

ENVASADORA DE MIEL USANDO PLC

**PEDRO EMMANUEL PLATA LEÓN
LILIANA MARGARITA RODRÍGUEZ TORRES**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN**

2010

ENVASADORA DE MIEL USANDO PLC

**PEDRO EMMANUEL PLATA LEÓN
LILIANA MARGARITA RODRÍGUEZ TORRES**

PROYECTO DE GRADO

**DIRECTOR DEL PROYECTO
MSc. ALONSO RETAMOSO LLAMAS
INGENIERO ELECTRISITA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN**

2010

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y fortaleza en todos los pasos que he recorrido en mi vida.

A mi familia, ellos que son el motivo de mi mayor orgullo y mi ejemplo a seguir.

A todas aquellas personas que depositaron su confianza en mí y aportaron de una manera u otra en el desarrollo de este proyecto.

Este logro personal es de ustedes.

PEDRO E. PLATA LEÓN

DEDICATORIA

A Dios por el regalo de la vida y por permitirme aprender algo de cada obstáculo encontrado y de cada éxito obtenido y por brindarme la fuerza para seguir adelante aun en los momentos más difíciles.

A mis padres Lilia y Rafael por su incondicional apoyo durante mis años de formación, por su gran ejemplo de vida y por sobre todo por el amor que me brindan en cada paso de mi vida que me ha permitido convertirme en la persona que soy hoy.

A mis sobrinos Liliam y Juan José por ser la razón de mi alegría, e iluminar todos los días de mi existencia.

A mi hermano Javier por la compañía en el camino de la vida y por las lecciones que juntos hemos recibido en nuestro transitar por el mundo.

LILIANA MARGARITA RODRÍGUEZ TORRES

AGRADECIMIENTOS

A los ingenieros Alonso Retamoso, Juan Carlos Villamizar y Juan Carlos Mantilla por su incondicional apoyo, orientación y aportes fundamentales en el desarrollo de este proyecto de grado.

A nuestros compañeros de carrera Bernardo, Jaime e Iván por su colaboración directa en la elaboración de este prototipo.

A Marian, por sus contribuciones en el costeo presupuestal y balance financiero de este proyecto.

A los empleados de mantenimiento de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, por su ayuda en las correcciones mecánicas que fueron necesarias.

A industrias Partmeccs, por la construcción del diseño mecánico empleado.

A la empresa Agropecuaria Vallenata, por la confianza depositada y apoyo económico en el desarrollo del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MATERIA PRIMA

