

## REPOSITORIO ACADÉMICO DIGITAL INSTITUCIONAL

# Simulación de la automatización del proceso de llenado y tapado en envases de plástico de 600 ml para la empresa “La Gran Michoacana”

**Autor: Alejandro Fernández Cortés**

Tesina presentada para obtener el título de:  
**Ing. Industrial en Procesos y Servicios**

Nombre del asesor:  
**Fernando Alcazar Ceja**

Este documento está disponible para su consulta en el Repositorio Académico Digital Institucional de la Universidad Vasco de Quiroga, cuyo objetivo es integrar, organizar, almacenar, preservar y difundir en formato digital la producción intelectual resultante de la actividad académica, científica e investigadora de los diferentes campus de la universidad, para beneficio de la comunidad universitaria.

Esta iniciativa está a cargo del Centro de Información y Documentación “Dr. Silvio Zavala” que lleva adelante las tareas de gestión y coordinación para la concreción de los objetivos planteados.

Esta Tesis se publica bajo licencia Creative Commons de tipo “Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada”, se permite su consulta siempre y cuando se mantenga el reconocimiento de sus autores, no se haga uso comercial de las obras derivadas.





**UNIVERSIDAD  
VASCO DE QUIROGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN  
PROCESOS Y SERVICIOS

“Simulación de la Automatización del Proceso de llenado y tapado  
en envases de plástico de 600 ml para la empresa  
“La Gran Michoacana”

**TESINA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL EN PROCESOS Y  
SERVICIOS

PRESENTA

**C. ALEJANDRO FERNÁNDEZ CORTÉS**

ASESOR

**M.C. FERNANDO ALCAZAR CEJA**

CLAVE: 16PSU0049F (Ing)

ACUERDO: LIC000808 (ing)

MORELIA, MICHOACÁN  
NOVIEMBRE-2010

---

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	.....	<b>5</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	.....	<b>6</b>
<b>ANTECEDENTES</b>	.....	<b>7</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	.....	<b>8</b>
<b>ALCANCES</b>	.....	<b>9</b>
<b>JUSTIFICACION</b>	.....	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	..... <b>11</b>
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	..... <b>13</b>
2.0	PREÁMBULO	.....13
2.1	AUTOMATIZACIÓN	.....13
2.1.1	AUTOMATIACIÓN NEUMÁTICA	.....13
2.2	NEUMÁTICA	.....15
2.2.1	CARACTERISTICAS Y VENTAJAS DE LA NEUMÁTICA	.....15
2.2.2	NEUMÁTICA INDUSTRIAL	.....16
2.3	CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE MECÁNICA DE FLUIDOS	.....17
2.3.1	DEFINICIÓN DE UN FLUIDO	.....17
2.3.2	PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS	.....18
2.4	PRESIÓN	.....18
2.4.1	PRESIÓN HIDROSTÁTICA	.....19
2.4.2	PRESIÓN ATMOSFÉRICA	.....20
2.4.3	PRESIÓN MANOMÉTRICA Y PRESIÓN ABSOLUTA	.....20
2.5	CAUDAL	.....21
2.6	LEY DE BOYLE	.....22
2.7	ELEMENTOS DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO BÁSICO	.....22
2.8	GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO	.....24
2.9	DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO	.....24
2.10	DEPOSITOS DE AIRE COMPRIMIDO	.....25
2.10.1	ELEMENTOS DE UN DEPÓSITO	.....26
2.11	RED DE DISTRIBUCION	.....27

---

2.12	PREPARACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO .....	28
2.12.1	FILTRACIÓN .....	28
2.12.2	FILTROS .....	30
2.12.3	REGULACIÓN DE PRESIÓN .....	30
2.12.4	LUBRICACIÓN .....	31
2.12.5	LUBRICADORES .....	32
2.13	SIMULACIÓN ELECTRONEUMÁTICA .....	32
2.14	CONTROLES LÓGICOS PROGRAMABLES PLC .....	33
2.14.1	SEÑALES .....	33
2.15	PROGRAMACIÓN .....	34
2.16	DIAGRAMA ESPACIO - FASE .....	34
2.17	VÁLVULA DE CONTROL DE FLUJO .....	34
2.17.1	VÁLVULA DE GLOBO .....	35
2.17.2	VÁLVULA DE BOLA .....	35
2.17.3	VÁLVULA DE MARIPOSA.....	35
2.18	PRODUCTIVIDAD .....	35
2.19	EFICIENCIA .....	36
2.20	EFICACIA .....	36
2.21	SIMULACION FINANCIERA .....	36
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>REVISIÓN TÉCNICA .....</b>	<b>37</b>
3.1	ELEMENTOS NEUMÁTICOS UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN .....	37
3.1.1	CILINDRO DE DOBLE EFECTO .....	37
3.1.2	SENSOR DE PROXIMIDAD ÓPTICO .....	38
3.1.3	VÁLVULA 5/2 VÍAS DOBLE SOLENOIDE .....	39
3.1.4	VÁLVULA 3/2 VÍAS CON RODILLO .....	40
3.2	ELEMENTOS PLC UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN.....	41
3.2.1	PLC PROGRAMA DE INTERFACE .....	41
3.2.2	ENTRADA DE SEÑALES ELÉCTRICAS .....	42
3.2.3	UNIDAD DE INDICACIÓN .....	43

---

---

<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>44</b>
4.1	ANÁLISIS METODOLÓGICO	44
4.2	ANÁLISIS DEL PROCESO ACTUAL	44
4.3	PLANTEAMIENTO DEL PROCESO A AUTOMATIZAR.....	49
4.4	SIMULACIÓN NEUMÁTICA	49
4.5	SIMULACION ELECTRONEUMÁTICA	53
4.5.1	DIAGRAMA ESPACIO-FASE	57
4.6	PROGRAMACION EN FST 4.10	58
4.7	SIMULACIÓN CON PLC Y ELEMENTOS NEUMÁTICOS....	64
4.8	CALCULO DE LA PRODUCTIVIDAD	66
4.9	SIMULACION FINANCIERA	68
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>70</b>
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>78</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>		<b>80</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>		<b>81</b>
<b>ÍNDICE DE FORMULAS</b>		<b>82</b>

---

---

## RESUMEN

En ésta tesina se desarrolló un proceso automático para la simulación de la automatización del proceso de llenado y tapado en la elaboración de agua de sabor embotellada en envases de 600 ml para la empresa “La Gran Michoacana”.

Esta simulación se llevó a cabo con elementos neumáticos y programación PLC de FESTO, en la cual se simuló por medio de un leed indicador, una banda transportadora que realiza los recorridos para que cada botella sea trasladada a cada proceso correspondiente. A su vez, se añadió la aplicación de un contador para tener un control total del producto terminado, así como también la obtención de un proceso más seguro. Ambas aplicaciones se ven reflejadas en una unidad de indicación.

La programación PLC permitió describir paso a paso cada actividad a realizar, en donde una vez que éste llegaba a su última instrucción, se volvía a repetir desde su inicio hasta que el contador cumpliera con las unidades asignadas.

La automatización se ha empleado para obtener un estándar en los tiempos de producción, obtener mayor productividad e higiene en el desarrollo del proceso.

---

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso actual de embotellado de agua de sabor en envases de 600 ml con el que cuenta la empresa: “La Gran Michoacana” es en su totalidad un proceso manual (artesanal), en donde no hay un estándar de tiempos, y existe variabilidad en los procesos de producción. Esto se debe a que se utilizan utensilios rústicos tales como embudos, jarras de cocina, etc. Lo cual hace que la elaboración sea inadecuada, ineficiente, se torne cansada, tediosa y aburrida para el operador.

A consecuencia de esto, el operador no tiene la capacidad para llenar las botellas con la misma cantidad de agua, a su vez no cumple con un tiempo estándar para el proceso de producción. Esto se debe al cansancio o tedio que se presenta.

A consecuencia de todos estos problemas se plantea el proyecto de la simulación de automatización del proceso de llenado y tapado de botellas en envases de 600 ml con agua de sabor.

---

## ANTECEDENTES

La automatización de los procesos industriales constituye uno de los objetivos más importantes de las empresas en la siempre incesante tarea de incrementar la competitividad en un entorno global cambiante y agresivo.

La automatización de un proceso industrial (máquina, conjunto o equipo industrial) consiste en la incorporación al mismo de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento. Dicho automatismo, en general ha de ser capaz de reaccionar tanto a situaciones previstas, como a aquellas no planeadas de antemano. Teniendo como objetivo situar el proceso y a los recursos humanos que lo asisten en la situación más favorable para las organizaciones.

Existen diversos estudios relacionados con la automatización de la producción de alimentos, que resultan particularmente útiles para nuestro estudio. Podemos mencionar propuestas de automatización del proceso industrial de envasado de yogurt, donde se transformo el proceso productivo de yogurt, en lo que respecta al envasado de producto de forma manual; automatizándolo para que este proceso sea más eficiente. Logrando con ello que una empresa pequeña aumente la cantidad de producción, para incrementar su participación en el mercado y nivel de competencia. <sup>[2]</sup>

Otro estudio que nos ayuda a relacionar el proceso productivo automatizado con nuestro proyecto, es la automatización de la fabricación de bloques de construcción, donde se planteo el trasladar las tareas de producción realizadas habitualmente por operadores humanos, a un conjunto automatizado para mejorar la productividad; reduciendo costos de producción, incrementando la calidad y disponibilidad de los productos; pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso, al tiempo que se simplifica el mantenimiento de la máquina, misma que es administrada por un operario que no requiere un conocimiento especializado. <sup>[3]</sup>



---

## **OBJETIVO GENERAL**

Simular la automatización del proceso de llenado en botellas de 600 ml con agua de diferentes sabores; así como el tapado de estos envases usando tapa roscas para la empresa “La Gran Michoacana”; por medio de elementos neumáticos y programación de FESTO.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Analizar y evaluar los tiempos en el proceso actual que tiene la empresa para poder obtener la cantidad de producción y así determinar la capacidad de ésta.
2. Realizar la simulación de la automatización del proceso de llenado y tapado.
3. Observar la viabilidad y rentabilidad del proceso de automatización para así poder determinar la inversión que se tendrá que realizar y a su vez poder obtener el periodo de amortización.

---

## ALCANCES

El tema delimitado de la tesina es: “Simulación de Automatización del Procesos de llenado y tapado en envases de Plástico de 600 ml para la Empresa “La Gran Michoacana””.

El alcance de éste proyecto abarca desde el estudio del proceso actual con el que cuenta la empresa hasta el análisis de los resultados obtenidos con la simulación, en donde se pretende identificar la factibilidad de poder implementar ésta simulación ya como un proceso automatizado en ésta empresa. De igual manera se pretende encontrar en cuanto tiempo se podrá recuperar la inversión que se ha estimado.

Algunos temas de gran importancia para la ingeniería industrial y que no se incluyen en esta tesina son:

- Ergonomía
- Suplementos
- Antropometría
- Diseño del trabajo manual

La simulación tiene como fin representar las funciones y actividades que realizará el proceso automatizado, de esta manera se podrá determinar si se puede obtener un incremento en la productividad optimizando los recursos disponibles.

---

## JUSTIFICACIÓN

Al realizar la simulación del proceso de llenado y tapado se presentará una propuesta para automatizar ambos procesos, en donde se logrará tener una reducción en los tiempos de producción así como un incremento en la higiene para cada etapa del proceso. Ésta simulación permitirá la utilización correcta de los recursos (medios de producción) disponibles, de tal manera, se podrá lograr obtener una mayor producción en un menor intervalo de tiempo y a un menor costo, así como también la obtención de un proceso estandarizado. Al cumplir con éstos aspectos, la capacidad de producción y de respuesta se incrementará logrando que la empresa “La Gran Michoacana” se vuelva más competitiva y productiva.

Una vez que se automatice la línea del proceso de embotellado de agua de sabor, se tendrá una producción constante, ya que el equipo de automatización no presentará síntomas de cansancio y siempre trabajará de una misma manera de acuerdo a lo que se le programe. Además se obtendrá un flujo del proceso continuo y un margen de producción estable.

Las empresas que a continuación se mencionan, manejan proceso automatizados muy similares al de la simulación, en donde presentan un proceso continuo, estandarizado e higiénico. Al igual que estas empresas, “La Gran Michoacana” pretende obtener los mismos beneficios con la simulación realizada.

AMECSA maneja el embotellado de jugo de naranja artificial en envases de 500 ml y se puede visualizar en: <http://www.youtube.com/watch?v=MbO37Wj1DvA>.

La empresa botellín también maneja el embotellado de agua natural en envases de 600 ml y se puede visualizar en:  
<http://www.youtube.com/watch?v=Mh0iTDwnTHQ&feature=fvw>.

La presente investigación se refiere al tema de la automatización, la cual se puede definir como el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos. En éste caso se utilizan elementos neumáticos de FESTO dirigidos por programación PLC.

La característica principal de la automatización es obtener una mayor productividad, eficiencia así como eliminar la mano de obra, reducir tiempos, costos etc. Su objetivo es hacer un proceso más sencillo, seguro y confiable.

El tema de automatización nos da una visión más amplia de lo que puede ayudar esto a la empresa “La Gran Michoacana”, ya que el proceso con el que cuenta actualmente es manual, en el cual no hay un estándar de tiempos, controles de calidad e inocuidad; haciendo que el proceso sea más prolongado y exista variabilidad dentro de éste. Por lo cual la automatización nos brinda una solución rápida y eficaz para resolver los problemas que aquejan a ésta empresa.

En ésta tesina se decide hacer una simulación de la automatización del proceso de llenado y tapado con agua de sabor embotellada en envases de 600 ml para la empresa “La Gran Michoacana”. Para poder definir el título de la tesina y de los procesos a automatizar se realizó un estudio del proceso actual con el que cuenta la empresa.

Una vez que se decide realizar la simulación, se procede a definir la base teórica, la cual nos va a proporcionar un concepto de los elementos y características de las partes involucradas en el proyecto, así como las leyes en que se basan para poder realizar un proceso automatizado. Así pues, se estudiarán los fluidos, los elementos neumáticos y la forma en que estos se programan para que realicen la actividad requerida. También se mostrará la productividad que se logrará obtener

---

una vez que se haya realizado el proceso automatizado simulado y el tiempo de recuperación que se logrará tener con la inversión ya realizada.

El siguiente paso para llevar a cabo ésta tesina es definir los elementos neumáticos que se van a utilizar, los cuales fueron:

- Pistón de doble efecto
- Válvula 5/2 vías de doble solenoide
- Válvula 3/2 vías con rodillo abatible
- Sensor óptico

La programación PLC es la siguiente actividad para poder llevar a cabo la simulación. El programa en donde se llevan a cabo las instrucciones es FESTO 4.10, en el cual se describe paso a paso cada actividad que se debe realizar. Para esta simulación se añade la aplicación de un contador, el cual ayudará a tener un control total del producto terminado. También se simula una banda transportadora la cual es ilustrada por un leed indicador.

Como última parte de ésta tesina se muestran los resultados, aquí se mostrará el tiempo que se obtuvo con el nuevo proceso automatizado. De ésta manera se podrá determinar cuan productivo, eficaz o eficiente es éste nuevo proceso.

**2.0 Preámbulo**

En este capítulo, se presenta la base teórica o llamado también marco teórico para poder comprender el proceso de cómo automatizar algún tipo de actividad. Se verán algunos aspectos básicos del comportamiento de la neumática y se conocerán elementos característicos de las diferentes funciones y procesos analizados en este trabajo así como la relación de las leyes que rigen a éstas y sus aplicaciones, las cuales permitirán determinar cómo poder aplicarlas para que se pueda llevar a cabo un proceso automatizado. Por otra parte se analizará la productividad, la cual nos permitirá descubrir el incremento en la producción del método propuesto sobre el actual.

**2.1 Automatización**

La automatización es el campo de investigación, diseño, desarrollo, aplicación y métodos para hacer los procesos o máquinas auto-actantes o auto-movibles, es decir, es crear una operación controlada automáticamente de un proceso de máquinas o sistema, por dispositivos mecánicos o electrónicos que toman el lugar de observación, esfuerzo y decisión convirtiéndolo en autómata en la toma de alguna o todas las decisiones. <sup>[9]</sup>

**2.1.1 Automatización neumática**

La automatización puede ser considerada como el paso más importante del proceso de evolución de la industria en el siglo XX, al permitir la eliminación total o parcial de la intervención humana, obteniéndose las ventajas siguientes: <sup>[1]</sup>

- Reducción de los costos de mano de obra directo.
- Uniformidad de producción y ahorro de material.

- 
- Aumento de la productividad.
  - Mayor control de la producción al poder introducir en el proceso sistemas automáticos de muestreo.
  - Aumento de la calidad del producto final.

En todo proceso de automatización se distinguen tres partes:

- a) Elementos periféricos de entrada, a través de los cuales llega al sistema de información.
- b) Unidad central de tratamiento de la información.
- c) Elementos periféricos de salida, que, de acuerdo con las órdenes elaboradas por la unidad central, gobiernan los elementos de potencia.

Existen diversas técnicas para la realización de automatismos: la electromecánica, la electrónica, la neumática, etc.



