiento normal, los envases siguen su curso habitual y son retirados una vez que el operador reanuda la actividad del cilindro de descarga. En el circuito neumático inicial el símbolo de la parada de emergencia tiene un accionamiento manual sin enclavamiento y además cuenta con un muelle de retorno, ambas situaciones hacen insegura la parada ya está válvula debiese ser con accionamiento manual con enclavamiento y sin muelle de retorno, para así mantener detenido el proceso el tiempo que estime necesario el operador.

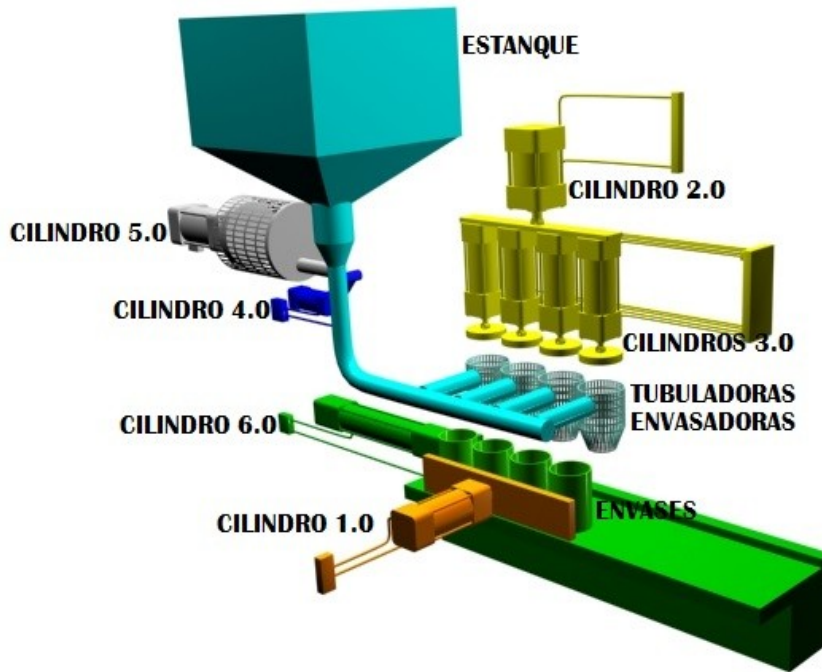


**Ilustración 3 - 3 Plano neumático de la instalación envasadora y dosificadora de líquidas, se aprecia en la imagen destacadas con un círculo rojo las paradas de emergencia.**

### 3.1.2 Desarrollo del trabajo en la instalación.

Una vez que el operador a accionado el compresor de aire, y ha regulado debidamente la presión de trabajo, que es generalmente de 6 bar manométricos, y además se ha cerciorado de que no exista nada fuera de lo normal que impida el funcionamiento de la instalación, debe proceder entonces a presionar el botón de arranque asociado a la válvula 0.1, el botón es de tipo pulsador saliente y tiene por función principal iniciar el ciclo de trabajo.

El primero en ser activado es el Cilindro 1.0, este cilindro está encargado de mover los envases vacíos dispuestos en la zona de alimentación hasta situarlos justo debajo de las cámaras de llenado. El circuito está diseñado de manera tal, que al ingresar el aire comprimido al circuito, la válvula direccional 1.1 cambia de posición instantáneamente, este cambio de posición permite el paso del aire comprimido hasta la cámara interior del cilindro 1.0, el aire comprimido empuja el pistón e inicia la carrera de avance del cilindro, el desplazamiento del vástago termina cuando los envases vacíos son trasladados hasta la zona de envasado, cada envase debe quedar en una posición precisa bajo las válvulas envasadoras, para asegurar ello existen cuatro válvulas de seguridad, de tipo 3/2 (2.2, 2.4, 2.6, 2.8), todas ellas son accionadas por sensores mecánicos de tipo leva, que al entrar en contacto o ser presionadas por la superficie externa de los envases, cambian de posición permitiendo el paso de aire comprimido hacia el interior del próximo cilindro en ser accionado.



**Ilustración 3 - 4 Instalación envasadora y dosificadora de líquidos, disposición de cilindros.**

Al terminarse la carrera del cilindro 1.0 existe también un sensor de posición mecánico de tipo rodillo, su función es accionar la válvula 2.10, esta está conectada en serie con las válvulas de seguridad mencionadas anteriormente. Este grupo de válvulas debe funcionar de forma simultánea, entonces una vez que el conjunto de válvulas están abiertas, cambia la posición de la válvula direccional 2.1, la que al cambiar deja libre el paso de aire hacia el interior del cilindro 2.0, dando así inicio a la carrera de avance orientada verticalmente hacia abajo, durante esta trayectoria el vástago del cilindro 2.0 debe soportar el peso de una viga transversal en la que están montados los cilindros 3.0 que son cuatro en total, estos micro cilindros se encuentran en el interior de las tubuladoras envasadoras, que son pequeñas cámaras alimentadas por tubos flexibles desde la cámara dosificadora principal, los cilindros 3.0 son pequeños y tienen por función abrir y cerrar el flujo de líquido proveniente de las cámaras dosificadoras principales y dejarlo caer en el interior de los envases ya dispuestos.

El cilindro 2.0 realiza su carrera de ida de manera rápida debido a que además de la fuerza de empuje producida por el aire comprimido se agrega la fuerza peso existente en los componentes mencionados antes, esta situación es indeseada y dañina para el equipo, ya que la velocidad excesiva en la salida del cilindro terminará por acortar la vida útil del cilindro, por esta razón se desea que el vástago del cilindro baje a una velocidad controlada, para esto se ha dispuesto un mecanismo de control de velocidad en la salida del cilindro, este mecanismo consiste en un conjunto de dos válvulas, la primera de ellas es una válvula de estrangulación que da al operador la posibilidad de regular el porcentaje del paso de aire y con ello la velocidad del actuador, y la segunda es una válvula de retención conectada paralelamente a la primera. Esta disposición permite que el aire comprimido en la carrera de ida del cilindro pase a través de la vía que presenta menor resistencia a su paso es decir la vía en la que está montada la válvula de estrangulación que a pesar de no permitir el paso en un 100% abierto deja que pase un cierto porcentaje de aire comprimido, mientras que la válvula de retención en la vía paralela se encuentra totalmente bloqueada para el paso de aire, en la carrera de regreso se espera que el cilindro 2.0 suba con una velocidad normal, entonces el regulador de velocidad funciona de forma inversa, abriendo completamente la válvula de retención y manteniendo el porcentaje de apertura de la válvula de estrangulación, el fluido pasa libremente hacia la cámara interior del cilindro.