2.1.1 DEFINICIÓN

2.1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA

2.1.3 PROPIEDADES FÍSICAS

2.1.4 CLASIFICACIÓN

2.1.5 REQUISITOS PARA EL CONSUMO HUMANO

2.1.5.1 REQUERIMIENTOS FISICOQUÍMICOS

2.1.5.2 PARAMETROS PARA EL CONSUMO

2.1.6 PROCESO DE BENEFICIO DE LA MIEL

2.1.7 NORMATIVIDAD SANITARIA

2.1.8 LA APICULTURA EN COLOMBIA

2.2 AUTOMATIZACIÓN

2.3 INSTRUMENTACIÓN

2.3.1 COMPRESOR

2.3.1.1 COMPRESOR DE ÉMBOLO

2.3.2 CILINDRO NEUMÁTICO

2.3.2.1 CILINDROS DE SIMPLE EFECTO

2.3.2.2 CILINDROS DE DOBLE EFECTO

2.3.3 ELECTROVÁLVULAS

2.3.3.1 ELECTROVÁLVULAS 5/2

2.3.4 SENSORES

2.3.4.1 SENSORES DE PROXIMIDAD

2.3.4.1.1 SENSOR MAGNÉTICO

2.3.4.1.2 SENSOR CAPACITIVO

2.3.5 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

2.3.5.1 BOMBAS DE ÉMBOLO

2.3.6 VÁLVULAS

- 2.3.6.1 VÁLVULAS CHECK O VÁLVULAS DE RETENCIÓN
- 2.4 PLC
- 2.5 TWIDO SUITE
- 2.6 ENVASES PET
- 3. DISEÑO Y COSNTRUCCIÓN DE UNA ENVASADORA DE MIEL
USANDO PLC
- 3.1 DISEÑO NEUMÁTICO Y MECÁNICO
- 3.1.1 MÓDULO DE ALMACENAMIENTO
- 3.1.2 MODULO DE DESPLAZAMIENTO
- 3.1.3 MÓDULO DE DOSIFICACIÓN
- 3.2 DISEÑO ELECTRICO
- 3.3 ETAPA DE PROGRAMACIÓN
- 3.4 ETAPA DE SUPERVISIÓN
- 4. RESULTADOS OBTENIDOS
- 5. ASPECTO FINANCIERO
- 6. RECOMENDACIONES
- CONCLUSIONES
- REFERENCIAS
- BIBLIOGRAFIA
- ANEXOS

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Propiedades químicas de 490 muestras de miel de abejas.
- Tabla 2. Conductividad térmica de la miel de abejas
- Tabla 3. Clasificación de la miel de abejas.
- Tabla 4. Requisitos fisicoquímicos de la miel de abejas
- Tabla 5. Especificaciones técnicas del PLC TWDLC4E40DRF
- Tabla 6. Lenguaje de programación gráfico
- Tabla 7. Relación de conexiones I/O del PLC
- Tabla 8. Costos de la materia prima del prototipo
- Tabla 9. Costos indirectos de fabricación del prototipo
- Tabla 10. Costos de mano de obra
- Tabla 11. Costo del prototipo
- Tabla 12. Costos materia prima equipo dosificador de miel
- Tabla 13. Costo total equipo dosificador de miel
- Tabla 14. Costos materia prima envasadora de miel
- Tabla 15. Costo total envasadora de miel
- Tabla 16. Presupuesto de ventas
- Tabla 17. Presupuesto de producción
- Tabla 18. Presupuesto de requerimientos de materia prima
- Tabla 19. Presupuesto de mano de obra
- Tabla 20. Presupuesto de costos indirectos de fabricación
- Tabla 21. Estado de costos
- Tabla 22. Estado de resultados

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Colmena Langstroth
- Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de la miel.
- Figura 3. Planta Envasadora De Miel
- Figura 4. Equipo dosificador semi-automático para productos pastosos.
- Figura 5. Envasadora de Miel Automatizada
- Figura 6. Compresores
- Figura 7. Esquema de un compresor de émbolo
- Figura 8. Cilindros neumáticos
- Figura 9. Partes del cilindro de simple efecto
- Figura 10. Secuencia de funcionamiento de cilindro se simple efecto
- Figura 11. Simbología cilindro de simple efecto
- Figura 12. Cilindro de doble efecto
- Figura 13. Secuencia de funcionamiento de cilindros de doble efecto
- Figura 14. Simbología de un cilindro de doble efecto
- Figura 15. Electroválvulas
- Figura 16. Construcción interna electroválvula 5/2
- Figura 17. Funcionamiento electroválvula 5/2
- Figura 18. Simbología Electroválvula 5/2
- Figura 19. Sensor magnético
- Figura 20. Ubicación y accionamiento de sensores magnéticos con un cilindro neumático
- Figura 21. Partes y funcionamiento de sensor de proximidad capacitivo
- Figura 22. Funcionamiento de la bomba de émbolo
- Figura 23. Modelos de algunas válvulas
- Figura 24. Válvulas Check o de retención
- Figura 25 Diagrama de bloques del PLC
- Figura 26. Modo de acceso a Twido Suite
- Figura 27. Opciones de uso del Twido Suite
- Figura 28. Creación de un nuevo proyecto
- Figura 29. Asignación de nombre y dirección de almacenamiento de un proyecto
- Figura 30. Asignación de dirección IP
- Figura 31. Pantalla de programación