Figura 2.1. Diagrama de bloques de un sistema automatizado. <sup>[1]</sup>

La automatización neumática es la que se realiza usando las propiedades del aire comprimido. Las señales deben traducirse a ausencia o presencia de presión neumática. El tratamiento de las señales es realizado por los distribuidores neumáticos. Las señales de salida son, generalmente posiciones de cilindros neumáticos.

---

## 2.2 Neumática

La neumática es la generación y utilización de aire comprimido para generar un trabajo.

### 2.2.1 Características y Ventajas de la Neumática

Las características y ventajas de la neumática son las siguientes:

- Abundante: Está disponible para su compresión prácticamente en todo el mundo, en cantidades ilimitadas.
- Transporte: El aire comprimido puede ser fácilmente transportado por tuberías, incluso a grandes distancias. No es necesario disponer tuberías de retorno.
- Almacenable: No es preciso que un compresor permanezca continuamente en servicio. El aire comprimido puede almacenarse en depósitos y tomarse de éstos. Además, se puede transportar en recipientes (botellas).
- Temperatura: El aire comprimido es insensible a las variaciones de temperatura, garantiza un trabajo seguro incluso a temperaturas extremas.
- Anti-de-flagrante: No existe ningún riesgo de explosión ni incendio; por lo tanto, no es necesario disponer instalaciones anti-de-flagrantes, que son caras.
- Limpio: El aire comprimido es limpio y, en caso de faltas de estanqueidad en elementos, no produce ningún ensuciamiento. Esto es muy importante por ejemplo, en las industrias alimenticias, de la madera, textiles y del cuero.
- Constitución de los elementos: La concepción de los elementos de trabajo es simple si, por tanto, precio económico.
- Velocidad: Es un medio de trabajo muy rápido y, por eso, permite obtener velocidades de trabajo muy elevadas. (La velocidad de trabajo de cilindros neumáticos pueden regularse sin escalones.) <sup>[9]</sup>



---

Para delimitar el campo de utilización de la neumática es preciso conocer también las propiedades adversas.

- Preparación: El aire comprimido debe ser preparado, antes de su utilización. Es preciso eliminar impurezas y humedad (al objeto de evitar un desgaste prematuro de los componentes).
- Compresible: Con aire comprimido no es posible obtener para los émbolos velocidades uniformes y constantes.
- Fuerza: El aire comprimido es económico sólo hasta cierta fuerza. Condicionado por la presión de servicio normalmente usual de 700 kPa (7 bar), el límite, también en función de la carrera y la velocidad, es de 20.000 a 30.000 N (2000 a 3000 kp).
- Escape: El escape de aire produce ruido. No obstante, este problema ya se ha resuelto en gran parte, gracias al desarrollo de materiales insonorizantes.
- Costos: El aire comprimido es una fuente de energía relativamente cara; este elevado costo se compensa en su mayor parte por los elementos de precio económico y el buen rendimiento (cadencias elevadas).<sup>[9]</sup>

### **2.2.2 Neumática Industrial**

El concepto moderno de neumática trata sobre los fenómenos y aplicaciones de la sobrepresión o depresión (vacío del aire). La mayoría de las aplicaciones neumáticas se basan en el aprovechamiento de la sobre-presión.

Según su actual definición, la neumática es una técnica moderna, pero según su concepción original es una de las formas de energía más antigua de entre las conocidas por el hombre. Existen manuscritos del siglo I de nuestra era donde se describen mecanismos accionados por aire caliente; en el transcurso de los siglos siguientes fueron diseñados dispositivos, generalmente con fines bélicos.<sup>[1]</sup>

---

La neumática moderna, con sus grandes posibilidades, se inicia en Europa a partir de la mitad del siglo XX debido a la acuciante necesidad de una automatización racional del trabajo. Desde entonces la neumática ha ido evolucionando, y lo seguirá haciendo según las necesidades de la industria, ofreciendo en la actualidad una extensa gama de productos. <sup>[1]</sup>

La concepción y estudio de los sistemas neumáticos requiere el conocimiento de los elementos neumáticos y su funcionamiento, así como la interconexión entre ellos.

Los elementos neumáticos pueden alcanzar velocidades de trabajo elevadas pero, dada la compresibilidad del aire, su regulación no es constante.

## **2.3 Conceptos básicos sobre la mecánica de fluidos**

Antes de proceder al estudio de los elementos neumáticos, es necesario recordar algunos conceptos de la mecánica de fluidos que propician el entendimiento de la teoría neumática.

Las magnitudes que más frecuentemente se utilizan son presión y caudal, aunque también conviene hacer referencia a los conceptos fundamentales de la teoría de los gases ideales, por ser el aire un fluido que puede considerarse como tal.

### **2.3.1 Definición de un Fluido**

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante, esto quiere decir que se aplican un conjunto de fuerzas iguales y opuestas paralelas a ambos lados del fluido. Los fluidos se pueden clasificar en líquidos y gases, esto dependerá principalmente del estado en que se encuentren, ya que lo que define a un fluido es su comportamiento más no su composición. <sup>[7]</sup>

---

### 2.3.2 Propiedades de los Fluidos

La ciencia de la ingeniería de la mecánica de fluidos se ha desarrollado gracias al entendimiento de las propiedades de los fluidos, a la aplicación de las leyes básicas de la mecánica y la termodinámica, así como a una experimentación ordenada.

Las propiedades de un fluido son las que definen el comportamiento y características del mismo, tanto en reposo como en movimiento. Algunas de las propiedades más importantes de los fluidos se describen a continuación.

- Viscosidad: es la resistencia que opone un fluido a deformarse continuamente cuando se le somete a un esfuerzo de corte.
- Compresibilidad: es la relación entre los cambios de volumen y los cambios de presión a que está sometido un fluido.
- Presión de vapor: cuando un líquido se le disminuye la presión a la que está sometido hasta llegar a un nivel en el que comienza a bullir, se dice que alcanzado la presión de vapor.
- Densidad: es la cantidad de masa por unidad de volumen que existe en un fluido. <sup>[7]</sup>

### 2.4 Presión

La presión es una magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie. En cualquier caso en que exista presión, una fuerza actuara en forma perpendicular sobre una superficie. <sup>[6]</sup>

Matemáticamente se expresa por:

$$P = F / A$$

2.1

---

Donde:

$P$  = presión en  $\text{N} / \text{m}^2$  = pascal

$F$  = fuerza perpendicular a la superficie en newton (N)

$A$  = área o superficie sobre la que actúa la fuerza en metros cuadrados ( $\text{m}^2$ )

La expresión matemática de la presión indica que cuanto mayor sea la fuerza aplicada, mayor será la presión para una misma área, siempre y cuando el área sobre la que actúa la fuerza no varíe. Cuando se aplique una misma fuerza pero el área aumenta, la presión disminuye de manera inversamente proporcional al incremento de dicha área. Por lo tanto se dice que la fuerza es directamente proporcional a la presión, y ésta es inversamente proporcional al área.

#### 2.4.1 Presión Hidrostática

La presión que ejercen los líquidos es perpendicular a las paredes del recipiente que los contiene. Dicha presión actúa en todas direcciones y solo es nula en la superficie libre del líquido. Esto se debe a la fuerza que el peso de las moléculas ejerce sobre un área determinada. A esta presión se le llama hidrostática y aumenta conforme se incrementa la profundidad.

La presión hidrostática en cualquier punto puede calcularse multiplicando el peso específico del líquido por la altura que hay desde la superficie libre del líquido hasta el punto considerado.

$$P_h = P_{eh} \text{ o bien } P_h = \rho g h \quad 2.2$$

Donde:

$P_h$  = presión hidrostática en  $\text{N} / \text{m}^2$

$\rho$  = densidad del líquido en  $\text{Kg} / \text{m}^3$

$P_e$  = peso específico del líquido en  $\text{N} / \text{m}^3$

$g$  = aceleración de la gravedad, igual a  $9.81 \text{ m/s}^2$

$h$  = altura de la superficie libre al punto en metros (m)

---

## 2.4.2 Presión Atmosférica

La tierra está rodeada por una capa de aire llamada atmósfera. El aire, que es una mezcla de 20% oxígeno, 79% de nitrógeno y el 1% de gases raros, debido a su peso ejerce una presión sobre todos los cuerpos que están en contacto con él, la cual se llama presión atmosférica.

La presión atmosférica varía con la altura, por lo que al nivel del mar mantiene su máximo valor o presión normal equivalente a:

$$1 \text{ atmósfera} = 760 \text{ mm de Hg} = 1.013 \times 10^5 \text{ N / m}^2$$

A medida que es mayor la altura sobre el nivel del mar, la presión atmosférica disminuye.

## 2.4.3 Presión Manométrica y Presión Absoluta.

Un líquido contenido en un recipiente abierto, además de la presión originada por su peso, soporta la presión atmosférica, la cual se transmite uniformemente por todo el volumen del líquido.

En el caso de un líquido encerrado en un recipiente, además de la presión atmosférica puede recibir otra presión causada por su calentamiento. Es común detectar la presión en las calderas de vapor, o la presión en las llantas de los vehículos como el resultado del aire comprimido.

La presión diferente a la atmosférica recibe el nombre de presión manométrica. De donde la presión absoluta que soporta el fluido encerrado es igual a la suma de las presiones manométrica y atmosférica.

---

Los dispositivos para medir la presión manométrica se llaman manómetros. La presión manométrica es igual a la diferencia entre la presión absoluta del interior del recipiente y la presión atmosférica.

Presión absoluta = presión manométrica + presión atmosférica.

Presión manométrica = presión absoluta – presión atmosférica.

## 2.5 Caudal: Conceptos Fundamentales

El caudal es la cantidad de fluido que pasa por una sección en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. <sup>[9]</sup>

$$Q = V/t \quad 2.3$$

Donde:

V = volumen = m<sup>3</sup> = metro cubico

t = tiempo = s = segundo

Para que pueda existir un caudal, debe haber una diferencia de presiones, esto es, la presión existente entre dos puntos del interior de una tubería. Ya que el caudal es directamente proporcional al diámetro de la tubería y a la diferencia de presiones.

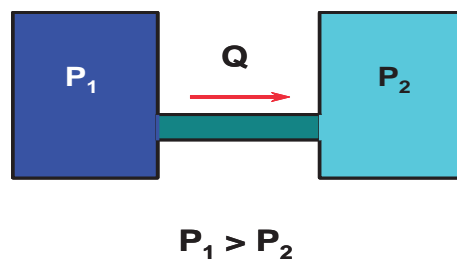


Figura 2.2 Diferencia de presiones. <sup>[9]</sup>

---

## 2.6 Ley de Boyle

La ley de Boyle-Mariotte menciona que a temperatura constante, el volumen de un gas encerrado en un recipiente es inversamente proporcional a la presión absoluta, o sea, el producto de la presión absoluta y el volumen es constante para una cantidad determinada de gas.

Esto ocurre ya que al aumentar el volumen, las partículas del gas tardan más en llegar a las paredes del recipiente y por lo tanto chocan menos veces por unidad de tiempo contra ellas. A su vez cuando disminuye el volumen, la distancia que tienen que recorrer las partículas es menor y por tanto se producen más choques en cada unidad de tiempo, por lo tanto aumenta la presión. <sup>[9]</sup>

$$p \cdot V_1 = p \cdot V_2 = p \cdot V_3 = \text{constante} \quad 2.4$$

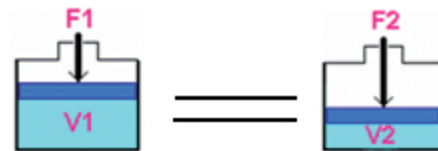


Figura 2.3 Volumen de un gas <sup>[9]</sup>

## 2.7 Elementos de un circuito neumático básico

Basados en la definición de Neumática como técnica, consta de toda una gama de elementos necesarios para que se pueda obtener trabajo mediante la utilización del aire comprimido, sin embargo, hay algunos elementos básicos e indispensables para éste fin. Estos elementos son, inicialmente, la fuente de aire comprimido, la válvula de vías y el elemento de trabajo. Podemos hablar de un compresor en su configuración más sencilla, es decir, la unidad de compresión, en

cualquiera de sus tipos, el cual suministre aire comprimido directamente sin previa preparación. La válvula de vías, que se encarga de direccionar el aire comprimido al puerto requerido, y el elemento de trabajo que se encarga de transformar la energía neumática en energía mecánica. <sup>[9]</sup>

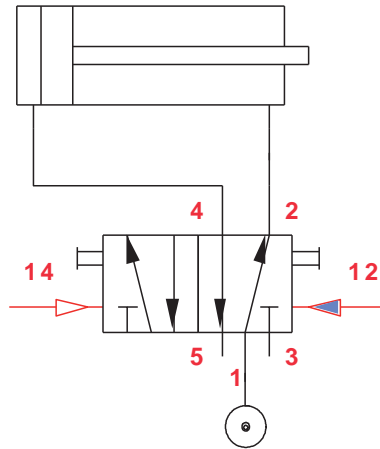


Figura 2.4 Circuito neumático básico <sup>[9]</sup>

El diseño de éste tipo de circuitos implica diferentes niveles, los cuales van desde la generación y alimentación hasta los elementos de trabajo. La estructura de niveles más común suele ser la siguiente:

Tabla 2.1 Estructura de niveles neumáticos <sup>[11]</sup>

Nivel	Componente	Ejemplos
6°	Elementos de trabajo	Cilindros, motores neumáticos
5°	Elementos de regulación de velocidad	Reguladores Unidireccionales
4°	Elementos de Potencia	Válvulas con accionamiento neumático
3°	Elementos de tratamientos de señales	Selectores de función "O" e "Y"
2°	Elementos de entrada de señal	Válvulas con acción manual o mecánica
1°	Fuente de alimentación de energía	Grupo de mantenimiento



---

## 2.8 Generación de aire comprimido

Los sistemas neumáticos de mando consumen aire comprimido, que debe estar disponible en el caudal suficiente y con una presión determinada según el rendimiento de trabajo. Para producir [aire](#) comprimido se utilizan [compresores](#) que elevan la [presión](#) del aire al [valor](#) de [trabajo](#) deseado.<sup>[8]</sup>

El grupo principal de una instalación productora de aire comprimido es el compresor, del que existen varios tipos para las distintas posibilidades de utilización. Se llama compresor a toda máquina que impulsa aire, gases o vapores, ejerciendo influencia sobre las condiciones de presión.

Para la neumática, son aptos una parte de los distintos tipos de compresores, condicionado por la presión de trabajo requerida. Los sistemas neumáticos de mando trabajan normalmente con aire comprimido a  $6 \text{ kp/cm}^2$ . El límite inferior se halla en los  $3 \text{ kp/cm}^2$  y el superior en los  $15 \text{ kp/cm}^2$ . En casos especiales es posible rebasar el máximo o quedar por debajo del valor mínimo.

## 2.9 Distribución del aire comprimido.

La distribución del aire comprimido que pase desde el equipo productor hasta el consumidor no debe descuidarse nunca, puesto que en este aspecto pueden conseguirse economías financieras permanentes mediante la restricción y contención de las pérdidas por fugas, y mediante la selección de los aparatos y materiales idóneos.

Los gastos suplementarios en un equipo nuevo se amortizan por menores gastos de mantenimiento, mejor estanqueidad y en consecuencia, menores pérdidas por fugas y mayor duración. Como resultado de la racionalización y automatización de los dispositivos de fabricación, se busca continuamente una mayor cantidad de

aire. Cada máquina y mecanismo necesita una cantidad de aire, siendo abastecido por un compresor, a través de una red de tuberías. [8]

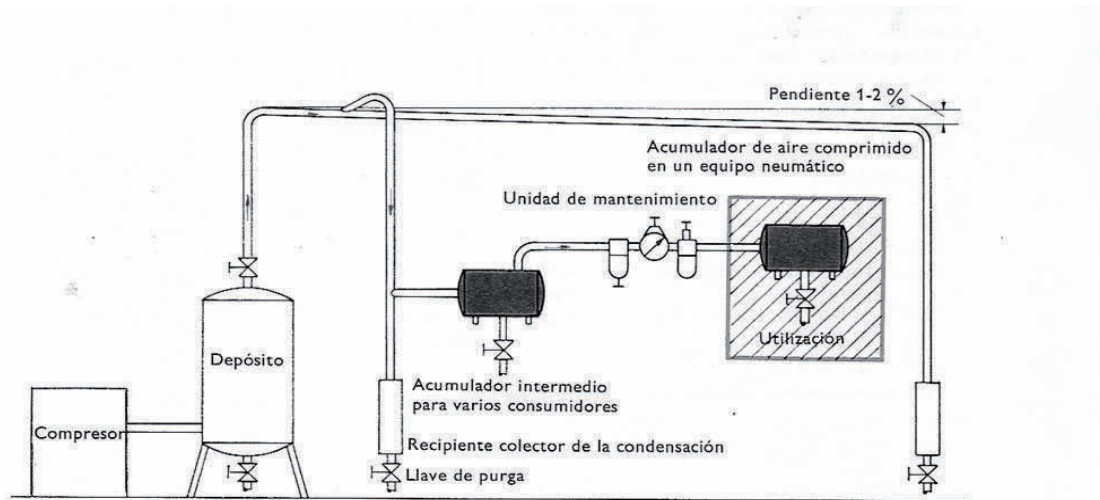


Figura 2.5 Distribución de aire comprimido [8]

## 2.10 Depósitos de aire comprimido

Los depósitos y acumuladores han de cumplir varias funciones, y en general sirven para compensar las fluctuaciones de la presión en todo el sistema de distribución y para separar el agua de condensación producida.