Una vez el cilindro 2.0 ha concluido su carrera de ida y ha bajado completamente se activa entonces la válvula 3.3 gracias a un sensor de posición de tipo mecánico cuyo accionamiento es por rodillo, este tipo de accionamiento implica que mientras este presionado el rodillo la válvula permanecerá en una posición fija, es decir todo lo que ocurra mientras el cilindro 2.0 se encuentra en su posición más baja no afectara su funcionamiento.

La válvula 3.3 tiene por función permitir el paso simultáneo de aire hacia las válvulas 3.1, 4.1 y 5.1, cambiando la posición de todas ellas al mismo tiempo, la válvula 3.1 produce la apertura de los cilindros 3.0 los que abren el paso al fluido proveniente de las cámaras dosificadoras, dicha cámara contiene exactamente el volumen de líquido equivalente a cuatro envases, la válvula 4.1 acciona el cilindro 4.0 que al abrirse provoca una oscilación en una pequeña mariposa, la que se desplaza tan solo unos cuantos grados los suficientes para abrir una compuerta ubicada en las tuberías de salida de la cámara dosificadora, al mismo tiempo comienza la carrera de ida del cilindro 5.0, este cilindro empuja un émbolo existente en el interior de la cámara dosificadora e impulsa el líquido a través de las cañerías flexibles existentes hasta llegar a los envases.

La velocidad de salida del cilindro 5.0 se regula a través de un mecanismo regulador de caudal con retención, al igual que el cilindro 2.0, esto se hace con el fin de evitar que el líquido fluya a los envases a borbotones, generando un flujo turbulento y posibles salpicaduras. La dosificación del líquido en la cámara dosificadora se regula ajustando exactamente la longitud de carrera del cilindro 5.0, un poco después de haberse iniciado la carrera de ida del cilindro 5.0, se activa un nuevo sensor el cual envía una señal eléctrica a la válvula de mando 1.3 y esta cambia de posición y envía un impulso neumático a la válvula 1.1 ordenando así retroceder al cilindro 1.0, esta orden anticipada evita que el cilindro 1.0 y el cilindro 6.0 se encuentren simultáneamente activados.

Cuando el cilindro 5.0 ha completado su carrera de ida y la cámara dosificadora ha vaciado en los envases todo su contenido, se acciona un nuevo sensor mecánico de tipo ménsula basculante asociado a la válvula de maniobra 3.2, la característica principal de dicho accionamiento está en que solo se activa en determinado recorrido del vástago y se desactiva una vez dicha posición ha cambiado. La válvula de maniobra 3.2 produce el cambio de posición de las válvulas 2.1, 3.1, 4.1 y 5.1, todas ellas simultáneamente reciben un impulso de aire comprimido que cambia su posición y las hace regresar a su posición inicial,

se genera así la carrera de regreso de los cilindros 2.0 3.0 4.0 y 5.0. Todos los cilindros mencionados efectúan el regreso de sus pistones y vástagos, sin embargo uno de ellos cuenta con un sensor de posición en el término de su carrera de regreso, se habla del cilindro 2.0, que cuenta en el fin de su carrera de regreso con un sensor de posición mecánico de tipo ménsula basculante asociado a la válvula 6.2, esta válvula cambia de posición y deja pasar un corto impulso de aire comprimido que ocasiona un cambio de posición en la válvula 6.1, esta deja pasar libremente el aire dando inicio a la carrera de salida del cilindro 6.0, este cilindro tiene por función el traslado de los envases llenos hasta una zona de descarga, en esa zona los envases son retirados por el operador. Cuando el cilindro 6.0 ha completado su carrera de salida, acciona un sensor mecánico tipo rodillo asociado a la válvula 6.3 que entrega también un breve impulso de aire comprimido a la válvula 6.1 ocasionando que esta regrese a su posición inicial, en esta posición el aire comprimido ingresa en sentido contrario y se inicia la carrera de regreso del cilindro 6.0. Cuando este ha concluido su carrera de regreso se activa un nuevo sensor de posición mecánico, también de ménsula basculante, este sensor está asociado a la válvula de maniobra 1.2 que al cambiar de posición envía un breve impulso de aire a la válvula 1.1 iniciando así la salida del cilindro 1.0 y con ella el comienzo de un nuevo ciclo de trabajo.

Como se mencionó al principio de la descripción general del funcionamiento en la instalación, en la vía por donde ingresa el aire que hace salir al cilindro 6.0 existe una válvula de accionamiento manual de tipo palanca, que puede ser activada por el operador de forma arbitraria y tiene por función pausar el funcionamiento del cilindro 6.0, no permitiendo su salida mientras el operador no desbloquee la válvula 6.4, esta válvula es útil pues permite que el operador trabajar con libertad mientras se llenan 4 nuevos envases, pueda incluso trasladar los 4 envases llenos hasta una pila para luego trasladarla a un centro de almacenaje o cinta transportadora que podría existir.

Como se indicó en el resumen del proyecto, se inicia el análisis en un circuito neumático en el que se desconocen todas sus dimensiones físicas, como también se desconoce el tipo de fluido con el que se trabaja, solo se sabe que es un tipo de fluido cuya viscosidad le permite moverse con fluidez en el interior del circuito, esta falta de datos limita las posibilidades en cuanto a la determinación y selección de componentes.