- Figura 32. Configuración de la comunicación
- Figura 33. Transferencia del programa al PLC
- Figura 34. Estructura del PET
- Figura 35. Diagrama de módulos y componentes
- Figura 36. Tolva y Acople
- Figura 37. Base de desplazamiento
- Figura 38. Soportes de madera para los cilindros.
- Figura 39. Cilindro con acople y sensor magnético.
- Figura 40. Cilindro (C1) con el sensor magnético (S1).
- Figura 41. Cilindro neumático (C2).
- Figura 42. Abrazadera.
- Figura 43. Cilindro (C4) con sensores (S7, S8).
- Figura 44. Cilindro (C3) acoplado al pistón dosificador
- Figura 45. Válvula en duralón.
- Figura 46. Sistema anti-goteo.
- Figura 47. Acople entre cilindro y pistón dosificador.
- Figura 48. Cilindro dosificador con S5 y S6.
- Figura 49. Sistema de control.
- Figura 50. Sensor magnético para la detección del émbolo en un cilindro neumático.
- Figura 51. Diagrama de flujo del funcionamiento del prototipo.

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que debe cumplir la Miel de Abejas para consumo humano promulgado por el Ministerio de Protección Social en Colombia.

ANEXO B: Acuerdo sectorial de competitividad de la cadena productiva de las abejas y la apicultura – CPAA, promulgado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en Colombia.

ANEXO C: Características del cilindro neumático con carrera de 25 cm.

ANEXO D: Características del sensor magnético.

ANEXO E: Características del sensor capacitivo.

ANEXO F: Características de las electroválvulas.

ANEXO G: Características del cilindro neumático dosificador.

ANEXO H: Control de flujo de línea

ANEXO I: Racores

ANEXO J: silenciadores y control de flujo

ANEXO K: Twido Overview

ANEXO L: Planos envasadora

ANEXO M: Manual de Operación.

GLOSARIO

- **Apicultura:** Arte de criar abejas para aprovechar sus productos.
- **Hidroximetilfurfural:** HMF o 5-(hidroximetil) furfural es un aldehído y un furano formado durante la descomposición térmica de los glúcidos. El HMF se ha identificado en una variedad de alimentos procesados incluyendo leche, jugos de frutas.,-bebidas alcohólicas, miel, etc.
- **Higroscopicidad:** es la capacidad de los materiales para absorber la humedad atmosférica.
- **Alzas melarías:** es la cámara donde se acumula la miel en las colmenas móviles.
- **Desoperculado:** consiste en la remoción de los opérculos con los que las abejas han cerrado las celdas del panal una vez que la miel está madura en la colmena.
- **Sedimentación de la miel:** es el proceso mediante el cual se logra la separación de las partículas e impurezas presentes en la miel a través del reposo.
- **Duralón:** Nylon endurecido.
- **Inocuo:** Que no hace daño.
- **Acero inoxidable de grado alimentario:** Acero inoxidable al cromo níquel (tipo 304), aceptado para la fabricación de equipo y utensilios utilizados para la industria alimentaria.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TÍTULO: ENVASADORA DE MIEL USANDO PLC.

AUTOR(ES): PEDRO EMMANUEL PLATA LEÓN.

LILIANA MARGARITA RODRÍGUEZ TORRES.

FACULTAD: FACULTUD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA.

DIRECTOR: MsC ALONSO RETAMOSO LLAMAS.

RESUMEN

La ejecución de este proyecto dió como resultado una máquina envasadora controlada por un PLC. Además de envasar, el sistema desplaza unas botellas PET de capacidad 375 cc hasta un punto de llenado y luego las organiza para un proceso posterior como el tapado o etiquetado. El diseño y construcción de la máquina fue de forma modular, con el fin de garantizar su fácil entendimiento y que requiriera el mínimo esfuerzo al momento de realizar mantenimiento. Se utilizaron abrazaderas para asegurar los sensores magnéticos sobre los cilindros neumáticos. Estos sensores son los encargados de controlar la carrera de los vástagos, y en el caso específico del cilindro dosificador regulan el volumen del producto envasado en cada botella.