El depósito se ubica directamente a continuación del compresor y debe estabilizar los impulsos de presión procedentes del compresor. En la mayoría de los casos debe servir también de acumulador para toda la red y adicionalmente contribuir a la refrigeración del aire comprimido y a la separación de la condensación producida.

En los grandes equipos compresores se monta un refrigerador entre el compresor y el depósito de condensador de agua, con el objetivo de bajar la temperatura del aire para extraer una gran parte del condensado.

---

Los equipos productores de aire comprimido para el servicio de los sistemas neumáticos de mando deben estar equipados, por principio, con un refrigerador dispuesto entre el compresor y el depósito. <sup>[8]</sup>

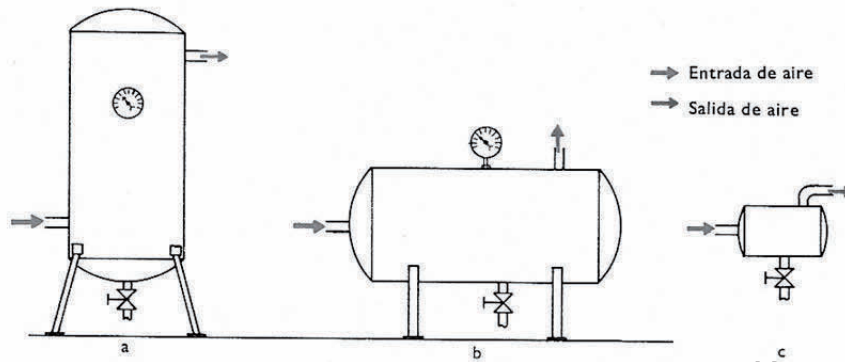


Figura 2.6 Depósitos de aire comprimido <sup>[8]</sup>

### 2.10.1 Elementos de un depósito

Los elementos de un depósito son esenciales para que éste pueda funcionar como un sistema. Sus elementos principales se describen a continuación:

- Válvula limitadora de presión: Su función es limitar la presión del fluido en el depósito a un valor adecuado.
- Termómetro: se utiliza para medir la temperatura del fluido dentro del depósito.
- Manómetro: es utilizado para la medición de la presión del fluido, determina la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local.
- Válvula de cierre: la válvula de cierre nos ayuda a controlar el flujo del fluido que saldrá del depósito.
- Compuerta: nos ayuda a regular el paso del fluido en una tubería.
- Válvula de vaciado: nos permite vaciar o desaguar el fluido que se encuentra en el depósito. <sup>[9]</sup>

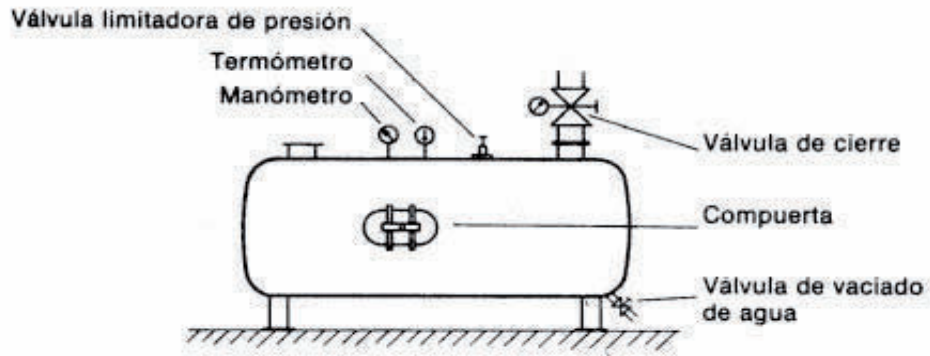


Figura 2.7 Elementos de un depósito <sup>[9]</sup>

## 2.11 Red de distribución

El aire comprimido se hace llegar a los puntos de utilización por una red de distribución. En la figura 2.8 se muestran los elementos que conforman a una red de distribución de aire comprimido.

Una red de distribución de aire comprimido conduce el aire comprimido hacia la alimentación de las máquinas consumidoras. El ciclo del aire comprimido en una instalación se completa cuando los actuadores finales lo utilizan para efectuar un trabajo.

Al iniciar el [proceso](#) de diseño de una red de distribución se deben de tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Presión: Se debe estimar la presión a la cual se desea [trabajar](#) para establecer el funcionamiento del compresor y de la red.
- Caudal: El caudal de la red deberá ser diseñado con base en la [demanda](#).
- Pérdida de presión: se debe de garantizar que las pérdidas de presión estén en los [límites](#) permisibles es una labor esencial del diseño.
- Velocidad de circulación: ésta velocidad debe controlarse puesto que su aumento produce mayores pérdidas de presión. <sup>[12]</sup>

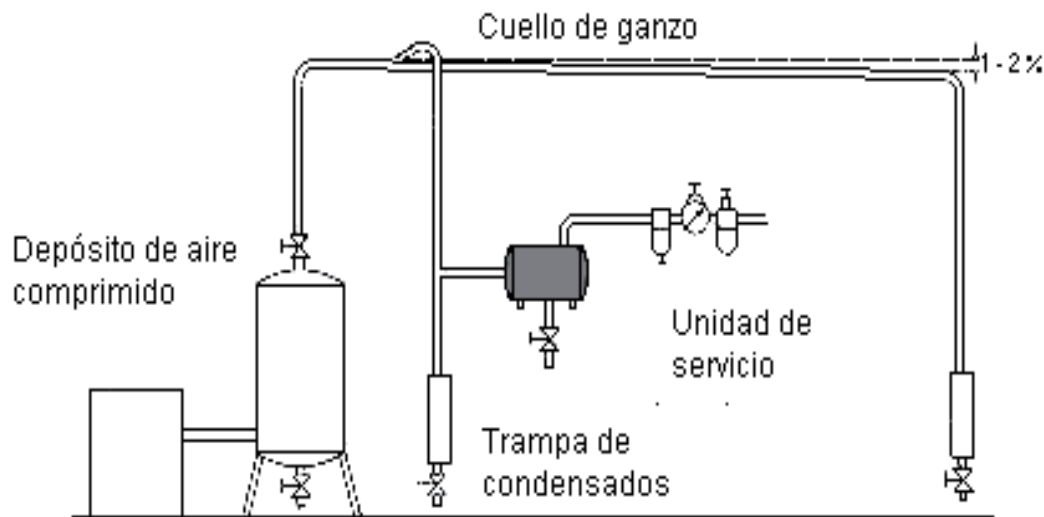


Figura 2.8 Red de distribución [9]

La red de distribución de aire comprimido debe ser aérea, en el mejor de los casos, con una pendiente aproximada del 1 al 2 % de la longitud de la tubería. Para tuberías mayores a los 30 mts es conveniente volver a levantar la tubería y nuevamente descender, simulando unos dientes de sierra, en cada punto más bajo deberá colocarse una trampa de condensados y las tomas de aire se realizarán por arriba evitando el paso de los condensados hacia los sistemas. [9]

## 2.12 Preparación de aire comprimido

### 2.12.1 Filtración

El aire comprimido para ser utilizado en los sistemas neumáticos se requiere que no originen averías, no puede conectarse a ellos según sale del compresor.

En el aire hay una serie de impurezas nocivas para la buena marcha de la instalación que es preciso eliminar. Las impurezas que podemos encontrar son las siguientes:

- 
- Impurezas solidas.
    - Polvo de sílice.
    - Óxido de las conducciones (cascarillas)
    - Virutas de goma de los flexibles.
    - Residuos de cierres estancos.
    - Hilachas de empaquetaduras de teflón.
    - Residuos de aceites quemados.
  
  - Impurezas liquidas.
    - Agua en fase liquida.
    - Aceites lubricantes (más o menos quemados)
  
  - Impurezas gaseosas.
    - Vapor de agua.
    - Gases procedentes del calentamiento del aceite en el compresor.
    - Gases varios.
    - Microbios y bacterias.

Entre las impurezas liquidas, se encuentra el agua condensada y los aceites descompuestos procedentes del compresor. El aceite lubricante descompuesto y medio quemado procede de la lubricación del compresor y, como ha pasado por las zonas de alta temperatura de éste, se ha descompuesto en elementos corrosivos.

Entre las impurezas gaseosas, las que más preocupan en cuanto a los automatismos son: el vapor de agua porque conduce inevitablemente a condensaciones y los vapores de aceite porque son muy corrosivos, ya que están formados por mezclas de [hidrocarburos](#) de largas cadenas carbonadas resultantes de la [destilación fraccionada](#) del [petróleo](#). El resto de impurezas no puede dañar a los elementos neumáticos y solo se tienen en cuenta en el caso de que la instalación sea de tipo farmacéutico o alimentario.

---

En las instalaciones normales es preciso eliminar las impurezas comprendidas en el grupo de sólidos y líquidos, debiéndose actuar en lo posible en el grupo de gaseosos hasta eliminar el vapor de agua. Para eliminar cada uno de estos elementos se emplean los componentes y tratamientos que se indican a continuación. <sup>[10]</sup>

### **2.12.2 Filtros**

El aire comprimido transporta frecuentemente una cierta cantidad de agua libre, agua que se precipita en el sistema de tuberías en la forma de condensado, lo que puede producir la corrosión de los equipos conectados a dicho sistema.

Esta humedad puede existir aún cuando se utilicen sistemas de secadores de aire, claro está que en una cantidad mucho menor. Así mismo, el aire comprimido transporta partículas desprendidas de las paredes de las tuberías, y partículas de desgaste del compresor; en consecuencia originan atascamientos, desgastes y averías en los equipos de trabajo en utilización. <sup>[9]</sup>

Los filtros se diseñan para eliminar impurezas sólidas y líquidas. Estos se eligen teniendo en cuenta los tres factores importantes siguientes:

- Eliminación eficaz de impurezas, polvo, agua, etc.
- Efectuar esta eliminación con la menor pérdida de carga posible, puesto que la pérdida de carga supone desperdicio de aire comprimido.
- Que tenga un mantenimiento y limpieza sencilla. <sup>[9]</sup>

### **2.12.3 Regulación de presión**

La operación segura y eficiente de los sistemas de potencia de fluidos, los componentes del sistema y del equipo relacionado requiere medios para controlar la presión. Hay muchos tipos de válvulas de control automáticas de presión.

---

Algunas de ellas proporcionan simplemente un escape para la presión que excede un ajuste del sistema, algunos reducen solamente la presión y algunos mantienen la presión de un sistema dentro de una gama requerida. <sup>[12]</sup>

Estas válvulas influyen principalmente sobre la presión, o están acondicionadas al valor que tome la presión. Se distinguen:

- Válvulas de regulación de presión: proporciona una presión constante en un sistema que funcione a una presión más baja que el sistema de suministro.
- Válvulas de limitación de presión: estas se utilizan como válvulas de seguridad. no admite que la presión en el sistema sobrepase un valor máximo admisible.
- Válvulas de secuencia: su funcionamiento es muy similar al de la válvula limitadora de presión, abre el paso cuando se alcanza una presión superior a la ajustada mediante el muelle.

#### **2.12.4 Lubricación**

En el 90% de los elementos existen órganos deslizantes con velocidades de traslación más o menos grandes.

Al efectuarse estos movimientos es inevitable, a pesar de los perfectos acabados superficiales, que haya unos rozamientos que originan desgastes.

En la actualidad, debido al perfeccionamiento de los materiales, se construyen muchos componentes que pueden funcionar con aire no lubricado con un rendimiento muy alto.

No obstante, siguen empleándose los lubricantes neumáticos que actúan introduciendo una fina niebla de aceite en el conducto de aire comprimido. El mismo aire transporta las minúsculas gotas de aceite hasta los elementos que



---

deben de lubricarse. Los lubricantes funcionan por el efecto Venturi, aspirando el aceite de un depósito. <sup>[12]</sup>

### **2.12.5 Lubricadores**

La mayor parte de los equipos neumáticos requieren lubricación. El lubricante se suministra generalmente con el aire comprimido, y esto no sólo reduce la fricción entre las partes móviles, sino que además, el aceite protege a los equipos contra la corrosión interna y produce sellados interiores mucho más efectivos. <sup>[9]</sup>

Debe de observarse que la presencia de aceite en el aire comprimido, luego de salir de un compresor lubricado, tiene solamente un valor limitado como lubricante, ya que éste se ha visto sometido a elevadas temperaturas dentro de la unidad compresora, de tal modo, que este aceite se comporta como abrasivo y no es conveniente en el aire comprimido por lo que es necesario eliminarlo.

El aceite que se aplica en los lubricadores después de la unidad de filtrado y de regulación es de características de viscosidad especiales, además de estar limpio por lo que sí cumple con los requerimientos antes señalados.

Los lubricadores proporcionan al aire comprimido un suministro continuo de lubricante. La cantidad de lubricante suministrada es directamente proporcional al consumo de aire comprimido. La caída de presión que originan es muy pequeña, por lo que no afecta el rendimiento de la unidad de mantenimiento.

### **2.13 Simulación electroneumática**

La simulación electroneumática es la aplicación en donde combinamos dos importantes ramos de la automatización como son la neumática y electricidad. La electroneumática maneja los pulsos eléctricos para el accionamiento de válvulas neumáticas.

---

En algunos casos el actuador neumático podría estar demasiado lejos del control de mando y no se manejaría un funcionamiento al 100%, es por eso que el accionamiento de las válvulas neumáticas debe de ser eléctrico.

La simulación electroneumática nos permite interpretar la manipulación de las señales de voltaje y corriente que deberán de ser transmitidas a dispositivos de conversión de energía eléctrica a energía neumática para lograr la activación de los actuadores neumáticos.

## **2.14 Controles lógicos programables PLC**

Un programa de PLC consiste en una secuencia lógica de instrucciones. El programa de control es almacenado en una memoria especial, leíble electrónicamente, denominada “memoria del programa “del PLC. <sup>[15]</sup>

Durante el desarrollo del programa se utilizan memorias RAM con baterías de respaldo ya que su contenido puede variarse muy rápidamente.

Una vez probado y depurado el programa de control, suele transferirse a una memoria de solo lectura. En cualquier caso, cuando se ejecuta el programa se procesa en ciclos continuos

### **2.14.1 Señales**

Las señales de entrada llegan a un PLC a través de los sensores. Estas señales contienen información sobre el estado del sistema a controlar. Es posible introducir señales binarias, digitales y analógicas. <sup>[15]</sup>

Un PLC solamente puede reconocer y emitir señales eléctricas. Por esta razón, las señales no eléctricas deben de convertirse en señales eléctricas por medio de convertidores.

---

## 2.15 Programación

Las máquinas en general, y las computadoras en particular, necesitan de un lenguaje propio para poder interpretar las instrucciones que se les dan, de esta forma nosotros podemos **controlar** su comportamiento. Ese lenguaje que permite esta relación con las computadoras es el lenguaje de programación.

La programación en PLC permite llevar a cabo las instrucciones paso a paso para el manejo de los elementos neumáticos de una manera adecuada y segura. De esta manera se puede llevar un orden de cada actividad a realizar en donde una vez concluida la última instrucción, se podrá regresar al inicio de las mismas.

Dentro de la programación se pueden incluir funciones predeterminadas que nos ayudan a optimizar las actividades, tal es el caso del contador, el cual permite llevar un número total del producto terminado.

## 2.16 Diagrama espacio – fase

El diagrama de pasos o diagrama de espacio-fase es un diagrama de movimiento.

Este diagrama es utilizado para contar con una representación esquematizada de las secuencias de movimientos. El diagrama indica cual es la secuencia de trabajo de los elementos de accionamiento.

Por medio de este diagrama podemos darnos cuenta de cuando un elemento tiene actividad o se encuentra en reposo, así como la secuencia que estos tienen.

## 2.17 Válvulas de control de flujo.

Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar,

---

conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. <sup>[18]</sup>

### **2.17.1 Válvula de globo.**

Una válvula de globo es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que sierra o corta el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería. <sup>[18]</sup>

### **2.17.2 Válvula de bola.**

Las válvulas de bola son de ¼ de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto. <sup>[18]</sup>

### **2.17.3 Válvula de mariposa.**

La válvula de mariposa es de ¼ de vuelta y controla la circulación por medio de un disco circular, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación. <sup>[18]</sup>

## **2.18 Productividad**

La Productividad es el grado de rendimiento con que se emplean los recursos disponibles para alcanzar los objetivos predeterminados, implica la mejora del proceso productivo, esto es una comparación favorable entre la cantidad de recursos utilizados (insumos) y la cantidad de bienes y servicios producidos. <sup>[17]</sup>

$$\text{PRODUCTIVIDAD} = \text{PRODUCTO} / \text{INSUMO} \quad (2.5)$$

---

## **2.19 Eficiencia**

Es la capacidad de realizar una actividad con la menor cantidad de recursos disponibles. La eficiencia es el grado de rendimiento con que se realiza un trabajo con respecto a un recurso o norma preestablecida. La eficiencia permite: reducción de los costos; al descartar el trabajo improductivo y los tiempos ociosos, la razón de rapidez de producción es mayor, esto es, se produce mayor número de unidades en el mismo tiempo. la eficiencia depende de los métodos de trabajo que se empleen ya que la eficiencia es resultado de la velocidad de los movimientos que desarrolle el trabajador. <sup>[17]</sup>

## **2.20 Eficacia**

Es la capacidad de alcanzar el resultado que se espera o desea tras la realización de una actividad o acción. El logro de los objetivos y metas programadas con los recursos disponibles en un tiempo predeterminado. En donde el lugar, tiempo, calidad y cantidad de las metas ayudaran al cumplimiento de los objetivos establecidos. <sup>[17]</sup>

## **2.21 Simulación Financiera**

La simulación financiera es la actividad que nos permite conocer en cuanto tiempo se recuperará la inversión realizada para la automatización de estos procesos. La simulación financiera es muy similar al estado de resultados, ya que ambos determinan el periodo de amortización. La diferencia es que ésta se basa en el número de botellas totales que se tendrán que producir para recuperar la inversión. De ésta manera se podrá identificar cuan factible y rentable es la inversión.