Por esta razón, se realizará un breve análisis de las necesidades de cada cilindro con la intención de estimar de manera aproximada sus variables de funcionamiento, para aquello se utilizarán modelos matemáticos simplificados, siempre pensando en no complicar el desarrollo de objetivos de mayor importancia en el presente proyecto, es decir solo se obtendrán los cálculos necesarios para seleccionar desde un catálogo cada uno de los cilindros y sus elementos asociados.

### 3.1.3 Cálculo y selección de cilindros neumáticos.

Para seleccionar los cilindros neumáticos se hará uso de los catálogos comerciales disponibles y puestos a disposición en internet por los proveedores locales principalmente Festo.

Se seleccionarán los cilindros que cumplan las condiciones de funcionamiento de la manera más cercana. La selección se realizará en cada caso desde catálogos de tipo comercial, en donde se especifican las características físicas y técnicas de cada producto, se trabajará solo con información proporcionada por uno de los proveedores locales que puedan prestar asesoría, el más completo de ellos.

En cada caso, será necesario primeramente conocer la fuerza mínima aproximada que se requiere para realizar la función asignada, posteriormente al observar los rangos de acción de cada cilindro (distancias, coordenadas, etc.), según cual sea su función dentro de la instalación se estimará la longitud de su

carrera, con estos datos más la fuerza y longitud de carrera, será posible determinar y seleccionar el diámetro de cada cilindro, y decidir si estos son o no adecuados.

Los cálculos estarán basados en la utilización de un cierto tipo de envase que contendrá en su interior un líquido, las medidas serán arbitrarias y los cálculos serán solo aproximaciones, esta tarea se realizará tan solo con el fin de seleccionar con mayor base los componentes.

El envase con el que se trabajará será de un material plástico transparente, y tendrá una capacidad volumétrica de aproximadamente 1 (galón). El líquido seleccionado como modelo para realizar los cálculos será agua común, debido a la comodidad que significaría si alguien quisiese realizar los cálculos para algún otro tipo de fluido tal como algún lubricante o pintura, pues bastaría con utilizar el concepto de densidad relativa.

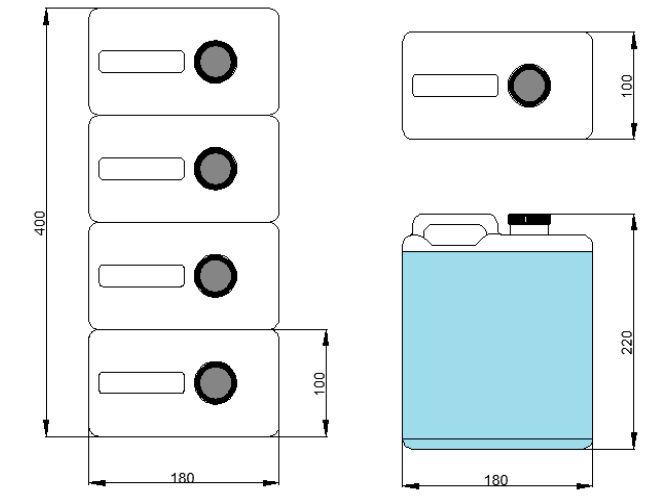
$$\rho_t = \rho / \rho_0$$

$\rho_t$  es la densidad relativa;  $\rho$  es la densidad absoluta y  $\rho_0$  es la densidad de referencia.

Las medidas del envase propuesto son las siguientes:

- Altura aproximada: 220 (mm)
- Ancho aproximado: 100 (mm)
- Largo aproximado: 180 (mm)





**Ilustración 3 - 5 Dimensiones de envase a utilizar.**

El peso en kilogramos que equivaldrá cada envase será:

$$1 \text{ galón} = 3.78 \text{ lts}$$

Luego, considerando la densidad del agua y que el peso del envase es despreciable:

$$\rho = m/V \text{ kgm}^3 \rightarrow m = \rho \text{ agua kgm}^3 \times V \text{ m}^3 = 1000 \text{ kgm}^3 \times 0.00378 \text{ m}^3 = 3.78 \text{ kg}$$

La masa equivalente para cada envase será entonces de:

$$\text{masa equivalente de un envase} = 3.78 \text{ lts} = 3.78 \text{ kg}$$

La masa total que deberá mover la instalación será de:

$$\text{masa equivalente total} = 43.78 \text{ kg} = 15.12 \text{ kg}$$

La fuerza peso que ocasiona dicha masa es de:

$$\text{Fuerza Peso} = m \cdot g = 15.12 \text{kg} \cdot 9.81 \text{mseg}^2 = 148.33 \text{N}$$

En conclusión la fuerza máxima aplicada por el circuito neumático, será la necesaria para mover los 4 envases llenos de líquido, se anticipa que será menor a la fuerza peso calculada, ya que no se necesita levantar la carga, sino que bastará deslizarla por la superficie de acero liso.

Los cálculos comenzaran en la selección del cilindro 6.0 para posteriormente proseguir con los demás. Los cilindros 3.0 por tratarse de micro cilindros serán escogidos de manera arbitraria.

Selección del cilindro 6.0:

Calculo de la Fuerza aplicada por el cilindro 6.0:

Existen dos instancias de aplicación de fuerza, la primera de ellas será antes de que comience el movimiento del objeto a trasladar, es decir justo antes de que se venza la inercia, al vencer la fricción existente en la superficie de acero, y la segunda instancia es cuando ya se ha comenzado el movimiento, entonces la fuerza de fricción ya no es estática si no que ahora se le llama fricción dinámica, para cada caso se definirán determinadas cocientes de fricción, la mayor de las fuerzas de fricción en magnitud, es la fuerza de fricción estática, aunque será vencida rápidamente si el cilindro escogido es el adecuado, y ya que la presión del aire comprimido debe ser constante tanto en caudal como en presión, se garantiza que la carga será trasladada efectivamente por los cilindros neumáticos. La masa a mover estimada para el cilindro 6.0 es de aproximadamente 15 kg de líquido, distribuida en 4 envases, mas se representaran todas ellas simplifcadamente en un bloque con movimiento horizontal.

TRASLADO DE ENVASES LLENOS.