Se utilizó un PLC TWIDO cuyo software es de versión gratuita, y tiene 24 entradas y 16 salidas suficientes para abarcar las que necesita el sistema.

Además, se realizó un costeo financiero para observar la viabilidad económica del proyecto y un balance con una cotización en acero inoxidable de grado alimenticio por si se desea comercializar la máquina.

PALABRAS CLAVE: PLC, Miel de abejas, Sensores, Actuadores, Automatización

PROJECT SUMMARY

TITLE: ENVASADORA DE MIEL USANDO PLC

AUTHOR: PEDRO EMMANUEL PLATA LEÓN

LILIANA MARGARITA RODRÍGUEZ TORRES

FACULTY: ELECTRONIC ENGINEERING FACULTY

SUPERVISER: MsC ALONSO RETAMOSO LLAMAS

ABSTRACT

The development of this project resulted in a bottling machine controlled by a PLC. Besides the bottling process, the system moves PET bottles of 375 cc of capacity to the filling point and arranges them for further processing such as capping or labeling. The design and construction of the machine was made in a modular way in order to ensure easy understanding and minimizes the effort in maintenance labors. Clamps were used to secure the magnetic sensors to the pneumatic cylinders. These sensors regulate the rod strokes, and in the specific case of the cylinder dispenser the sensors regulate the volume dosification.

A TWIDO PLC was used with the free software that provides this PLC has 24 inputs and 16 outputs which are enough for the system requirements.

Also, a financial costing was made to monitor the economic viability of the project and a balance with a quote on food grade stainless steel for marketing purposes.

KEY WORDS: PLC, Honey, Sensors, Actuators, Automatization

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el trabajo de la apicultura es desarrollado por pequeñas familias productoras y distribuidoras o por algunas microempresas que siguen implementando sus procesos de producción en forma manual, lo que limita la cantidad de la materia procesada así como la calidad del producto obtenido.

La miel es un alimento puro, natural y susceptible a contaminarse, ya que durante su envasado interviene la mano del hombre [1]; lo que conlleva a los consumidores a ser cada vez más exigentes y requiriendo que el producto sea inocuo. Por esto a las pequeñas microempresas apicultoras les es muy difícil ingresar en el mercado extranjero.

Históricamente, los objetivos de la automatización han sido procurar la reducción de costos de fabricación, una calidad constante en los medios de producción, y liberar al ser humano de tareas tediosas, peligrosas e insalubres [2]. Este sistema de envasado de miel busca estandarizar la cantidad de producto por botella, así como una mayor producción en un tiempo determinado y aislar cualquier posible contacto humano con la miel en el momento de llenado, todo con el fin de aumentar la productividad del apicultor teniendo en cuenta las exigencias o normativas del mercado.

El proyecto nombrado “Envasadora de Miel usando PLC” logró crear un prototipo electromecánico cuya finalidad era mejorar el proceso de llenado de una empresa productora de miel. Para poder llevar a cabo este trabajo de grado, fue necesaria la documentación en conceptos de la miel como por ejemplo en sus características fisicoquímicas y su clasificación. Asimismo se analizó todo el proceso de extracción de la miel y toda la reglamentación sanitaria que esto conlleva.

Por último, se estudió el estado de la producción del mercado apícola colombiano y se indagó sobre las máquinas automatizadas utilizadas por los productores del país.

Para cumplir con los objetivos del proyecto, fue necesario diseñar, construir y programar un prototipo que cumpliera con las exigencias mecánicas y electrónicas que requiere envasar un producto pastoso o de alta viscosidad.