La revisión técnica describe los elementos que se utilizaron para el desarrollo de la simulación. En éste capítulo se muestran las características y descripciones de cada elemento.

### 3.1 Elementos neumáticos utilizados en la simulación

#### 3.1.1 Cilindros de doble efecto

El vástago del cilindro de doble efecto se invierte por medio de la alimentación alternativa de aire comprimido. La amortiguación en ambos extremos evita choques bruscos del émbolo en las culatas. La amortiguación de los finales de recorrido puede ajustarse por tornillos de regulación. El campo magnético de un imán permanente, unido al embolo, permite accionar interruptores de proximidad magnéticos.

Tabla 3.1 Datos técnicos del cilindro doble efecto <sup>[15]</sup>

Fluido	Aire comprimido filtrado
Diseño	Cilindro de émbolo
Presión de funcionamiento máxima	10 bar (1,000 kPa)
Carrera Máxima	100 mm
Fuerza a 6 bar (600 kPa)	165 N
Fuerza de retorno a 6 bar (600 kPa)	140 N
Conexión	G 1/8



Figura 3.1 Cilindro de doble efecto <sup>[15]</sup>

---

### 3.1.2 Sensor de proximidad óptico

Los sensores de proximidad ópticos consisten en dos módulos principales, el emisor y el receptor. En el caso del sensor de reflexión directa, estos se hallan montados en el mismo cuerpo.

El emisor del sensor de reflexión directa emite una luz roja pulsante en el margen del espectro visible. El objeto a detectar refleja parte de la luz emitida. Esta luz es detectada por un dispositivo semiconductor en el receptor que también se halla dispuesto en el cuerpo del sensor y que provoca un cambio en el estado de conmutación.

Tabla 3.2 Datos técnicos del sensor óptico <sup>[15]</sup>

Tensión de conmutación	10 a 30 V DC
Rizado residual	Máximo 10%
Distancia nominal de detección	0 a 100 mm (ajustable)
Frecuencia de conmutación	Máximo 200 Hz
Función de salida	Contacto n.a. conmutación a positivo
Corriente de salida	Máximo 100 Ma
Clase de protección	IP65
Conexiones	Clavija de 4 mm



Figura 3.2 Sensor óptico <sup>[15]</sup>

---

### 3.1.3 Válvula de 5/2 vías, doble solenoide

La electroválvula invierte su estado cuando se aplica tensión a la bobina del solenoide y permanece en esta posición aunque desaparezca la señal. Cuando aparece una señal en la bobina opuesta, la válvula invierte de nuevo su estado. El estado de conmutación se visualiza por medio de un LED incorporados en los conectores de las bobinas.

Tabla 3.3 Datos técnicos, válvula 5/2 vías <sup>[15]</sup>

#### Selección Neumática

<b>Fluido</b>	<b>Aire comprimido, filtrado</b>
<b>Diseño</b>	<b>Válvula de corredera pilotada</b>
<b>Margen de presión</b>	<b>150 a 800 kPa (1.5 a 8 bar)</b>
<b>Tiempo de conmutación</b>	<b>A 600 kPa (6 bar) 10 ms</b>
<b>Caudal nominal estándar</b>	<b>500 l/min</b>
<b>Conexión</b>	<b>CU-PK-3</b>
<b>Sección eléctrica</b>	
<b>Tensión</b>	<b>24 V DC</b>
<b>Consumo</b>	<b>1.5 W</b>
<b>Duración</b>	<b>100%</b>
<b>Conexión</b>	<b>Clavijas de 4 mm</b>

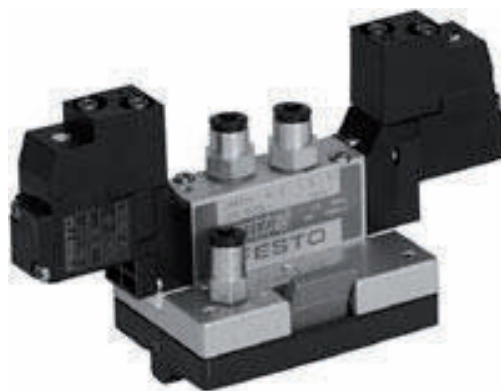


Figura 3.3 Válvula de 5/2 vías, doble solenoide <sup>[15]</sup>



---

### 3.1.4 Válvula de 3/2 vías con rodillo

La válvula se acciona presionando el rodillo por medio del actuador. La válvula regresa a su posición normal por medio de un muelle de retorno al liberar el rodillo.

Tabla 3.4 Datos técnicos de válvula 3/2 vías con rodillo <sup>[16]</sup>

Medio	Aire comprimido filtrado
Diseño	Válvula de asiento, con muelle de retorno
Margen de presión	0 a 8 bar (0 a 800 kPa)
Caudal nominal estándar	80 l/min
Fuerza de accionamiento a 6 bar	12.5 N
Conexión	LCU-PK-3



Figura 3.4 Válvula 3/2 vías con rodillo

---

## 3.2 Elementos PLC utilizados en la simulación

Los elementos PLC nos van a permitir realizar la simulación paso por paso según las actividades que se deseen realizar. En estos elementos están presentes las unidades de indicación y los botones, los cuales facilitan su utilización para cualquier tipo de representación.

### 3.2.1 PLC Programa de Interface

El PLC, es el encargado de ejecutar el programa almacenado en la memoria. Podemos considerar que el PLC toma, una a una, las instrucciones programadas y las va ejecutando. Cuando llega al final de la secuencia de instrucciones programadas, el PLC vuelve al principio y sigue ejecutándolas de manera cíclica. Como se dijo, la memoria almacena el programa de aplicación, pero además guarda el estado de variables internas del programa como por ejemplo número de piezas procesadas.

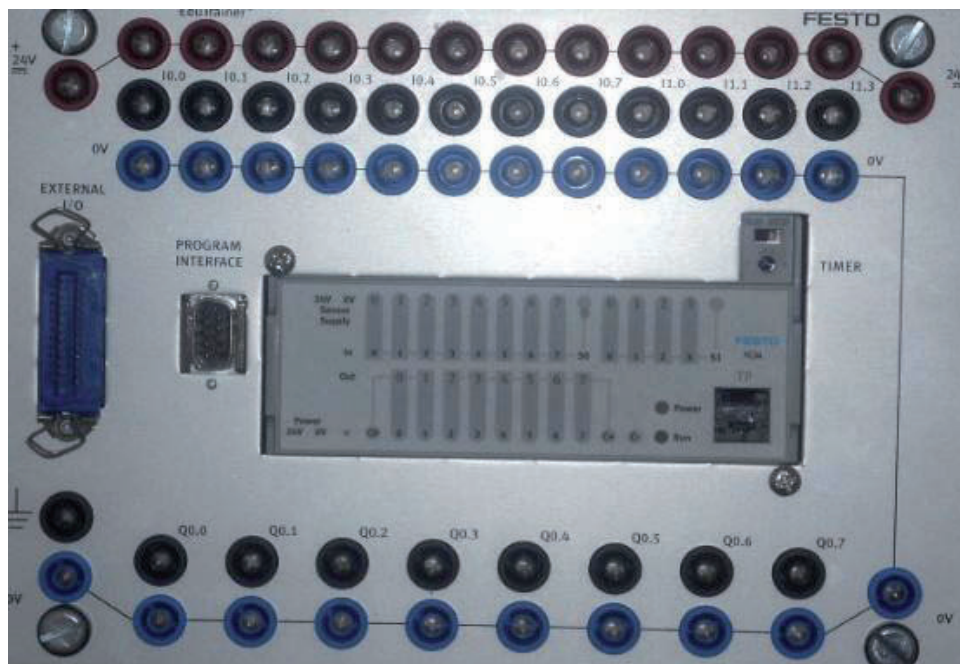


Figura 3.5 Programa de interface

---

### 3.2.2 Entrada de señales eléctricas

Los pulsadores iluminados en forma de contactos momentáneos consisten en un bloque de contactos con dos contactos normalmente cerrados y dos normalmente abiertos, junto con un pulsador con tapa transparente con piloto miniatura. El bloque de contactos se activa presionando el pulsador. Los circuitos eléctricos abren o cierran a través del bloque de contactos. Cuando se suelta el pulsador, el bloque de contactos regresa a su posición inicial. [15]

Tabla 3.5 Datos técnicos de la caja botonera [15]

<b>Tensión</b>	<b>24 V DC</b>
<b>Bloque de contactos</b>	<b>2 contactos n.a, n.c.</b>
<b>Capacidad de los contactos</b>	<b>Max. 1 A</b>
<b>Consumo (piloto)</b>	<b>0.48 W</b>
<b>Conexiones</b>	<b>Cuatro clavijas de 4 mm</b>

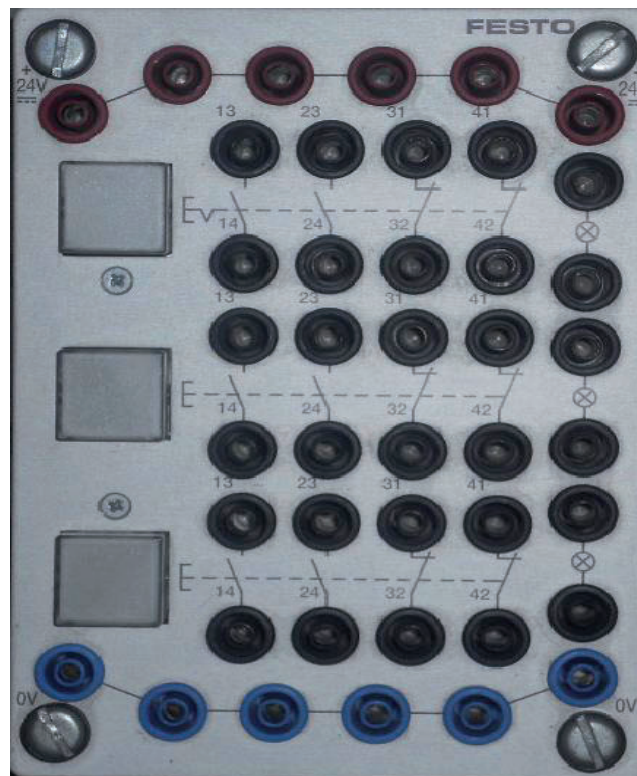


Figura 3.6 Caja botonera [15]

---

### 3.2.3 Unidad de indicación y distribución eléctrica

El indicador acústico emite un zumbido cuando se aplica tensión a sus conexiones. El indicador visual, consiste en un cuerpo transparente y una lámpara miniatura. Cuando se aplica tensión a sus conexiones, su estado operativo se indica por la lámpara miniatura incorporada. Por cada lámpara se han previsto un par de zócalos punteados, permitiendo que el componente se utilice además como distribuidor. <sup>[15]</sup>

Tabla 3.6 Datos técnicos de la unidad de indicación. <sup>[15]</sup>

Tensión	24 V DC
Consumo (indicador acústico)	0.04 W
Indicador óptico	1.2 W
Frecuencia (indicador acústico)	420 Hz
Conexiones	Para clavijas de 4 mm

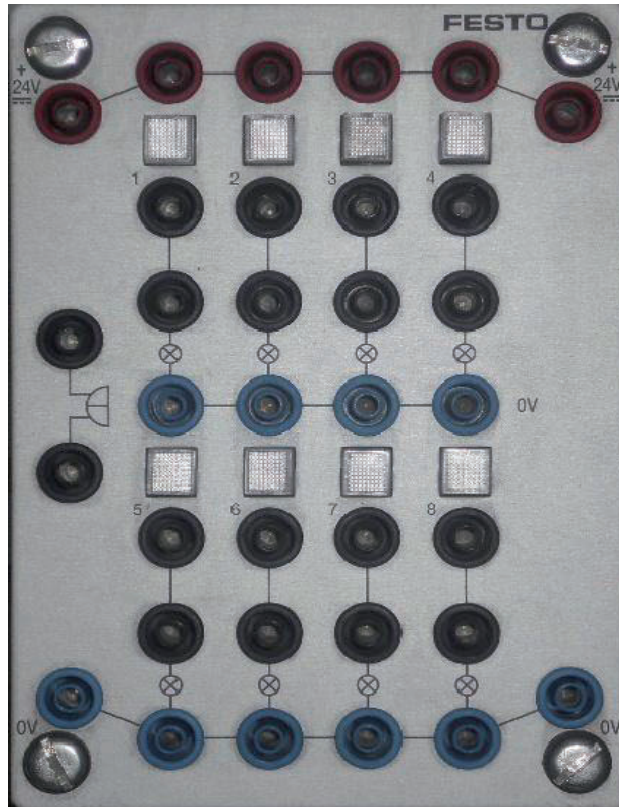


Figura 3.7 Unidad de indicación <sup>[15]</sup>

La Metodología se define como el conjunto de [procedimientos](#) basados en [principios lógicos](#) que se realizaron para llevar a cabo la simulación planteada, de esta manera se pretende alcanzar los objetivos anteriormente definidos.

#### **4.1 Análisis Metodológico**

Para poder llevar a cabo el proyecto de Simulación se definieron y desarrollaron las siguientes actividades.

- 1) Análisis del proceso actual con el que cuenta la empresa.
- 2) Planteamiento del proceso a automatizar.
- 3) Simulación neumática.
- 4) Simulación electroneumática
- 5) Programación en FST 4.10
- 6) Simulación con PLC
- 7) Calculo de la productividad basado en la simulación
- 8) Simulación Financiera.

#### **4.2 Análisis del proceso actual**

Para poder definir el proyecto de automatización a realizar, se hizo un análisis minucioso y exhaustivo del proceso actual con el que cuenta la empresa “La Gran Michoacana” para el embotellado de agua de sabor. Este cuenta con tres etapas:

- a) Llenado
- b) Tapado
- c) Etiquetado

Estos procesos son totalmente manuales (artesanales), en los cuales no existe una estandarización de tiempos o controles de calidad. Por consecuente existe

---

variación dentro de estos procesos. De este modo el producto no cuenta con una calidad suficiente para los requerimientos y demandas de los consumidores.

A su vez la producción es inadecuada y lenta, lo cual permite que se lleguen a producir un limitado número de botellas en un determinado lapso de tiempo.