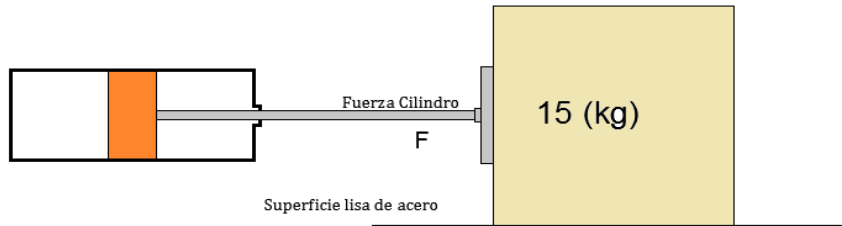


Ilustración 3 - 6 Traslado de envases realizado por el cilindro 6.0.

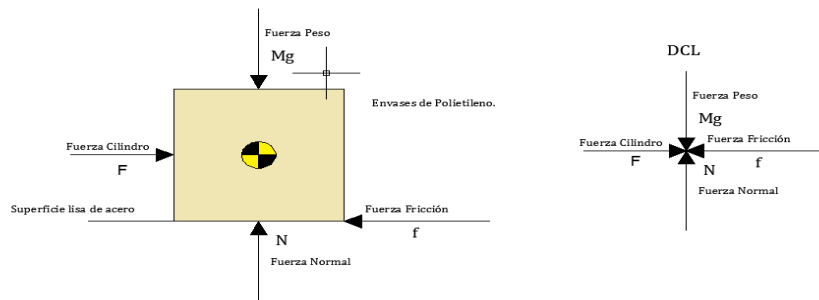


Ilustración 3 - 7 Diagrama de cuerpo libre: fuerzas involucradas en el traslado.

Aplicando la segunda ley de Newton se tiene que:

$$F_x = F_{C6} - f = ma$$

Pero se tiene que para el instante previo al movimiento:

$$a = 0 \text{ mseg}^2$$

entonces:

$$F_x = F_{C6} - f = 0$$

nosotros sabemos que:

$$f = \mu S N$$

entonces reemplazando nos queda que:

$$\rightarrow FC6 - \mu S N = 0$$

$$\rightarrow FC6 = \mu S N$$

Para conocer el valor de N será necesario sumar las fuerzas existentes en el eje vertical o eje y:

$$F_y = N - mg = 0 \rightarrow N = mg$$

Entonces reemplazando, nos queda que:

$$\rightarrow FC6 = \mu S m g$$

Considerando un coeficiente de fricción estática de 0.2 correspondiente a polietileno sobre acero, dato obtenido de datos experimentales tabulados en tablas.

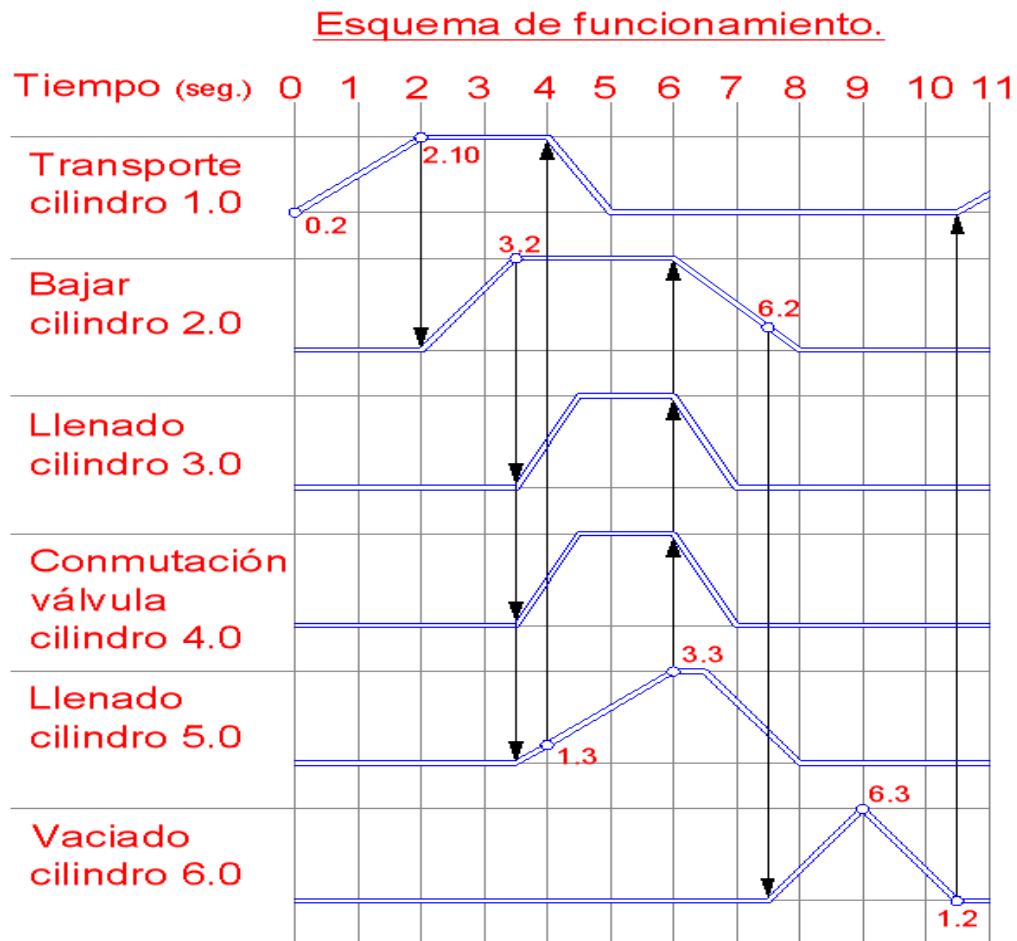
$$\rightarrow FC6 = \mu S m g = 0.215 \cdot 12 \text{kg} \cdot 9.81 \text{mseg}^2 = 29.66 \text{N} = 3.02 \text{kg}$$

Por lo tanto, se necesita una fuerza mínima de aproximadamente 30(N) para comenzar a mover la carga y vencer la fuerza de fricción presente en la superficie de acero lisa.