En la parte mecánica se enfatizó que el diseño fuera capaz de aumentar la velocidad de llenado sin que hubiera pérdidas o fugas en el proceso, además de evitar goteo excesivo en la salida del dispositivo luego de haber llenado la botella. Sin embargo, la densidad del producto hace que la fuerza necesaria para lograr el envasado sea considerablemente alta. Por lo tanto, fue necesaria la elaboración de unos soportes rígidos capaces de sostener la estructura construida y de esta manera hacer del diseño un prototipo modular que es fácil de desmontar en caso de mantenimiento.

Para programar el diseño mecánico, se optó por un PLC TWIDO ya que el software es de versión libre. Además, el lenguaje de programación facilita obtener los resultados esperados ya que la respuesta del controlador respecto a las entradas y salidas es rápida. Luego de la selección del PLC a utilizar, se tuvieron en cuenta los dispositivos necesarios para automatizar la máquina como lo fueron los cilindros neumáticos, sensores magnéticos y el sensor capacitivo.

Cabe resaltar que el material utilizado para construir el prototipo no es el permitido para el consumo humano, por lo tanto se hizo un análisis financiero donde se tuvo en cuenta una cotización en acero inoxidable de grado alimenticio para la construcción del dispositivo. El balance económico muestra una comparación de precios entre una máquina que solo dosifica y otra que, además de dosificar, desplaza botellas vacías y luego de ser llenadas las va organizando para su posterior sellado y etiquetado.

Por último, a este trabajo de grado, se le anexó un manual de usuario donde se especifica la puesta en marcha y correcto funcionamiento de la envasadora de miel, además se fijan los pasos a seguir para desmontarla cuando se necesite realizar mantenimiento. Lo anterior se ideó con el fin de darle una perspectiva comercial, y así dejé de ser un prototipo y se convierta en una máquina de la que en un futuro se puedan beneficiar económicamente.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Automatizar el proceso de llenado en una empresa productora de miel, con el fin de mejorar el proceso de envasado.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar un PLC como elemento controlador en el proceso de envasado de miel.
- Desarrollar un programa con el software del PLC para estandarizar la cantidad de miel por botella.
- Implementar un sistema dosificador que limite las pérdidas del producto en el momento de llenado.
- Desarrollar un sistema de supervisión del proceso de envasado con interfaz gráfica.
- Demostrar de manera tangible, que al automatizar el proceso de llenado la producción de la empresa por hora o por día es más eficiente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MATERIA PRIMA

El prototipo electromecánico desarrollado en este trabajo de grado tiene como objetivo principal el envasado de miel de abejas. A continuación, se profundizará en las características físicas, en la normatividad sanitaria y en otros ítems de este producto alimenticio.

2.1.1 Definición:

La miel de abejas es el producto principal generado por las abejas melíferas. Esta sustancia natural, alta en carbohidratos, presenta unas características físico-químicas muy particulares y solo es producida por abejas obreras a partir del néctar de las flores. Para formar la miel, las abejas recolectan transforman y combinan el néctar con sustancias propias para su posterior maduración y añejamiento al interior de la colmena.

2.1.2 Composición química:

Existen dos factores principales que determinan las propiedades químicas de la miel. El primer factor viene dado según la composición del néctar proveniente de las diversas especies de plantas. El segundo factor depende de condiciones externas como tipo del suelo, clima, manejo apícola y manejo posterior a la recolección de la miel. Teniendo en cuenta la variedad de clima, suelos, áreas geográficas y diferentes maneras del manejo del producto, se presenta una tabla de 490 muestras de miel de EUA con una serie de propiedades químicas:

Tabla 1. Propiedades químicas de 490 muestras de miel de abejas. [1]