Figura 4.1 Elementos del proceso actual



Figura 4.2 Proceso actual de llenado



Figura 4.3 Proceso actual de tapado



Figura 4.4 Proceso actual de etiquetado

Para poder llevar a cabo el análisis detallado del proceso actual, se desarrolló un diagrama de flujo del proceso incorporando una toma de tiempos de cada actividad. Estas se describen a continuación:

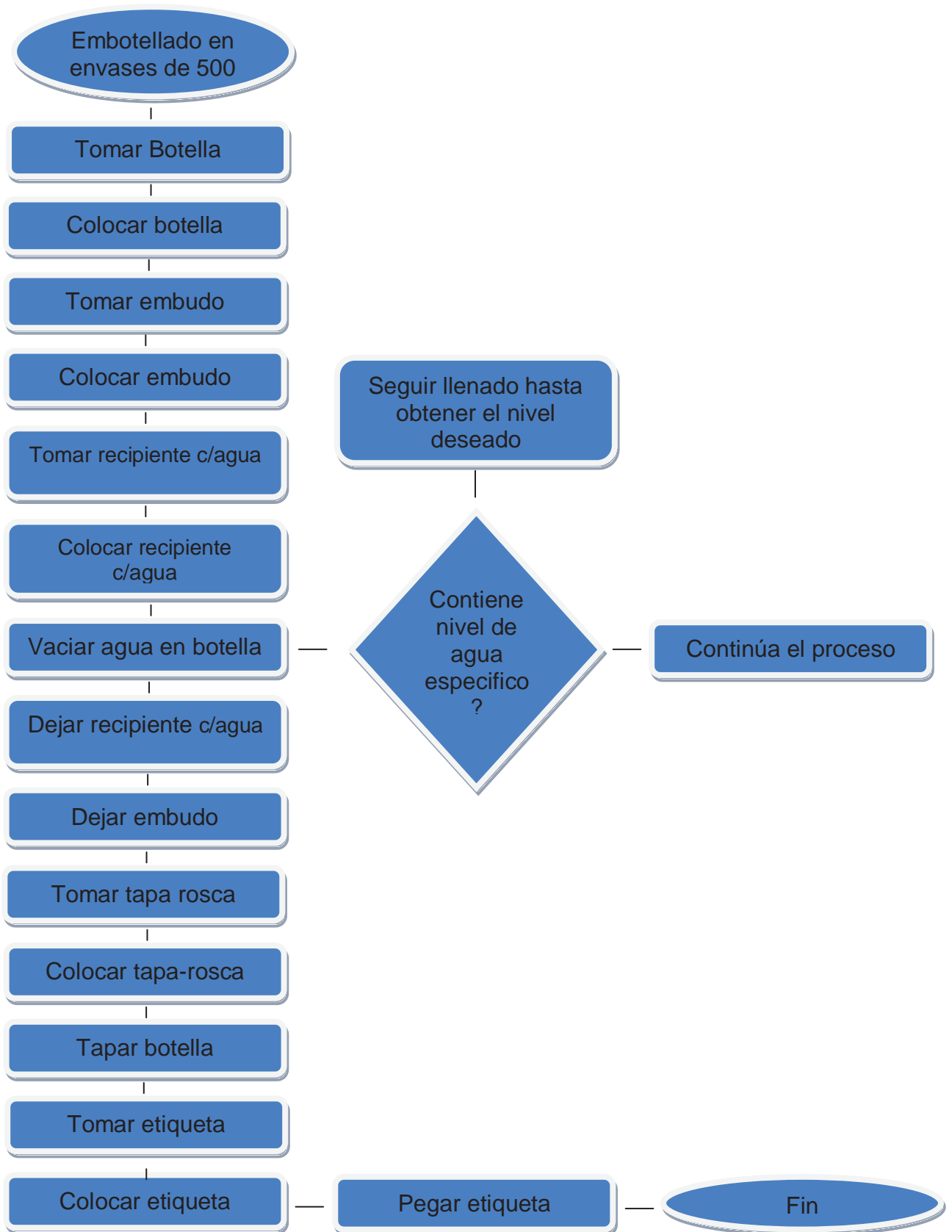























































































Figura 4.5 Diagrama de flujo del proceso actual



Tabla 4.1 Análisis del diagrama de flujo del proceso actual

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO						
Ubicación: La Gran Michoacana		Resumen				
Actividad: Embotellado de Agua de sabor	Actividad	Actual	Propuesto	Ahorros		
Fecha: 10-03-10	Operación					
Operador: Juan Hurtado	Transporte					
Analista: Alejandro Fernández	Demora					
Metodo: Actual	Inspeccion					
Tipo: Operador	Almacenaje					
Descripción de la Actividad			Simbolo			Tiempo
tomar botella						0.84
colocar botella						1.44
tomar embudo						0.85
colocar embudo						2.22
tomar recipiente con agua						0.84
colocar recipiente con agua						1.27
vaciar agua en botella						21.38
inspeccionar nivel de agua						0.45
dejar recipiente con agua						2.81
dejar embudo						2.61
tomar taparroasca						0.74
colocar taparroasca						1.48
tapar botella						3.82
tomar etiqueta						0.85
colocar etiqueta						3.29
pegar etiqueta						5.25
				Tiempo total del proceso		50.14

---

### 4.3 Planteamiento del proceso a automatizar

Una vez analizado el diagrama de flujo con el que cuenta la empresa para el embotellado de agua de sabor, se determina que los procesos óptimos para automatizar son las actividades de llenado y tapado en botellas de 600 ml con agua de sabor.

Este proceso de automatización consistirá en un ciclo automático en donde un sensor óptico de posición será activado cuando la botella llegue a su posición de llenado, posteriormente se empezará a llenar la botella hasta que un sensor óptico de nivel detecte la cantidad exacta de agua que a continuación activará el sensor que le dará salida al actuador que tatará la botella. Las etapas del proceso se enumeran a continuación:

- 1) activación del contador por medio un botón\_0
- 2) activación del ciclo por medio un botón\_1.
- 3) activación del sensor óptico de posición.
- 4) activación del sensor óptico de nivel.
- 5) posicionamiento de tapa-rosca en botella.
- 6) activación de sensor para el actuador de tapado.

Dichos pasos quedaran establecidos para el nuevo sistema de automatización, el cual va a permitir un incremento en la eficiencia e higiene del proceso.

### 4.4 Simulación neumática

La simulación neumática se realizó en el programa de FESTO fluidsim, el cual pretende reproducir el comportamiento así como las sensaciones físicas (velocidad, aceleración) del proceso a automatizar.

Dicha simulación nos ayuda a entender y observar cuales son las características, así como la forma en que se comporta cada uno de los elementos utilizados.

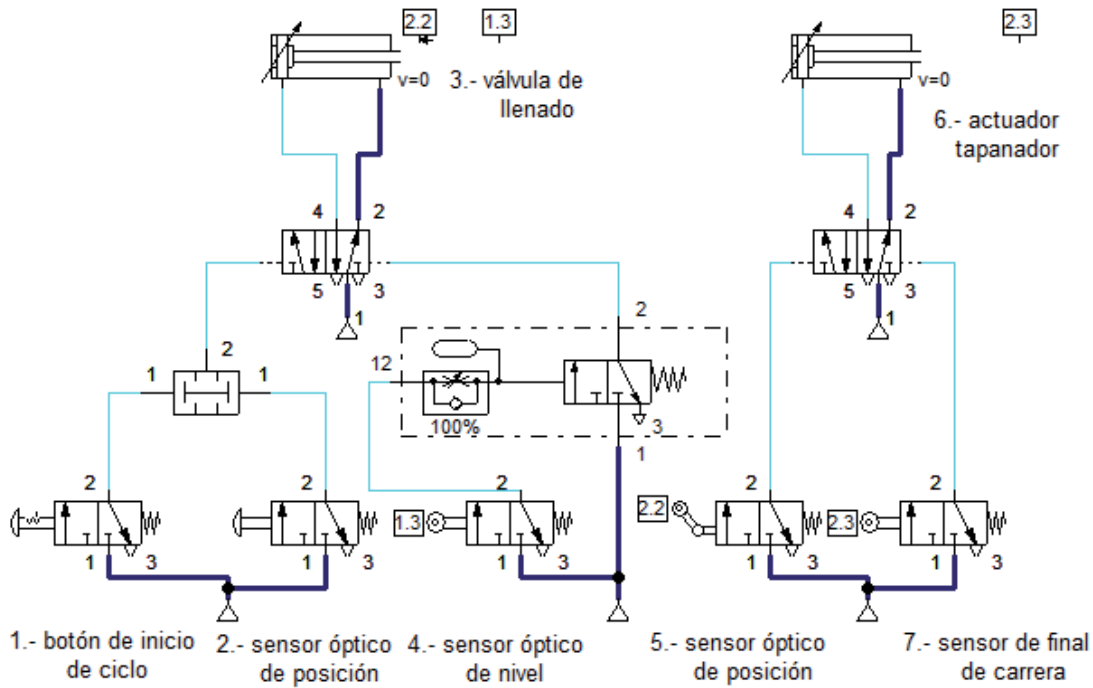


Figura 4.6 Simulación neumática completa

La simulación maneja un proceso automático en donde se da inicio al ciclo presionando un botón, posteriormente para que el actuador A tenga su inicio de carrera y abra la válvula de llenado se tendrá que activar el sensor óptico de posición. El temporizador se maneja como el tiempo que tarda la botella en ser llenada, cuando esta tenga la cantidad exacta de agua, el sensor de nivel mandará la señal para que el actuador A regrese a su posición inicial. Una vez que el primer proceso haya concluido y el actuador A haya regresado a su posición inicial, se activará el sensor de posición en donde este mandará la señal para que el actuador B salga y tape la botella. Inmediatamente el sensor final de carrera será activado para que el actuador regrese a su posición inicial.

Para que se pueda tener una idea más clara y una mayor comprensión de los elementos y la forma en cómo estos interactúan entre si y como conjunto, se decide realizar por separado (procesos individuales) cada etapa del proceso, tanto para la simulación neumática como para la electroneumática.

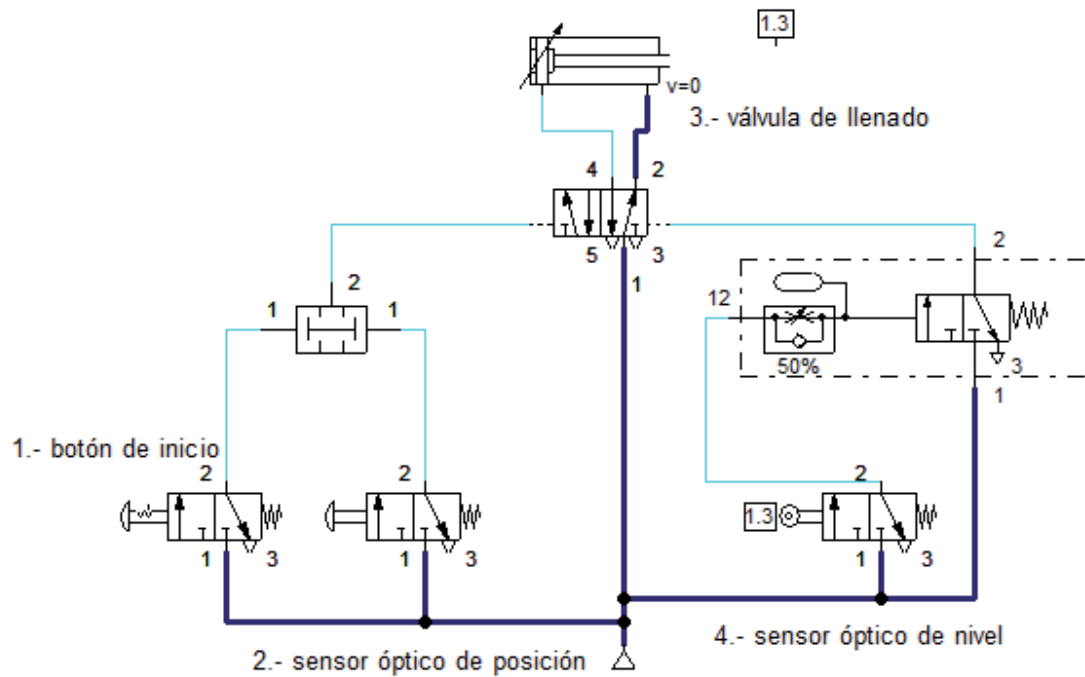


Figura 4.7 Simulación del proceso de llenado

Esta es una representación grafica del circuito neumático del proceso de llenado, en donde cada elemento se describe a continuación:

- 1) botón de inicio: el botón de inicio de ciclo se activa en la caja de entrada de señales eléctricas (caja botonera), la cual dará inicio a la actividad de llenado y es representada por un botón de enclavamiento.
- 2) Sensor óptico de posición: el sensor óptico de posición es representado por un botón pulsador, el cual tiene la función de detectar la botella cuando esta se encuentre situada y lista para comenzar el llenado una vez que ya se haya activado el botón de inicio.

- 3) Válvula de llenado: el pistón actuador que se ilustra en la figura 4.7 será el encargado de llenar las botellas, este saldrá en su inicio de carrera una vez que los elementos 1 y 2 se encuentren activados. A su vez éste se regresará a su posición inicial cuando el sensor óptico de nivel sea activado.
- 4) Sensor óptico de nivel: éste se activará cuando la botella se llenada con la cantidad exacta de agua, una vez activado el sensor, este mandará la señal de retroceso del actuador. Éste se representa con una válvula de rodillo.

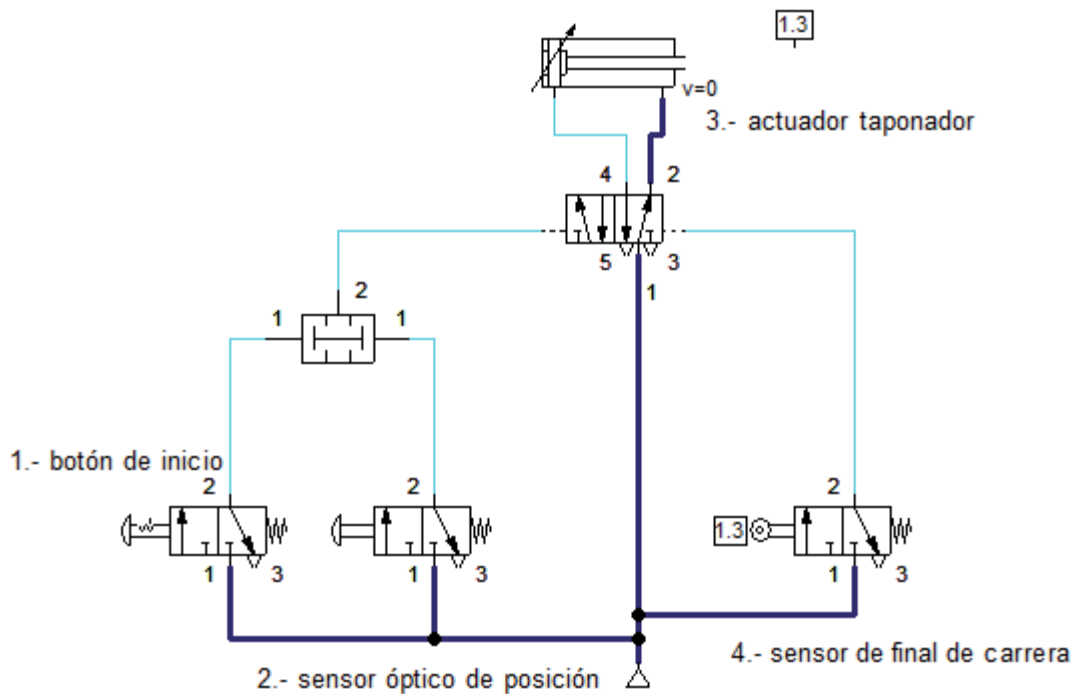


Figura 4.8 Simulación del proceso de tapado.

- 1) Botón de inicio: éste ya se encuentra activado desde el proceso de llenado, ya que se activa desde el principio. Y forma parte del mismo ciclo continuo.

- 2) Sensor óptico de posición: se ilustra por medio de una válvula 3/2 vías de rodillo en la cual la botella tendrá que activar el sensor inicial del actuador taponador.
- 3) Actuador taponador: una vez activado su sensor inicial este saldrá para taponar la botella con la tapa-rosca.
- 4) Sensor final de carrera: una vez que el actuador taponador haya realizado su final de carrera y halla tapado la botella, activará su sensor final para dar retroceso al actuador.

#### 4.5 Simulación electroneumática

La simulación electroneumática maneja las señales eléctricas y las señales neumáticas, esta simulación nos va brindar una idea más detallada de acuerdo al proyecto que se realizo en esta tesina, ya que a diferencia de la simulación neumática se estará manejando un leed indicador o señal eléctrica que simulará una banda transportadora, la cual estará encendida (leed indicador) cuando se active el botón de inicio de ciclo y ambos actuadores estén en reposo. Esta simulación se enfoca a la programación PLC.

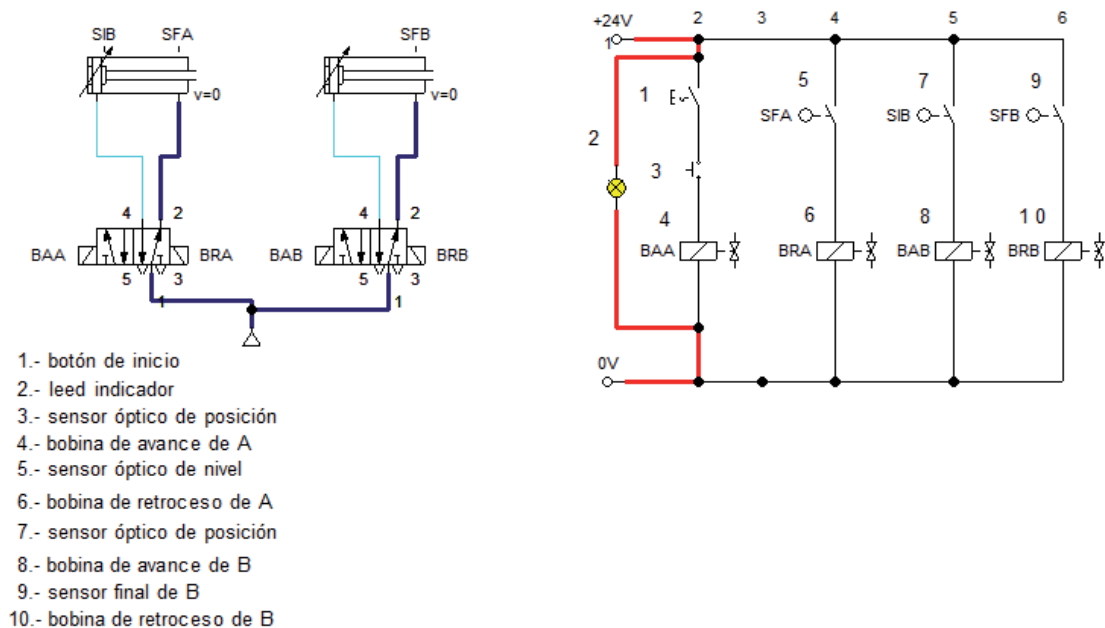


Figura 4.9 Simulación electroneumática completa

---

El funcionamiento de la simulación electroneumática es muy similar al de la simulación neumática. A continuación se dará una breve explicación.