Una vez ha sido vencida la fuerza de fricción estática máxima, y comienza el movimiento, entran en juego nuevas variables, como lo es la aceleración, que será mínima en un principio para luego incrementarse y permanecer constante

hasta comenzar a desacelerar hasta detenerse por completo, se hace necesario determinar el número de ciclos por minuto que se aplicaran al cilindro, para así conocer un valor aproximado de la aceleración a la cual será sometida la carga.

Diagrama de fase:



**Ilustración 3 - 8 Diagrama de fase. Indica los tiempos y las secuencias de accionamiento para los cilindros.**

Cada cilindro completa una carrera de avance y una carrera de retorno, mientras se completa el ciclo de trabajo, es decir: Si se completa 1 ciclo cada 10.5 (seg.), entonces en 60 (seg.) cada cilindro habrá realizado 5.7 ciclos.

Cilindro.	Tiempo carrera de avance (seg.)	Tiempo carrera de retorno (seg.)	Ciclos por minuto. (CPM)
Cilindro 1.0	2.0	1.0	5.7

Cilindro 2.0	1.5	2.0	5.7
Cilindro 3.0	1.0	1.0	5.7
Cilindro 4.0	1.0	1.0	5.7
Cilindro 5.0	2.5	1.5	5.7
Cilindro 6.0	1.5	1.5	5.7

Para determinar la fuerza y caudal en un cilindro se pueden utilizar las siguientes expresiones matemáticas, teniendo presente que éstas, entre sus términos pueden poseer factores, que fueron seguramente obtenidos a través de reducción o simplificación de variables, este alcance es necesario ya que no se podrá utilizar más que las unidades de medida establecidas. Las expresiones son las siguientes y están planteadas en los siguientes términos.

- Fórmula para determinar diámetro:

$$D = 1.4 \sqrt{FP} \text{ cm}$$

Donde:

D = Diámetro del émbolo y esta expresado en (cm).

F = Fuerza generada en el interior del cilindro neumático por la presión del aire comprimido, esta expresada en kg.

P = Presión manométrica, expresada en (bar).

(Se consideró la fuerza de roce igual a un 10% de F)

- Fórmula para determinar el caudal.

$$Q_n = 0.85 D^2 L CPM \sqrt{1.033 + P} \text{ cm}^3/\text{min}$$

Donde:

D = Diámetro del émbolo (cm).

L = Largo de la carrera (cm).

P = Presión de trabajo (bares manométricos).

CPM = Ciclos por minuto.

(En la formula se considera que los espacios muertos corresponden a un 8%).

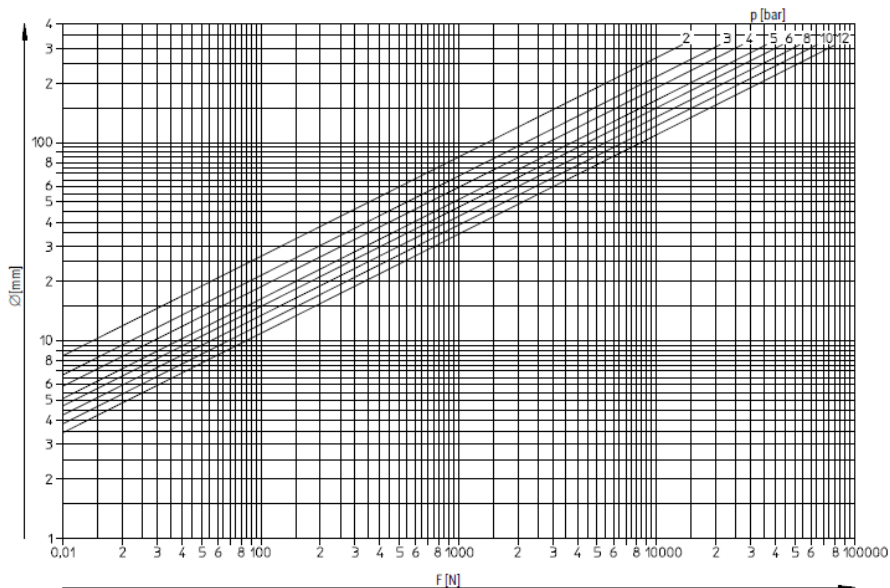
Además de las formulas mencionadas, existen nomogramas y diagramas con datos obtenidos de forma experimental, estos gráficos son de gran utilidad y resultan tremendamente prácticos, pues son sencillos y están basados en datos experimentales para diámetros normalizados, ( se observan dos ejemplos de ellos en la página siguiente).

### Diagrama presión-fuerza

FESTO

Presión de funcionamiento p en función del diámetro del émbolo y de la fuerza F

En el diagrama se ha considerado aprox. un 10% de pérdidas por rozamiento.



**Ilustración 3 - 9** Nomograma extraído de página web de la compañía Festo, es utilizado para determinar el diámetro de un cilindro conociendo la presión de trabajo y la fuerza requerida

**Diagrama presión-fuerza**



Fuerza del émbolo [N]								
∅	Presión de funcionamiento [bar]							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2,5	0,4	0,9	1,3	1,8	2,2	2,7	3,1	3,5
3,5	0,9	1,7	3,8	3,5	4,3	5,2	6,1	6,9
5,35	2	4	6,1	8,1	10,1	12,1	14,2	16,2
6	2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,3	17,8	20,4
8	4,5	9	13,6	18,1	22,6	27,1	31,7	36,2
10	7,1	14,1	21,2	28,3	35,3	42,4	49,5	56,5
12	10,2	20,4	30,5	40,7	50,9	61,0	71,3	81,4
16	18,1	36,5	54,3	72,4	90,5	109	127	145
20	28,3	56,5	84,8	113	141	170	198	226
25	44,2	88,4	133	177	221	265	309	353
32	72,4	145	217	290	362	434	507	579
40	113	226	339	452	565	679	792	905
50	177	353	530	707	884	1 060	1 240	1 410
63	281	561	842	1 120	1 400	1 680	1 960	2 240
80	452	905	1 360	1 810	2 260	2 710	3 170	3 620
100	707	1 410	2 120	2 830	3 530	4 240	4 950	5 650
125	1 100	2 210	3 310	4 420	5 520	6 630	7 730	8 840
160	1 810	3 620	5 430	7 240	9 050	10 900	12 700	14 500
200	2 830	5 650	8 480	11 300	14 100	17 000	19 800	22 600
250	4 420	8 840	13 300	17 700	22 100	26 500	30 900	35 300
320	7 240	14 500	21 700	29 000	36 200	43 400	50 700	57 900