Componente	Promedio	Desviación Estándar	Rango
Humedad	17.2	.5	13.4 - 22.9
Levulosa	38.2	2.1	27.2 - 44.3
Dextrosa	31.3	3.0	22.0 - 40.7
Sucrosa	1.3	0.9	0.2 - 7.6
Maltosa	7.3	2.1	2.7 - 16.0
Azúcares mayores	1.5	1.0	0.1 - 8.5
Acido libre (Glucónico)	0.43	0.16	0.13 - 0.92
Lactona (Gluconolactona)	0.14	0.07	0.0 - 0.37
Acido total (Glucónico)	0.57	0.20	0.17 - 1.17
Cenizas	0.169	0.15	0.02 - 0.028
Nitrógeno	0.041	0.026	0.00 - 0.133
pH	3.91		3.42 - 6.10
Diastasa	20.80	9.8	2.1 - 61.2

Al analizar la tabla anterior, se percibe que la miel está compuesta principalmente de azúcares, que son los que proporcionan características como: enzimas, granulación, valor energético, hidroximetilfurfural o HMF etc.

Los azúcares principales de la miel son la levulosa (fructosa) y la dextrosa (glucosa). De los otros azúcares, la sucrosa es importante con fines de calidad. Una muestra que presente sucrosa mayor del 8% indicaría adulteración del producto, por lo tanto sería impuro y evitaría que se pueda vender en el mercado.

El pH en la miel da una idea de la acidez presente en el producto, lo que va ligado directamente con el sabor que es resultado de la interacción de sustancias químicas pero ninguna da una nota ácida.

El néctar y la miel de por sí tienen muy poca cantidad y variedad de vitaminas. El contenido vitamínico de la miel está directamente relacionado con la cantidad de polen presente en la miel.

La cantidad de molécula HMF determina la frescura de la miel; cuanto mayor sea el contenido más años tendrá la miel.

2.1.3 Propiedades Físicas:

Desde el punto de vista físico, la miel es un producto acuoso que presenta propiedades propias de los azúcares como por ejemplo: color, densidad, viscosidad, higroscopicidad, entre otros.

La densidad de la miel varía según el contenido de agua, factor importante para determinar la calidad del producto. Para medir la densidad se utiliza un densímetro.

El factor de granulación se encuentra determinado según la cantidad de dextrosa que hay en la miel. Se considera importante la razón levulosa/dextrosa (L/D), donde a razones de 1.0 a 1.2 las mieles se cristalizan rápidamente. Si la razón es de más de 1.3 este proceso se retarda.

El color de la miel depende principalmente de su origen botánico, por lo que presenta una gran variedad de colores que van desde casi incolora hasta rojo ámbar o desde pardo claro hasta negro.

Para tener una idea de la conductividad termal o térmica de la miel se puede comparar con la del agua y se puede concluir que la miel es 14 veces peor conductor que el agua. A continuación, se muestra una tabla donde se relaciona el porcentaje de humedad presente en la miel con su conductividad térmica:

Tabla 2. Conductividad térmica de la miel de abejas [2]

Contenido de humedad (%)	Temperatura (C)	Cond. termal
21	2	118 $\times 10^{-8}$
	21	125
	49	132
	71	138
19	2	120
	21	126
	49	134
	71	140
17	2	121
	21	128
	49	136
	71	142
15	2	123
	21	129
	49	137
	71	143

2.1.4 Clasificación:

La miel de abejas se clasifica según su procedencia, por tanto:

Tabla 3. Clasificación de la miel de abejas [3]

Clasificación	Definición
<i>Miel monofloral</i>	Procede de una sola especie de planta y posee las características fisicoquímicas propias de las mieles de dicha planta.
<i>Miel multifloral</i>	Procede del néctar de varias especies vegetales.
<i>Miel de abejas nativas</i>	Producida por especies de abejas originarias del territorio Colombiano, no introducidas, no naturalizadas cuyas características sensoriales y fisicoquímicas son propias de las mieles de cada especie.
<i>Miel centrifugada</i>	Obtenida mediante la centrifugación de los panales desoperculados, sin larvas.
<i>Miel de néctar</i>	Procede del néctar de las plantas, producido por nectarios florales y/o extraflorales.
<i>Miel de mielada</i>	Proviene de las secreciones de las partes vivas de las plantas diferentes a las flores.
<i>Miel prensada</i>	Obtenida mediante la compresión de los panales, sin larvas, con o sin aplicación de calor moderado.