Al presionar el botón de inicio automáticamente se encenderá en leed indicador que simulará la banda transportadora, cuando se active el sensor óptico de llenado saldrá el actuador para que éste abra la válvula de llenado, éste mismo se regresará cuando el sensor óptico de nivel se active. La banda transportadora nuevamente se activará para realizar el recorrido hasta que la botella se encuentre nuevamente en posición para que sea tapada. El actuador de tapado saldrá una vez que se active el sensor de posición y se regresará una vez que haya realizado su carrera y su sensor final se haya activado.

Cada proceso se describe a continuación.

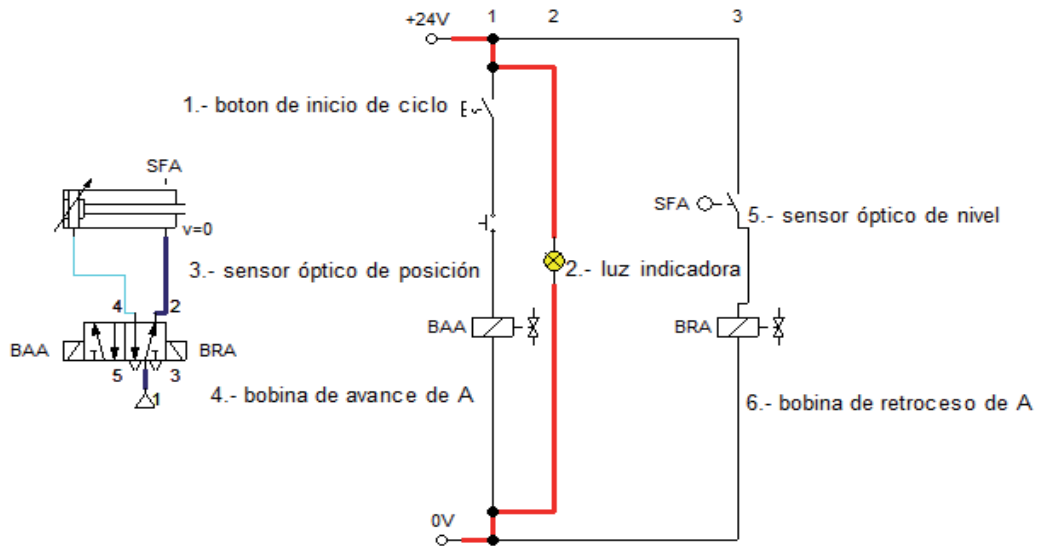


Figura 4.10 Simulación electroneumática del proceso de llenado

En la figura 4.9 se puede comprender más a detalle el funcionamiento en el proceso de llenado en botellas de 600 ml, ya que como se ilustra en la figura, en el costado izquierdo se encuentran los elementos neumáticos, y en el costado derecho los elementos eléctricos, los cuales son la base para el funcionamiento y

---

desarrollo en la programación PLC. A continuación se desarrollan los pasos a seguir:

- 1) Botón de inicio: primeramente se activa el botón de inicio de ciclo para que se active el funcionamiento del circuito, éste se representa con un interruptor (obturador), el cual va encender una luz indicadora.
- 2) Luz indicadora: ésta va ser encendida cuando se haya activado el botón de inicio de ciclo, la cual va a simular el funcionamiento de una banda transportadora. Ésta se apagará cuando el sensor óptico de posición sea activado para el llenado.
- 3) Sensor óptico de posición: una vez que la señal eléctrica de la banda transportadora haya realizado su recorrido, se detendrá cuando la botella se encuentre en posición y active su sensor óptico para que ésta sea llenada. Este se ilustra por medio de un pulsador.
- 4) Bobina de avance de A: corresponde a la válvula 5/2 vías de doble solenoide, la cual mandará la señal eléctrica para que el actuador salga en su carrera y abra la válvula de llenado. Estará representada por un solenoide de válvula.
- 5) Sensor óptico de nivel: al momento en que la botella sea llenada y contenga la cantidad exacta de agua éste se activará y mandará la señal al solenoide de válvula (BRA) para que el actuador regrese a su inicio de carrera. Se representa por medio de un obturador de rodillo.
- 6) Bobina de retroceso de A: una vez que se haya activado el sensor óptico de nivel, mandará la señal eléctrica a la bobina de retroceso de A para que el actuador regrese a su estado inicial. Para éste caso se utiliza el mismo elemento que en la bobina de avance de A.

Para la etapa de proceso de tapado se maneja una secuencia similar a la del llenado, ya que es un ciclo continuo y ambas utilizan los mismos elementos, por consecuencia tienen la misma funcionalidad.



---

A continuación se ilustra el diagrama del proceso de tapado donde se explicará más a detalle para su mayor comprensión.

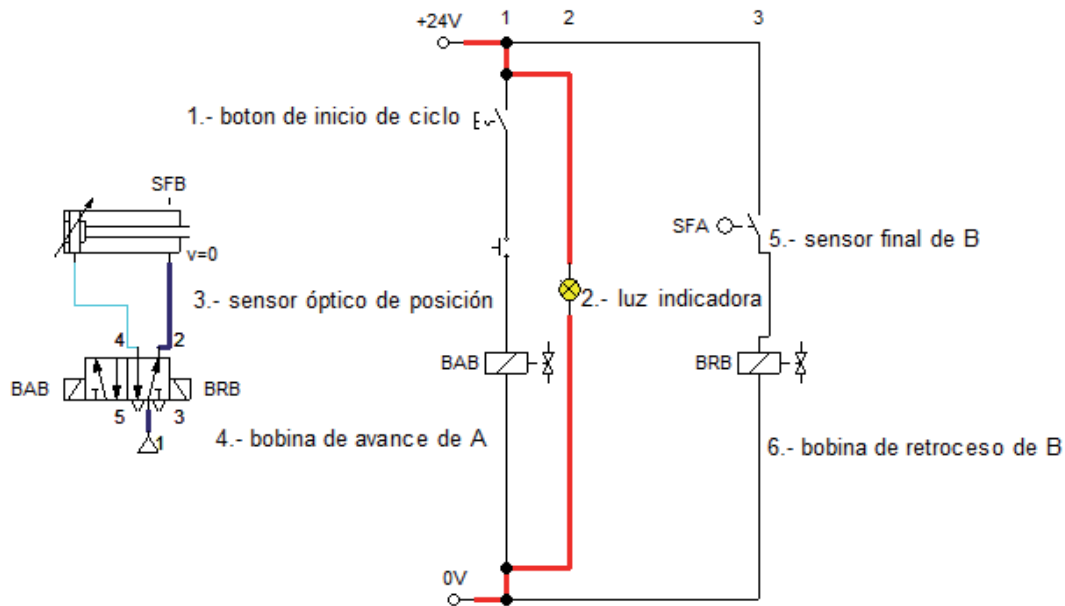


Figura 4.11 Simulación electropneumática del proceso de tapado

Como ya se ha explicado anteriormente la luz indicadora expresa el recorrido de la banda transportadora, éste indicador estará presente en ambos procesos, la cual se apagará cuando el sensor de posición detecte la botella para que ésta sea tapada por el actuador, éste al llegar al final de su carrera activará su sensor final para que regrese a su posición inicial. Cada actividad tiene la siguiente descripción:

- 1) Botón de inicio: éste ya se encuentra activado desde el proceso anterior, ya que es un ciclo continuo.
- 2) Luz indicadora: estará encendida en cada recorrido de la banda transportadora entre proceso y proceso.
- 3) Sensor óptico de posición: una vez que la señal eléctrica de la banda transportadora haya realizado su recorrido se activará el sensor de

---

posición cuando la botella se encuentre en su ubicación correcta. Se ilustra por medio de un pulsador.

- 4) Bobina de avance de B: corresponde a la válvula 5/2 vías de doble solenoide, la cual mandará la señal eléctrica para que el actuador salga en su carrera y tape la botella. Estará representada por un solenoide de válvula.
- 5) Sensor final de B: al momento en que la botella sea tapada y el actuador llegue a su final de carrera activará la señal del solenoide de válvula (BRB) para que el actuador regrese a su inicio de carrera. Se representa por medio de un obturador de rodillo.
- 6) Bobina de retroceso de B: éste realizará la función de regresar a su posición inicial al actuador de tapado una vez que se haya activado el sensor final de B.

Para ambas simulaciones, tanto la neumática como electroneumática, ambas manejaron cada proceso de forma individual para que se pudiera tener una mayor comprensión del comportamiento y funcionalidad del sistema y de cada elemento.

#### **4.5.1 Diagrama espacio-fase**

En el diagrama espacio – fase se muestra cuando cada uno de los elementos entra en actividad, ya sea la banda transportadora o los actuadores neumáticos.

En la simulación realizada primero entra en actividad la banda transportadora, la cual trasladará las botellas al proceso de llenado. Posteriormente el actuador A entra en actividad para que las botellas sean llenadas. Nuevamente la banda transportadora realizará el siguiente recorrido al proceso de tapado. El actuador B realiza su actividad y tapa las botellas.

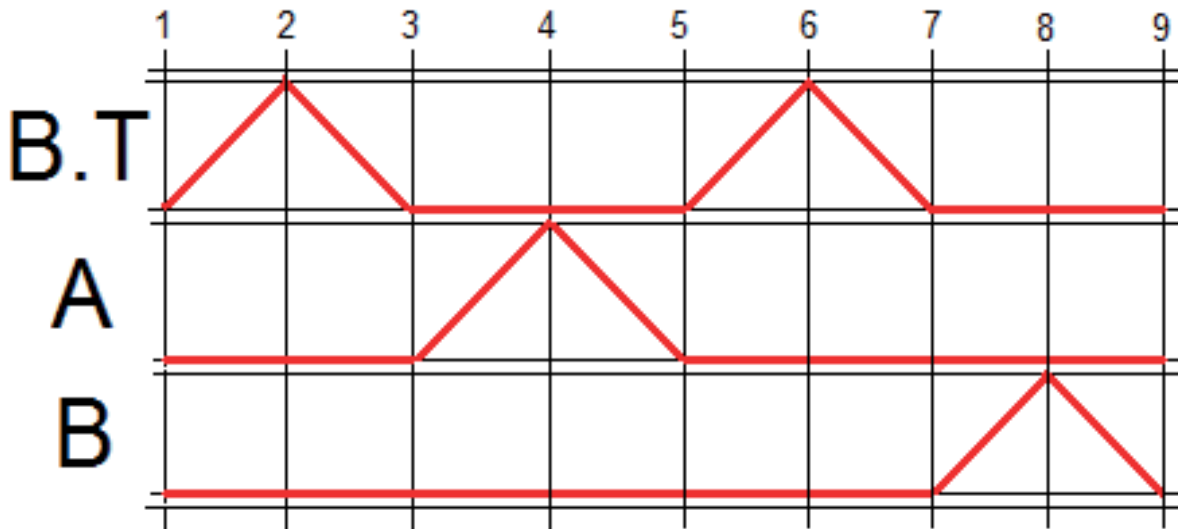


Figura 4.12 Diagrama espacio-fase

#### 4.6 Programación en FST 4.10

La programación de un PLC se realiza mediante periféricos del autómata, como pueden ser un PC, una consola de programación, etc. La programación de un autómata comienza con la ejecución del diagrama de mando del proceso a controlar.

La programación en un PLC es realizada en compiladores especializados, basados en los principios de programación fundamentales como C y C++, ésta programación se realizó en el compilador de la línea FST 4.10, el cual es muy práctico y fácil de comprender. Éste compilador maneja lo correspondiente a las entradas y salidas.

Ésta es la secuencia completa de la simulación realizada en el llenado y tapado de botellas de 600 ml para la empresa “La Gran Michoacana” en donde se describe cada paso o actividad del proceso, así como también las funciones aplicadas como es el caso del “contador” el cual nos brindará un control total de producto terminado, añadiendo una la luz indicadora que simulará el recorrido de una banda transportadora.

---

**STEP inicio**

IF	boton_1	'boton_1 de reinicio I0.0
THEN LOAD	V2	
TO	CW0	'contador de valor 2
RESET	indicador	'indicador de final de ciclo O0.5

**STEP ciclo**

IF	boton_2	'boton_2 de inicio de ciclo I0.1
THEN JMP TO	banda_tra	

**STEP banda\_tra**

IF N	boton_2	'boton_2 de inicio de ciclo I0.1
AND N	sop	'sensor óptico de posición I0.2
AND N	soll	'sensor óptico de llenado I0.3
AND N	sfa	'sensor final de a I0.4
AND N	sib	'sensor inicial de b I0.5
AND N	sfb	'sensor final de b I0.6
THEN SET	banda_tra	'luz de banda_tra O0.4

**STEP avance\_a**

IF	sop	'sensor óptico de posición I0.2
THEN SET	baa	'bobina de avance de a O0.0
RESET	banda_tra	'luz de banda_tra O0.4

**STEP retro\_a**

IF	sop	'sensor óptico de posición I0.2
AND	soll	'sensor óptico de llenado I0.3
AND	sfa	'sensor final de a I0.4
THEN SET	bra	'bobina de retroceso de a O0.1
RESET	baa	'bobina de avance de a O0.0

**STEP band\_tra1**

IF	sop	'sensor óptico de posición I0.2
AND	soll	'sensor optico de llenado I0.3
AND N	sfa	'sensor final de a I0.4
AND N	sib	'sensor inicial de b I0.5

---

AND	N	sfb	'sensor final de b I0.6
THEN SET		banda_tra	'luz de banda_tra O0.4
RESET		bra	'bobina de retroceso de a O0.1
<b>STEP avance_b</b>			
IF		sib	'sensor inicial de b I0.5
THEN SET		bab	'bobina de avance de b O0.2
RESET		banda_tra	'luz de banda_tra O0.4
<b>STEP retro_b</b>			
IF		sib	'sensor inicial de b I0.5
AND		sfb	'sensor final de b I0.6
THEN SET		brb	'bobina de retroceso de b O0.3
RESET		bab	'bobina de avance de b O0.2
<b>STEP acumulado</b>			
IF	N	sop	'sensor óptico de posición I0.2
AND	N	soll	'sensor óptico de llenado I0.3
AND	N	sfa	'sensor final de a I0.4
AND	N	sib	'sensor inicial de b I0.5
AND	N	sfb	'sensor final de b I0.6
THEN RESET		brb	'bobina de retroceso de b O0.3
DEC		CW0	'contador de valor 2
<b>STEP conteo</b>			
IF	N	sop	'sensor óptico de posición I0.2
AND	N	soll	'sensor óptico de llenado I0.3
AND	N	sfa	'sensor final de a I0.4
AND	N	sib	'sensor inicial de b I0.5
AND	N	sfb	'sensor final de b I0.6
AND		C0	'número de ciclos
THEN JMP TO			banda_tra
IF	N	sop	'sensor óptico de posición I0.2
AND	N	soll	'sensor óptico de llenado I0.3
AND	N	sfa	'sensor final de a I0.4

---

---

AND N	sib	'sensor inicial de b I0.5
AND N	sfb	'sensor final de b I0.6
AND N	C0	'numero de ciclos
THEN SET	indicador	'indicador de final de ciclo O0.5
JMP TO	inicio	

A continuación se dará una breve explicación de cada paso de la programación.

### **STEP inicio**

En éste paso al presionar el botón\_1 se estará reiniciando el indicador y el contador para que éste último quede en cero y posteriormente cargue la cantidad de unidades que se quieran contar, en donde se le tendrá que asignar un valor (unidades). Al terminar de contar las unidades asignadas se prenderá una luz indicadora de término de ciclo.

### **STEP ciclo**

Éste paso marca el inicio del ciclo, lo cual indica que el sistema ya se encuentra listo para trabajar una vez que ya se haya reiniciado el contador por medio del botón\_1 y se haya presionado el botón\_2. Donde éste último nos mandará al siguiente paso.

### **STEP banda\_tra**

Para que éste paso se pueda llevar a cabo no tienen que estar presentes o activados ninguno de los elementos. El programa PLC al no detectar ninguno de estos encenderá una luz indicadora que simulara el recorrido de una banda transportadora la cual llevará a cada botella en su recorrido.

---

### **STEP avance\_a**

Éste es el paso en donde ya tiene actividad el primer pistón, el cual saldrá de su inicio de carrera para abrir la válvula de bola, posteriormente la botella será llenada con agua de sabor. Una vez que el sensor óptico de posición sea activado, mandará la señal a la bobina de avance de A para que el pistón salga y se apague la luz indicadora.

### **STEP retro\_a**

En éste paso el pistón actuador tendrá su regreso por medio de la BRA (bobina de retroceso de A), la cual será activada cuando el sensor óptico de posición, sensor óptico de llenado y el sensor final de A se encuentren activados. Al mismo tiempo se apagará la señal de la bobina de avance de A.

### **STEP band\_tra1**

Éste es el paso donde la luz indicadora de la banda transportadora vuelva a tener actividad. Esta será nuevamente activada una vez que la botella sea llenada con la respectiva cantidad de agua, en donde tendrá que estar activado el sensor óptico de posición, el sensor óptico de llenado y los demás elementos no tendrán que estar presentes para que inmediatamente se apague la señal de la bobina de retroceso de A (BRA). Una vez que suceda esto la banda transportadora realizará nuevamente el recorrido para que la botella pase al siguiente proceso.