**Ilustración 3 - 10 Diagrama Presión – Fuerza, extraído del material didáctico proporcionado por la compañía Festo, es utilizado para determinar la fuerza generado por cilindro de cierto diámetro a una determinada presión de trabajo.**

Haciendo uso de la fórmula para obtener el diámetro del émbolo, se llegó a un resultado demasiado alejado de lo que se esperaba, se supuso que esto sucedió debido a que la fuerza de empuje necesaria en cada cilindro es demasiado baja y los cálculos arrojaron por ejemplo que el cilindro 6.0 que es el cilindro que empuja la mayor carga, necesita tan solo un émbolo de aproximadamente 10(mm) de diámetro, siendo que si el diámetro del embolo menor a 32(mm) se considerado como un micro cilindro y entre estos no se encuentran disponibles los largos de carrera requeridos. Por esta razón se optó por seleccionar para los cilindros: 1.0; 2.0; 5.0 y 6.0, un embolo de diámetro igual a 32 (mm), que es el diámetro mínimo para un cilindro. La estimación para cada cilindro fuer la siguiente:

Cilindro	Largo de carrera.	Diámetro del émbolo	Masa aproximada	Presión de Trabajo
Cilindro 1 .0	220 (mm)	32 (mm)	0.5 (kg)	6 (bar)
Cilindro 2 .0	200 (mm)	32 (mm)	10 (kg)	6 (bar)
Cilindro 3 .0	30 (mm)	12 (mm)	≤1 (kg)	6 (bar)
Cilindro 4 .0	100 (mm)	25 (mm)	≤1 (kg)	6 (bar)



Cilindro 5 .0	290 (mm)	32 (mm)	15 (kg)	6 (bar)
Cilindro 6 .0	440 (mm)	32 (mm)	15 (kg)	6 (bar)

Ahora el paso siguiente, será seleccionar los actuadores, para poder luego estimar el consumo de aire comprimido.

Los productos se encuentran normalizados, por lo que los cilindros seleccionados serán la opción inmediatamente superior en caso de no encontrar exactamente el que se propuso en la tabla anterior, esto da la oportunidad de regular las distancias en terreno. Los cilindros seleccionados de los catálogos Festo son los siguientes:

Cilindro	Largo de carrera.	Diámetro del émbolo	Código del producto.
Cilindro 1 .0	250 (mm)	32 (mm)	DNC-32-250-P
Cilindro 2 .0	200 (mm)	32 (mm)	DNC-32-200-P-Q
Cilindro 3 .0	40 (mm)	12 (mm)	DSN-12-40-P
Cilindro 4 .0	100 (mm)	25 (mm)	DSNU-25-100-P
Cilindro 5 .0	300 (mm)	32 (mm)	DNC-32-300-P
Cilindro 6 .0	500 (mm)	32 (mm)	DNC-32-500-P

La denominación de cada cilindro se encuentra debidamente codificada, esto permite ubicar con mayor rapidez el o los productos que se necesiten. La primera parte del código indica a que familia de cilindros pertenece el seleccionado, la segunda cifra entrega el diámetro del émbolo, la tercera corresponde al largo de carrera, y las letras a distintas características del cilindro, por ejemplo, la letra P indica que el cilindro posee amortiguación por anillos elásticos a ambos lados del pistón, y la Q que el vástago es de sección cuadrada con la finalidad que gire al moverse.

El caudal calculado para cada cilindro, se muestra en el cuadro siguiente, tan solo se mostrara el cálculo realizado para uno de los cilindros, ya que para los demás el procedimiento es exactamente el mismo.

$$Q_n = 0.85 \cdot D^2 \cdot L \cdot CPM \cdot z \cdot 1.033 + P1.033 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{1.0} = 0.853 \cdot 2.255 \cdot 721 \cdot 0.33 + 61.033 = 14487.6 \text{ cm}^3/\text{min} = 14.5 \text{ lts}/\text{min}$$

Cilindro	Caudal Q ( lts / min)
Cilindro 1 .0	14.48
Cilindro 2 .0	11.59
Cilindro 3 .0	1.30
Cilindro 4 .0	0.35
Cilindro 5 .0	17.39
Cilindro 6 .0	28.98
Total	74.09

La obtención del caudal aproximado para cada cilindro como para el accionamiento de varios de ellos es un dato necesario en la selección tanto del compresor como de las válvulas existentes. El mayor consumo existente en la instalación ocurre cuando funcionan de manera simultánea los cilindros: 2.0; 3.0-4.0 y 5.0 (75 [lts/min] aprox.) Las válvulas seleccionadas fueron las siguientes:

- a) Válvulas 4/2 con accionamiento neumático a ambos lados.

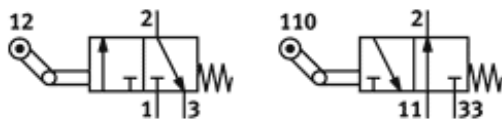
Designación Válvula.	Caudal aproximado (lts/min)	Código Festo	Caudal de la válvula seleccionado (lts/min)
Válvula 1.4	15	-	-

Válvula 2.1	12	-	-
Válvula 3.1	2	-	-
Válvula 4.1	0.35	-	-
Válvula 5.1	18	-	-
Válvula 6.1	29	-	-

Observación: Este tipo de válvula es bastante escasa y difícil de encontrar, debido a que ya no se utiliza comúnmente en el diseño de instalaciones neumáticas, la activación neumática es utilizada en conjunto con un solenoide, para así dar la opción de utilizar ambas alternativas de accionamiento. La válvula seleccionada se nombra en el estudio económico.

- b) Válvulas 3/2 accionadas por rodillo escamoteable, con resorte de reposicionamiento.

Designación Válvula.	Caudal aproximado. (lts/min)	Código Festo.	Caudal válvula Seleccionada (lts/min).
Válvula 1.2	15	L/O - 3 – PK - 3	80
Válvula 1.3	15	L/O - 3 – PK - 3	80
Válvula 3.2	74	L/O - 3 – PK - 3	80
Válvula 6.2	29	L/O - 3 – PK - 3	80



**Ilustración 3 - 11 Símbolo neumático utilizado para representar este tipo de válvulas, monoestable 3/2 con activación mecánica de rodillo escamoteable.**

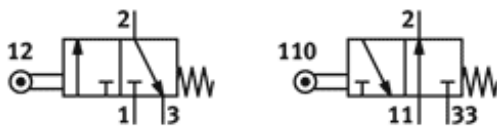


**Ilustración 3 - 12 Válvula 3/2 con**

**activación mecánica de rodillo escamoteable.**

c) Válvulas 3/2 con accionamiento por rodillo, con muelle de reposicionamiento.

Designación Válvula.	Caudal Aproximado (lts/min)	Código Festo.	Caudal válvula Seleccionada (lts/min).
Válvula 2.10	12	R/O - 3 - PK - 3	80
Válvula 3.3	74	R/O - 3 - PK - 3	80
Válvula 6.3	29	R/O - 3 - PK - 3	80



**Ilustración 3 - 13 Símbolo neumático utilizado para representar este tipo de válvulas, monoestable 3/2 con activación mecánica de rodillo.**

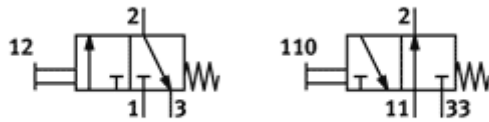


**Ilustración 3 - 14 Válvula 3/2 con**

**activación mecánica de rodillo.**

d) Válvulas 3/2 con accionamiento manual.

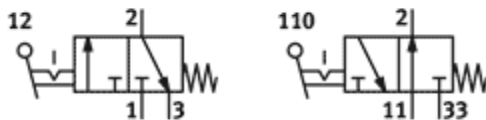
Designación Válvula.	Caudal aproximado. (lts/min)	Código Festo.	Caudal válvula Seleccionada (lts/min).
Válvula 0.2	74	K/O - 3 – PK3	80
Válvula 0.3	74	K/O – 3 – PK3	80
Válvula 6.4	15	K/H-3-PK-3	80



**Ilustración 3 - 15 Símbolo neumático utilizado para representar este tipo de válvulas, monoestable 3/2 con activación manual por pulsador.**



**Ilustración 3 - 16 Imagen referencial válvula 3/2 con activación manual, y resorte de retorno.**



**Ilustración 3 - Símbolo neumático utilizado para representar las válvulas 3/2 con activación manual**

por palanca, con enclavamiento y resorte de retorno.



**Ilustración 3 - Válvula 3/2 con activación por palanca con enclavamiento y retorno por resorte.**

e) Válvulas 3/2 con accionamiento por leva, con muelle de reposicionamiento.

Designación Válvula.	Caudal (lts/min).	aproximado	Código Festo.	Caudal válvula Seleccionada (lts/min).
Válvula 2.2	12		VO-3-PK-3-B	60
Válvula 2.4	12		VO-3-PK-3-B	60
Válvula 2.6	12		VO-3-PK-3-B	60
Válvula 2.8	12		VO-3-PK-3-B	60

Cauda Seleccionada	Descripción del producto	Cantidad	Precio Unit. \$	Subtotal
	ZNEU2054 ELEC.VALV.BIEST.5VIAS 2P 2SOL. 1/4" (SERIE200)	6		12,0
	ZNEU0041 CONECTOR CODO TUBO 4MM X MACHO 1/4"GIR.	0		
	ZNEU0200 SILENCIADOR BR.SINTERIZADO CONEX.1/8"	1		8
		0		

23.500	141.000,00		
			5.400,00
750	13.500,00	45	
		0	
PAGO:		3	Subtotal
EFFECTIVO.			
ENTREGA 24			159.900,00
HORAS APP.			

## 5.0 CONCLUSIONES:

La electro-neumática es una disciplina de uso extendido dentro de la industria moderna, ya que sus características de reducción en los costos de operación, seguridad, limpieza, versatilidad y fácil implementación, hacen de ésta una de las técnicas más adoptadas para las tareas de automatización dentro de los variados procesos en la industria.

Cuando tal automatización es controlada a través de un autómatas programable (PLC), se logra con gran éxito la optimización en la ejecución de procesos, ya que este tipo de control o mando, posee grandes ventajas en comparación a otras tecnologías utilizadas con anterioridad, siendo la ventaja más destacable de esta comparación: su alto grado de flexibilidad frente a la posibilidad de realizar cambios o modificaciones en los procesos. Aun cuando estos ya han sido establecidos en ocasiones anteriores, se adecua sin problemas a los cambios de forma y cantidad surgidos durante la evolución y desarrollo de los procesos de producción. Esta fue sin duda una de las diferencias positivas más destacables en la comparación entre ambas alternativas descritas durante el proyecto, encontrando también que la principal limitación de los autómatas programables en comparación con el mando a través de tecnologías cableadas está en la seguridad de las personas y equipos, pues en un ambiente demasiado hostil, a pesar de las limitaciones que presenta, la primera alternativa resulta ser la opción más adecuada, esto debido a que el PLC al igual que cualquier otro computador de uso común, depende directa y principalmente de un micro procesador interno, el cual es sin lugar a dudas vulnerable a las condiciones extremas de trabajo, como: la humedad, las altas temperaturas o también los movimientos bruscos, entre otras. Se agrega a los resultados un margen de error, el que en algunas situaciones de alto riesgo para las personas o los equipos es totalmente incompatible, es entonces cuando se prefiere la utilización de la primera alternativa por sobre la segunda, la otra posibilidad en que se ve disminuida la utilización de un PLC es cuando la instalación es pequeña y la alta inversión inicial no se justifica, en todos los otros



casos resulta mucho más conveniente la implementación del mando a través de tecnologías programables. A continuación en forma breve las principales conclusiones con respecto a la utilización de equipos PLC y los aprendizajes destacables obtenidos.