### **STEP avance\_b**

Una vez realizado el recorrido de la banda transportadora y que la botella se halle en posición correcta, activará el sensor inicial de b, al activarse éste sensor se apagará la señal o la luz indicadora de la banda transportadora para posteriormente mandar la señal eléctrica a la bobina de avance de b (BAB) para

---

que el segundo pistón actuador (actuador de tapado) entre en acción y tape la botella.

### **STEP retro\_b**

Cuando el segundo pistón (actuador de tapado) tape la botella, este activará el sensor final de b, el cual está en su final de carrera. Como la botella está en reposo, ésta seguirá activando el sensor inicial de b. Al estar éstos dos activados se mandará la señal a la bobina de retroceso de b (BRB) para que el pistón actuador regrese a su posición de inicio. Al mismo tiempo se apagará la señal de la BAB.

### **STEP acumulado**

Éste es el paso en donde se empieza a descontar el número de botellas que han terminado el proceso. Cuando se haya terminado el ciclo y no esté ninguno de los elementos presentes se descontará la unidad del contador. Como parte final se apagará la señal de la bobina de retroceso de b (BRB).

### **STEP conteo**

Como último paso tendrá que estar presente el contador C0 para que éste vaya contando el número de ciclos transcurridos. Al estar presente y que los demás elementos no lo estén entonces se repetirá el ciclo comenzando por la luz indicadora de la banda transportadora. Cuando el número de unidades asignadas o el número de ciclos se haya agotado o terminado de contar y ninguno de los elementos éste presente nuevamente, entonces se prenderá una luz indicadora de fin de ciclo, en donde ya no se podrá seguir produciendo hasta que se reinicie como en el primer paso.

Ésta es la programación completa en FST 4.10, la cual nos permitió hacer la simulación con la ayuda de elementos neumáticos.



---

#### 4.7 Simulación con PLC y elementos neumáticos.

La simulación que se realizó en base a la programación PLC y con la ayuda de los elementos neumáticos de FESTO, permitió reproducir el comportamiento así como las sensaciones físicas de cada elemento y del sistema como tal.

A continuación se muestra la figura en donde se realizó la simulación así como los elementos que intervinieron para llevarla a cabo. En breve se desarrolla una descripción de los instrumentos utilizados en la simulación del llenado y tapado en botellas de 600 ml para la empresa “La Gran Michoacana”

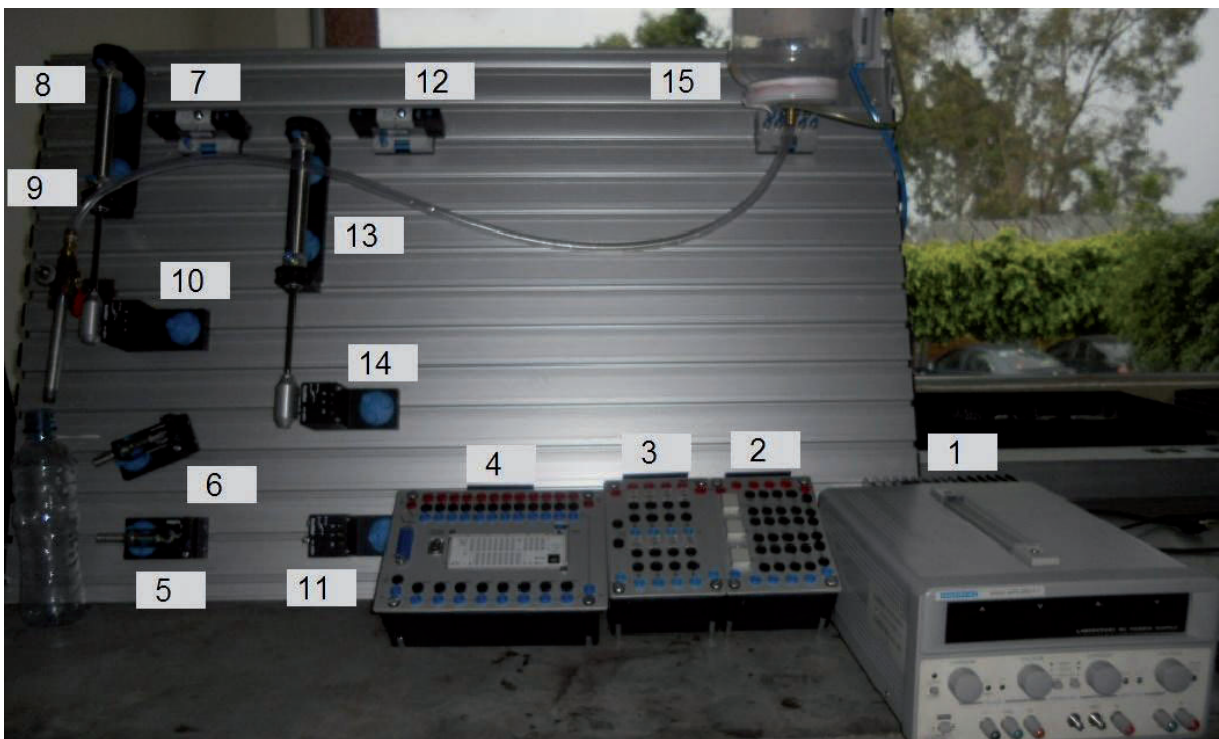


Figura 4.13 Elementos de la simulación

- 1) Fuente de voltaje: Es una de las partes fundamentales de la simulación, ya que ésta es la encargada de alimentar con 24 V a todo el sistema completo para que se pueda llevar a cabo la simulación.

- 
- 2) Entrada de Señales eléctricas (caja botonera): Es en donde realizamos el reinicio del contador por medio del botón\_0, así como el inicio del ciclo con el botón\_1
  - 3) Unidad de indicación: es la consola donde se reflejara por medio de una luz indicadora el recorrido que tendrá que hacer la simulación de la banda transportadora cuando los actuadores estén en reposo. También indicará el término del ciclo del contador.
  - 4) PLC programa de interface: éste es el más importante de todos ya que en su memoria se registra paso a paso cada actividad que se tenga que realizar, cuando estos pasos lleguen a su fin la memoria repetirá y comenzara de nuevo.
  - 5) Sensor óptico de posición: será activado al momento en que la botella se encuentre en posición correcta. Posteriormente mandará la señal a BAA para que el actuador salga y abra la válvula que llenará la botella.
  - 6) Sensor óptico de nivel: cuando la botella esté siendo llenada y contenga la cantidad exacta de agua, la detectará y mandará la señal a la BRA para que éste realice su regreso.
  - 7) Válvula 5/2 vías de doble solenoide de A: es la encargada de recibir las señales de los sensores ópticos para que ésta energice ya sea la BAA o bien BRA.
  - 8) Actuador A: es el encargado de abrir y cerrar la válvula de bola para que la botella sea llenada. Una vez que se hayan energizado las respetivas bobinas.
  - 9) Válvula de Bola: ésta está conectada directamente al contendor de agua, la cual será abierta o cerrada cuando la botella se encuentre en posición de llenado o bien ya esté llena.

- 
- 10) Sensor final de A: indicara que el actuador se encuentra en su final de carrera, éste debe de estar activado para que se pueda cumplir el retroceso de este mismo.
  - 11) Sensor inicial de B: es una válvula 3/2 vías de rodillo abatible normalmente cerrada. Ésta es igual al sensor final de A y B. Se activará cuando la botella nuevamente se encuentre en posición correcta una vez que la banda transportadora haya realizado su recorrido.
  - 12) Válvula 5/2 vías de doble solenoide de B: al igual que la de A, se encargará de realizar el avance y el retroceso del actuador B.
  - 13) Actuador B: una vez que la botella se encuentre en posición, el actuador B será encargada de tapar a la botella ejerciendo una fuerza de 6 bar.
  - 14) Sensor final de B: detectará cuando el actuador B se encuentre en su final de carrea, éste al ser accionado o activado mandará la señal para que se realice su retroceso.
  - 15) Contenedor de Agua: es un cilindro de 10 cm de diámetro, conectado directamente a la válvula de bola. Éste almacena el agua de sabor para que al ser abierta la válvula se llene dicha botella.

Estos son los pasos, los elementos y el orden en que se utilizaron para poder llevar a cabo la simulación. De esta manera se podrá visualizar y tener una idea más detalla y comprensiva del funcionamiento de este proceso. Además su realización espera cumplir con los objetivos anteriormente estipulados.

#### **4.8 Cálculo de la Productividad.**

El cálculo de la productividad nos permite conocer el incremento en la producción del proceso propuesto sobre el proceso actual así como también los costos que intervienen.

---

**Proceso actual.**

50.52 segundos por 1 botella

$3,600 \text{ segundos} / 50.52 \text{ segundos} = 71.25 \text{ botellas por hora.}$

**Costos:**

\$ 60.00 pesos de mano de obra para el operador.

$\$ 60.00 \text{ pesos} / 8 \text{ horas} = \$ 7.50 \text{ pesos por hora.}$

$\$ 7.50 \text{ pesos por hora} / 71.25 \text{ botellas por hora} = \$ 0.1052 \text{ pesos por botella}$   
(salario por botella)

**Proceso propuesto.**

30 segundos por 1 botella

$3,600 \text{ segundos} / 30 \text{ segundos} = 120 \text{ botellas por hora}$

$120 \text{ botellas (propuesto)} / 71.25 \text{ botellas (actual)} = 68 \% \text{ incremento en}$   
producción.

**Costos:**

$\$ 7.50 \text{ pesos por hora de mano de obra} * 10 \% = \$ 0.75 \text{ pesos.}$

$\$ 0.75 \text{ pesos} / 120 \text{ botellas} = \$ 0.0062 \text{ pesos por botella}$

**Incremento en la productividad.**

$\$ 0.1052 \text{ pesos por botella (actual)} / \$ 0.0062 \text{ pesos por botella (propuesto)} =$   
 $16.96 - 1 = 15.96 \times 100 = 1596 \%$

---

## 4.9 Simulación Financiera

La simulación financiera nos permite conocer cuantas botellas se tendrán que producir para poder recuperar la inversión que se pretende realizar.

La inversión que se pretende realizar y las características de cada elemento se muestran a continuación:

Tabla 4.2 Inversión

Costos de los elementos utilizados en la simulación				
Articulo	Descripción	Precio	Cantidad	Total
Actuador	DSNU-20-100-PPV-A	1,438.05	2	2,876.10
Válvula 3/2 vías c/rodillo	S-ESG-A-R-SIBU	1,107.68	3	5,123.04
Válvula 5/2 vías doble solenoide	TP-BG-VSVA-B52-Q4-M8	4,662.56	2	9,325.12
Sensor Óptico	S-ES-SOE-RT-PS-SIBU	3,323.04	2	6,646.08
PLC (programa de interface)	ETER2-FEC-FC34-FST-IT	19,724.80	1	19,724.80
Caja Botonera	TN 162242	5,255.04	1	5,255.04
Luz Indicadora	TN 162244	5,255.04	1	5,255.04
Compresor	OTD	5,845.87	1	5,845.87
Otros	-----	5,000		5,000.00
			Total	65,051.09

$\$ 65,051.09$  (inversión) /  $(\$0.1052 - \$0.0062) = 657,082$  botellas.

Ahorro por botella de \$ 0.099

$657,082$  botellas /  $960$  botellas por día =  $684$  días para recuperar la inversión.

$684$  días /  $350$  días =  $1.95$  años para recuperar la inversión.

---

## Segunda Propuesta.

Se plantea que la inversión sea con elementos de medio uso, los cuales tienen un valor total de \$32,470.00 pesos. Además se considera que utilizando una válvula de bola más grande así como un tubo conector (válvula - botella) de mayor diámetro se podría tener un mayor caudal, lo cual ocasionaría que el tiempo de llenado se reduciría y por consecuencia el proceso completo también. Para dar una idea más clara se ilustra un link en donde se muestra el proceso del llenado de un líquido en botellas de 600 ml:

[http://www.youtube.com/watch?v=Os6tZ4yE\\_qk&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=Os6tZ4yE_qk&feature=related).

Por lo tanto se considera que el tiempo estimado sería de 20 segundos para todo el proceso completo y su simulación financiera quedaría de la siguiente manera:

$3,600 \text{ segundos} / 20 \text{ segundos} = 180 \text{ botellas por hora}$

$\$ 0.75 \text{ pesos por botella/hora (salario)} / 180 \text{ botellas por hora} = \$0.0041$

$\$32,470.00 \text{ (inversión)} / (\$0.1052 - \$0.0041) = 321,167 \text{ botellas}$

$321,167 \text{ botellas} / 1,440 \text{ botellas por día} = 223 \text{ días para recuperar la inversión.}$

$223 \text{ días} / 350 \text{ días} = 6 \text{ meses para recuperar la inversión.}$

---

## CAPÍTULO 5

## RESULTADOS

Una vez que se realizó la simulación, se procederá a hacer un análisis comparativo para verificar cuales fueron las mejoras obtenidas así como identificar si se cumplieron los objetivos que anteriormente se definieron.

Como objetivo general se definió: simular la automatización del proceso de llenado y tapado de la empresa “La Gran Michoacana”. Para esta simulación se obtuvieron los siguientes resultados.

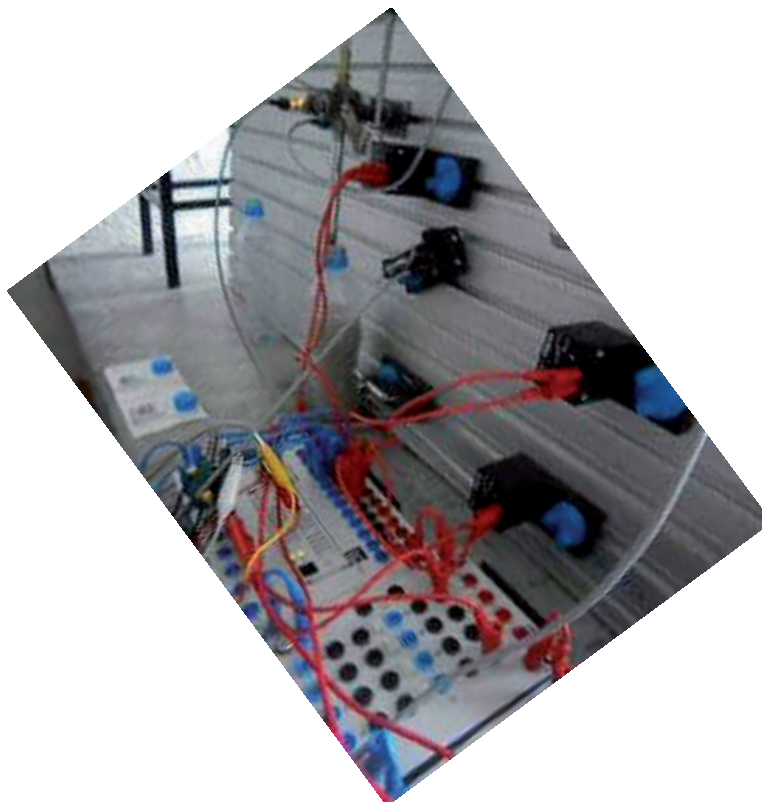


Figura 5.1 Automatización del proceso de llenado

La figura 5.1 nos muestra como se llena la botella de agua automáticamente. Una vez que el sensor óptico de posición se active, el actuador A saldrá en su inicio de carrera y abrirá la válvula de llenado, posteriormente ya que la botella contenga la cantidad exacta de agua, el sensor óptico de llenado se activará y hará que el actuador se regrese para cerrar al mismo tiempo la válvula de llenado.

---

De ésta manera se está automatizando el proceso de llenado ya que no interviene ningún factor humano. Todo se realizar por medio de organismos mecanizados.

El segundo proceso automatizado es muy similar al primero, ya que utiliza los mismos elementos para su funcionamiento.

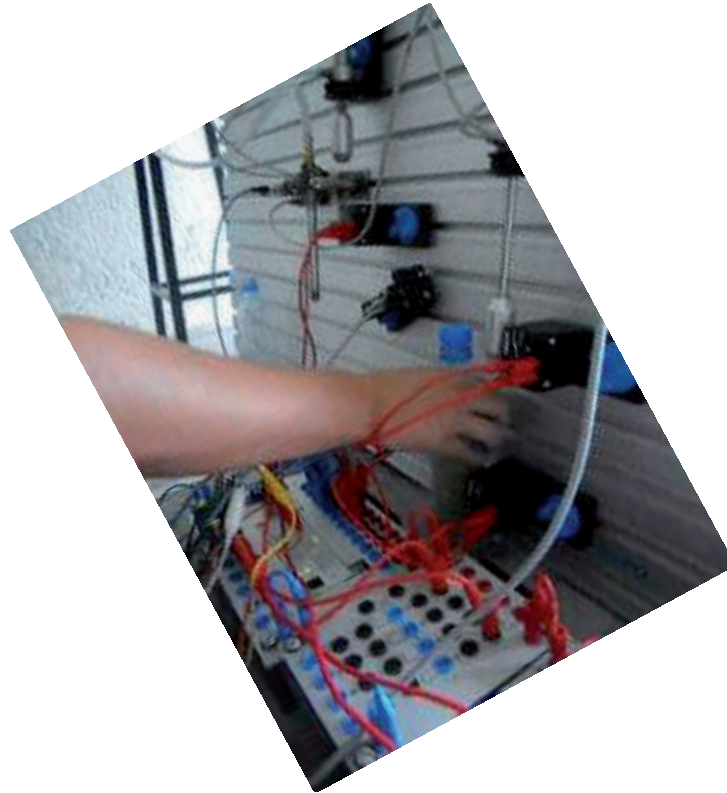


Figura 5.2 Automatización del proceso de tapado

La botella activará el sensor óptico de posición, posteriormente el actuador saldrá y tapaná la botella, inmediatamente éste se regresará a su posición inicial una vez que el sensor final de B se haya activado. De ésta forma se elimina el esfuerzo que existe en hacer girar la tapa rosca para que la botella sea tapada. Por lo tanto también se está automatizando al igual que el proceso anterior.