El equipo PLC es el equipo encargado de controlar los movimientos, tiempos y espacios, logrando resultados de una asombrosa exactitud, imposibles para un ser humano común y en tiempos tremendamente reducidos.

Esta característica permite que su utilización en la industria, sea prácticamente indispensable, ya que además de elevar la cantidad y calidad en la producción, se le suma otra gran ventaja... la de eliminar o disminuir al mínimo el factor personal de peligro, ocasionado por el operador, ya no se depende principalmente de sus conocimientos y habilidades físicas o intelectuales para realizar las labores. Por el contrario, el ideal en la actualidad, es alejarle lo más posible de las zonas peligrosas o con ambientes contaminados, convirtiéndole en un controlador a distancia, cuya función se basa principalmente en monitorear y comandar desde tableros.

Otras de las ventajas de la automatización a través del control realizado por un autómatas programables, es: La mayor duración de los componentes del sistema, debido a que gracias al mando a distancia se evita el roce y golpeteo excesivo de sus componentes, permite implementarles con gran economía ya que tan solo se necesita agregar dos hilos conductores a cada sensor capaz de emitir señales de entrada hacia el procesador incorporado al PLC.

La implementación de mandos a través de tecnologías programables en la automatización de procesos, representa una fuerte inversión inicial, esto debido a que los equipos considerados son de avanzada tecnología y además son de gran confiabilidad.

Mediante la realización de cotizaciones comerciales, fue posible estimar los costos directos derivados de la utilización de un equipo PLC en el control de una instalación, se logró a la vez comprobar lo elevado de los precios al comprar equipos y componentes para realizar un proyecto de automatización, pero sin embargo, a la vez fue posible observar la evidente mejora en la eficiencia una vez se implementan tales equipos y componentes, lo que sin duda proyecta una rápida recuperación de la inversión inicial, esto siempre y cuando la tecnología se utilice para controlar procesos productivos con elevada demanda, lo más recomendado es utilizarles para la fabricación de grandes cantidades de productos, ya que si la demanda de estos es baja, la alta inversión inicial será tremendamente difícil de recuperar, el circuito neumático de la segunda alternativa de automatización excede en un 34,5% en implementación del sistema. El tiempo de recuperación de la inversión no se estima ya que se desconocen la producción y el valor comercial de los productos.

En conclusión y como aprendizaje general de la experiencia se puede afirmar que: Durante el desarrollo del presente proyecto, en conjunto con la familiarización que se desarrolló con respecto a los conocimientos generales ligados al área de la automatización y electro – neumática, como por ejemplo las clasificaciones y tipos de mando en la automatización, y la variada gama de cilindros, válvulas y compresores disponibles para implementar circuitos neumáticos. También fue posible investigar y aprender con respecto a áreas más específicas en cada área como por ejemplo: la enorme y variada gama de sensores y transductores existentes en el mercado, como también las versátiles opciones de utilización para cada uno de ellos, otro ejemplo de esto, fue el conocimiento desarrollado en el área de software's utilizados en el desarrollo de proyectos en estas áreas, programas que en un principio parecían tremendamente complejos, a medida que fueron siendo utilizados, se tornaron amigables y fáciles de utilizar, instintivamente al comprender el funcionamiento de uno de estos programas se genera la posibilidad de utilizar cualquier otro de características análogas creados para finalidades semejantes, como por ejemplo:

la analogía existente entre las distintas versiones existentes de fluid sim y las avanzadas opciones que entrega la utilización de Automation studio como una segunda alternativa. Otra instancia en que fue posible contemplar esta situación fue en el desarrollo del programa para el equipo PLC, para el cual se encontró una variada gama de programas disponibles, tales como: Melsec Medoc, Logic Pro, entre otros muchos otros software´s desarrollados por las distintas marcas de PLC.

Lo importante de esta característica destacada, fue el comprobar que lo realmente importante en el desarrollo de cualquier proyecto, es principalmente el manejo de los conocimientos generales de cada área, ya que teniendo los conocimientos y argumentos generales de una de las áreas, es posible imaginar e investigar las materias específicas de otra relacionada, como por ejemplo la similitud entre el funcionamiento de circuitos hidráulicos, neumáticos o eléctricos.

En conclusión se considera que el incremento de los conocimientos relacionados con las áreas de automatización y electro - neumática, es sin duda de gran valor para quienes hemos desarrollado el presente proyecto de seminario, y en conjunto con ellos queda también la experiencia y la satisfacción de haber conseguido implementar con éxito un modelo de una instalación neumática accionada por PLC, este modelo podrá ser observado el día del examen de grado, o bien en fotografías, videos o simulaciones adjuntas al presente archivo.

## 6.0 Bibliografía:

### 1. Libros y manuales.

- Neumática aplicada, Autor: Cornejo Félix, Hernando A.
- Apuntes curso Autómatas programables, autor: Sr. Julio Huenul.
- Catálogos y manuales disponibles en Home page de Festo.
- Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas.
- Tecnología de los metales: para profesiones técnico – mecánicos. Autor: Appold, Hans coaut.
- Autómatas programables :programación, automatismo y lógica programada, Autor : Simon, André
- Ingeniería de control moderna, Autor: [Katsuhiko Ogata](#)

### 2. Páginas de internet.

- [http://www.festo.com/cms/es-cl\\_cl/index.htm](http://www.festo.com/cms/es-cl_cl/index.htm)
- <http://www.microautomacion.com/index.php>
- [http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Tribology/co\\_of\\_frict.htm#coef](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm#coef)