Con los elementos y procedimientos que se manejaron se pudo crear un proceso automático continuo. Añadiendo la aplicación del contador así como la simulación de la banda transportadora para el embotellado de aguas de sabor en envases de 600 ml en donde sus beneficios de cada proceso se describen a continuación:



1.- Proceso de Llenado: para el proceso de llenado se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.1 Análisis comparativo del proceso de llenado

Análisis Comparativo de Resultados			
Descripción de la Actividad	Metodo	Simbolo	Tiempo (seg)
Vaciar Agua en botella	Actual		25.38
Llenado de Agua	Propuesto		16.33
Diferencia	-----	-----	9.05
Eficiencia actual/propuesto	-----	-----	55%

Como se puede apreciar en la tabla 5.1, se logra reducir el tiempo en el llenado de la botella, lo cual da lugar a que el método propuesto sea un 55% más eficiente que el método actual.

2.- Proceso de Tapado: para el proceso de tapado se obtuvieron los siguientes resultados:



Tabla 5.2 Análisis comparativo del proceso de tapado

Análisis Comparativo de Resultados			
Descripción de la Actividad	Metodo	Simbolo	Tiempo (seg)
Tapar Botella	Actual		4.25
Tapado de Botella	Propuesto		1.24
Diferencia	-----	-----	3.01
Eficiencia actual/propuesto	-----	-----	243%

Para éste proceso también se logra reducir los tiempos, dando como resultado un incremento en la eficiencia del 243% del proceso propuesto sobre el actual.

A continuación se hará el análisis comparativo del ciclo completo incluyendo el etiquetado, para que de ésta forma se pueda determinar la capacidad de producción en una jornada laboral.

Tabla 5.3 Análisis comparativo del proceso completo

Análisis Comparativo de Resultados			
Descripción de la Actividad	Metodo	Simbolo	Tiempo (seg)
Embotellado y Etiquetado	Actual		50.52
Embotellado y Etiquetado	Propuesto		30
Diferencia	-----	-----	20.52
Eficiencia actual/propuesto	-----	-----	68%

Para el proceso completo de embotellado, en donde intervienen los dos procesos anteriores, en los cuales hubo una reducción de tiempos así como un incremento en la producción. Para éste proceso completo se añade el etiquetado, en donde los tiempos completos finales se muestran en la figura 5.9, por consecuente hay una reducción en todo el ciclo completo correspondiente al método actual / propuesto. En el cual existe un incremento en la producción del 68%.

Éste incremento nos va a permitir llegar a producir hasta 960 botellas en una jornada de 8 horas.

Suponiendo que se trabaje una jornada laboral de 8 horas se tiene que:

8 horas corresponden a 28,800 segundos; si dividimos los 28,800 segundos que hay en una jornada laboral entre el tiempo de ciclo del embotellado, se tiene como resultado:

$$\text{Capacidad} = 28,800 \text{ seg} / 30 \text{ seg} = 960 \text{ botellas por día (8 horas)}$$

---

Una vez realizada la simulación en el proceso de embotellado se tendrá un incremento en la producción del 68% por encima del proceso actual, esto permitirá tener una mayor capacidad de producción así como de respuesta y sobre todo una mayor producción al hacer el uso adecuado y exacto de los recursos.

Para el caso de la productividad el cual es otro de los factores muy importantes para ésta tesina y para la Ingeniería Industrial, se logró tener un incremento en ésta de 1596%, ya que el costo (salario por botella) del método actual rebasa por mucho el costo del método propuesto. En donde se tiene que:

Método Actual	= \$0.1052 por botella
Método propuesto	= \$0.0062 por botella
	<hr/>
	16.96

$$16.96 - 1 = 15.96 \times 100 = 1596 \%$$

Otros de los aspectos importantes que se obtuvieron, fue en el incremento de la calidad, ya que el sensor óptico va a permitir que las botellas se llenen con la misma cantidad exacta de agua.

Esta simulación permitió un estándar y un incremento en la calidad. Al mismo tiempo en que las botellas fueron llenadas con la misma cantidad de agua, se elimino el re trabajo, ya que no hubo necesidad de estar midiendo el nivel de agua. Esto a su vez permitió una reducción de tiempos.

---

Cantidad Exacta de Agua

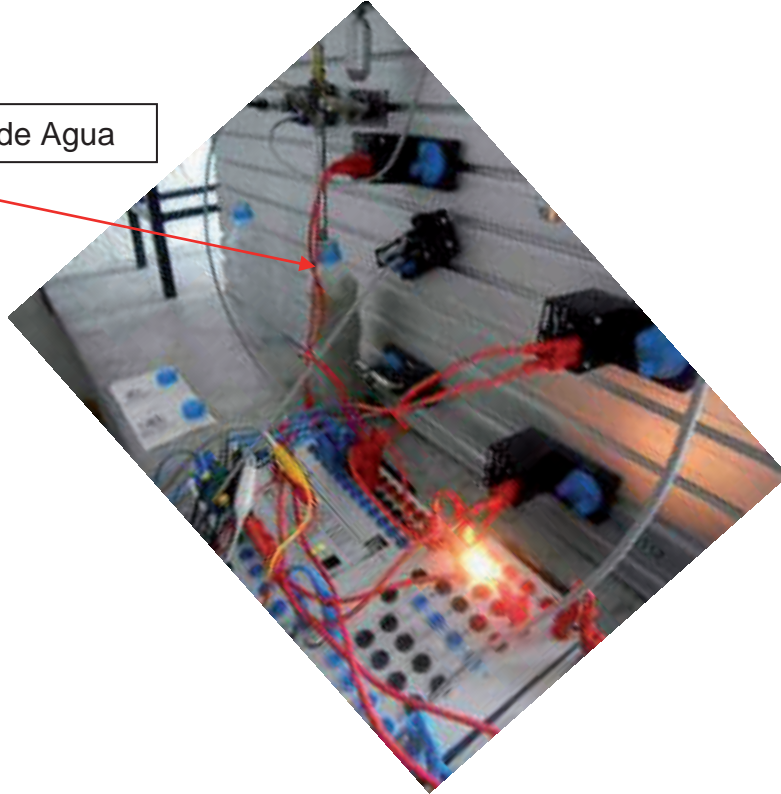


Figura 5.3 Calidad en el llenado

Un tema de gran importancia y que tiene participación en esta simulación es el de la higiene, ya que como no se tiene contacto directo con el hombre se reduce considerablemente algún tipo de contaminación. Ya que con los únicos elementos con los que el agua tiene contacto se encuentran perfectamente limpios.

Para el caso del periodo de amortización se tiene que:

$\$ 65,051.09$  (inversión) /  $(\$0.1052 - \$0.0062) = 657, 082$  botellas.

$657,082$  botellas /  $960$  botellas por día =  $684$  días para recuperar la inversión.

$684$  días /  $350$  días =  $1.95$  años para recuperar la inversión.

Esta inversión se podría reducir considerablemente a un aproximado de 6 meses si se llevara a cabo la segunda propuesta.

Los resultados obtenidos en la simulación, nos muestra que en ambos procesos se logró reducir los tiempos, se obtuvo una mayor producción y productividad, así como el cumplir con el objetivo general el cual fue: Simulación de Automatización del Procesos de llenado y tapado en envases de plástico de 600 ml para la empresa “La Gran Michoacana”. El cual se logro realizar de una manera automática y continua. Al ser realizada con éxito la automatización, se tienen los siguientes beneficios:

- a) Productividad: con el desarrollo y la aplicación de la automatización para ambos procesos se logró reducir los tiempos de cada uno así como el costo de mano de obra. Haciéndolos más eficientes para cada actividad como para el ciclo completo. De tal manera se producirán más botellas en menos tiempo.
- b) Eficiencia: se obtuvo una reducción en los tiempos así como un estándar en los mismos y el aumento de la calidad en el desarrollo del proceso. Se tendrá como resultado un proceso más eficiente, ya que se está haciendo un uso correcto y adecuado de los medios disponibles.
- c) Calidad: Al llenar las botellas con los elementos automáticos, la cantidad de agua será exactamente la misma para todas las botellas, por lo tanto se eliminará la variabilidad en el proceso y se contará con un proceso y producto de calidad.
- d) Higiene: el operario tiene un menor contacto con la botella, ya que este no tendrá que estar sosteniendo la botella en cada proceso, a su vez, mientras es llenada la botella no se tendrá derrames de ningún tipo. Haciendo este proceso más higiénico.

---

De ésta manera se concluye que la simulación de la automatización en el llenado y tapado con aguas de sabor en envases de 600 ml es una valiosa oportunidad, ya que como se mostro en la simulación, es un proyecto de fácil aplicación y operación, en donde no se necesitan grandes conocimientos para poderla operar. Además trae consigo múltiples beneficios que ya se mencionaron anteriormente.

En la actualidad se considera una herramienta indispensable para aumentar la competitividad de una empresa. Esto hace de la automatización una necesidad más que una ventaja.

Para poder llevar a cabo la implementación de esta, la inversión que se tiene que hacer es de \$65,051.09, el cual se recuperara en un periodo máximo a 1.9 años. El cual podrá reducirse conforme a la demanda aumente. Por lo tanto es una inversión costeable que se puede recuperar en poco tiempo.

---

## BIBLIOGRAFÍA

1. Guillen Salvador, A. (1998). Introducción a la neumática. España: MARCOMBO. Consultado de manera electrónica en febrero de 2010 y disponible en:  
[http://books.google.com.mx/books?id=x\\_ANfBeC6z8C&pg=PA113&dq=circuito+neumatico&cd=3#v=onepage&q=&f=false](http://books.google.com.mx/books?id=x_ANfBeC6z8C&pg=PA113&dq=circuito+neumatico&cd=3#v=onepage&q=&f=false).
2. IPN [Instituto Politécnico Nacional]. (2008). Consultado en febrero del 2010 y disponible en:  
<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/1687/1/TESIS%20ISRAEL%20LOPEZ%20RUEDA.pdf>
3. IPN [Instituto Politécnico Nacional]. (2009). Consultado en febrero del 2010 y disponible en:  
<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/2964/1/AUTOMATIZACIONDEBLOQUES.pdf>
4. SSA [Secretaría de Salud Pública]. (2010). Higiene en los alimentos. Consultado en febrero de 2010 y disponible en:  
[http://www.emexico.gob.mx/wb2/eMex/eMex\\_Higiene\\_en\\_alimentos](http://www.emexico.gob.mx/wb2/eMex/eMex_Higiene_en_alimentos).
5. INDUSTRIA ALIMENTICIA. (2010). Tecnología de procesos. Consultado en febrero del 2010 y disponible en:  
[http://www.industriaalimenticia.com/Articles/Tecnologia\\_de\\_Procesos](http://www.industriaalimenticia.com/Articles/Tecnologia_de_Procesos)
6. Pérez Montiel, H. (2001). Física General. México: Cultural.
7. L. Streeter, V. (2000). Mecánica de Fluidos. México: Mc Graw Hill
8. Deppert, W. – Stoll, K. (1994). Dispositivos Neumáticos. España: MARCOMBO
9. FESTO DIDACTIC. (2000). Introducción en la Neumática. México. Manual de estudio. FESTO
10. Millán Salvador. (1999). Automatización Neumática y Electro-neumática. España: MARCOMBO. Consultado de manera electrónica en febrero del 2010 y disponible en:

---

[http://books.google.com.mx/books?id=pC\\_VJpPEMJ4C&printsec=frontcover&dq=automatizacion&cd=1#v=onepage&q=automatizacion&f=false](http://books.google.com.mx/books?id=pC_VJpPEMJ4C&printsec=frontcover&dq=automatizacion&cd=1#v=onepage&q=automatizacion&f=false)

11. Gea José Manuel (19998). Circuitos Básicos de Ciclos Neumáticos y Electro-neumáticos. España: MARCOMBO. Consultado de manera electrónica en febrero del 2010 y disponible en:

<http://books.google.com.mx/books?id=57TaED7Qxw0C&printsec=frontcover&dq=circuito+basicos+de+ciclos+neumaticos&cd=1#v=onepage&q=&f=false>

12. De las Heras Jiménez, S. (2003). Instalaciones Neumáticas. España: UOC. Consultado de manera electrónica en febrero del 2010 y disponible en:

[http://books.google.com.mx/books?id=ls\\_kU\\_7R7sEC&pg=PA46&dq=red+distribucion+neum%C3%A1tica&cd=1#v=onepage&q=&f=false](http://books.google.com.mx/books?id=ls_kU_7R7sEC&pg=PA46&dq=red+distribucion+neum%C3%A1tica&cd=1#v=onepage&q=&f=false)

13. Enríquez Harper. (2004). Fundamentos de Controles de Motores Eléctricos en la Industria. México: LIMUSA. Consultado de manera electrónica en febrero del 2010 y disponible en:

<http://books.google.com.mx/books?id=2Rg550as3qAC&pg=PA22&dq=diagrama+de+escalera&cd=1#v=onepage&q=diagrama%20de%20escalera&f=false>

14. FESTO DIDACTIC (1992). Introducción a la técnica neumática de mando. Manual de estudio de FESTO.

15. FESTO DIDACTIC (1999). Controles Lógicos Programables. Manual de Trabajo de FESTO.

16. FESTO DIDACTIC (1997). Neumática. Manual de Trabajo de FESTO.

17. Definición de productividad. Consultado de manera electrónica y disponible en:

<http://ingenieriametodos.blogspot.com/2008/06/definicion-de-productividad.html>

18. Válvulas de control de flujo. Consultado de manera electrónica en agosto del 2010 y disponible en:

[http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula\\_de\\_bola](http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula_de_bola)



---

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Figura 2.1	Diagrama de bloques de un sistema automatizado	14
2.	Figura 2.2	Diferencia de presiones	21
3.	Figura 2.3	Volumen de un gas	22
4.	Figura 2.4	Circuito neumático básico	23
5.	Figura 2.5	Distribución de aire comprimido	25
6.	Figura 2.6	Deposito de aire comprimido	26
7.	Figura 2.7	Elementos de un deposito	27
8.	Figura 2.8	Red de distribución	28
9.	Figura 3.1	Cilindro doble efecto	37
10.	Figura 3.2	Sensor óptico	38
11.	Figura 3.3	Válvula 5/2 vías	39
12.	Figura 3.4	Válvula 3/2 vías con rodillo	40
13.	Figura 3.5	Programa de interface	41
14.	Figura 3.6	Caja botonera	42
15.	Figura 3.7	Unidad de indicación	43
16.	Figura 4.1	Elementos del proceso actual	45
17.	Figura 4.2	Proceso actual de llenado	45
18.	Figura 4.3	Proceso actual de tapado	46
19.	Figura 4.4	Proceso actual de etiquetado	46
20.	Figura 4.5	Diagrama de flujo del proceso actual	47
21.	Figura 4.6	Simulación neumática completa	50
22.	Figura 4.7	Simulación del proceso de llenado	51
23.	Figura 4.8	Simulación del proceso de tapado	52
24.	Figura 4.9	Simulación electroneumática completa	53
25.	Figura 4.10	Simulación electroneumática del proceso de llenado	54
26.	Figura 4.11	Simulación electroneumática del proceso de tapado	56
27.	Figura 4.12	Diagrama espacio-fase	58
28.	Figura 4.13	Elementos de la simulación	64
29.	Figura 5.1	Automatización del proceso de llenado	70
30.	Figura 5.2	Automatización del proceso de tapado	71

---

## ÍNDICE DE TABLAS

1.	Tabla 2.1	Estructura de niveles neumáticos.....	23
2.	Tabla 3.1	Datos técnicos del cilindro doble efecto .....	37
3.	Tabla 3.2	Datos técnicos del sensor óptico .....	38
4.	Tabla 3.3	Datos técnicos de la válvula 5/2 vías .....	39
5.	Tabla 3.4	Datos técnicos de la válvula 3/2 vías .....	40
6.	Tabla 3.5	Datos técnicos de la caja botonera .....	42
7.	Tabla 3.6	Datos técnicos de la unidad de indicación .....	43
8.	Tabla 4.1	Análisis del diagrama de flujo .....	48
9.	Tabla 4.2	Inversión .....	68
10.	Tabla 5.1	Análisis comparativo del proceso de llenado .....	72
11.	Tabla 5.2	Análisis comparativo del proceso de tapado .....	72
12.	Tabla 5.3	Análisis comparativo del proceso completo .....	73

---

## ÍNDICE DE FORMULAS

1. Fórmula 2.1 Presión .....	18
2. Fórmula 2.2 Presión hidrostática.....	19
3. Fórmula 2.3 Caudal .....	21
4. Fórmula 2.4 Ley de Boyle.....	22
5. Fórmula 2.5 Productividad .....	35