2.1.5 Requisitos para el consumo humano:

La miel debe cumplir con unos requisitos fisicoquímicos y unos parámetros para el consumo y así poder ser un producto alimenticio apto para el ser humano.

2.1.5.1 Requisitos Físicoquímicos:

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las propiedades físicoquímicas que debe presentar la miel de abejas según la ley colombiana:

Tabla 4. Requisitos físicoquímicos de la miel de abejas [4]

Requisitos	Valores permisibles
Sólidos insolubles en agua. %	≤ 0.1 para miel diferente a la prensada ≤ 0.5 para miel prensada
Contenido de humedad. % m/m	≤ 20 ≤ 21 para mieles de origen tropical
Contenido aparente de azúcar reductor, calculado como azúcar invertido. % m/m	≥ 60 (miel de mielato) ≥ 45 (miel floral)
Contenido aparente de sacarosa. % m/m	≤ 5 ≤ 10 para mieles de origen tropical
Contenido de sustancias minerales (cenizas). % m/m	≤ 0.6
Conductividad eléctrica (mS/cm)	≤ 0.8
Acidez libre. Meq. de ácido /1000g.	≤ 50
Índice de la diastasa (escala Shade)	≥ 8
Contenido de hidroximetilfurfural (HMF) mg/kg	≤ 40 ≤ 60 para mieles de origen tropical
Determinación de metales pesados (Cu, Cr, Cd, Pb, Hg)	Libre de metales pesados que puedan representar un daño en la salud humana. Niveles máximos establecidos por la Comisión del Codex alimentarius. MEDICAMENTOS VETERINARIOS

2.1.5.2 Parámetros para el consumo:

La miel de abejas debe cumplir con unos parámetros para poder ser consumida, como por ejemplo:

- No se debe usar tratamientos químicos en el proceso de producción, por lo tanto la miel no tendrá residuos de tratamientos químicos.
- La colmena debe estar libre de zonas de cultivo, al menos, en un radio de 2 K m a la redonda.

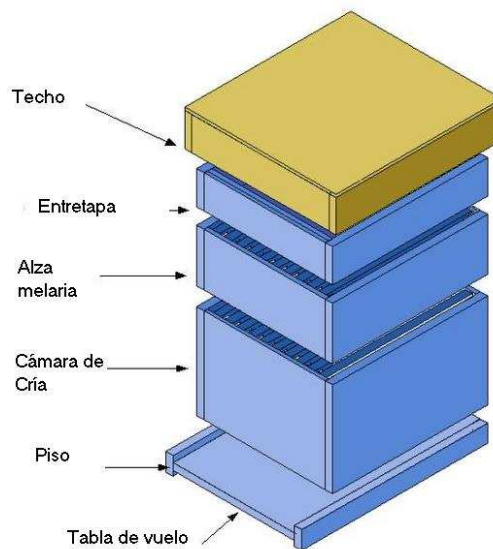
- No se puede alimentar artificialmente a las abejas, a excepción que se haga con miel.
- Las colmenas no se deben colocar en zonas cercanas a los núcleos de industrias, porque hay un nivel alto de plomo u otros residuos que pueden pasar a la miel y estos metales son muy peligrosos para la salud.

2.1.6 Proceso de beneficio de la Miel:

Para garantizar un producto natural de excelente calidad se deben llevar a cabo unas buenas prácticas de manufactura en cada una de las etapas del proceso de beneficio de la miel.

En la Figura 1 se observan las diferentes partes de una colmena móvil tipo Langstroth, lleva el nombre de su inventor Lorenzo Langstroth:

Figura 1. Colmena Langstroth [5]



El proceso de extracción de la miel comienza con la descarga y almacenamiento de las alzas melarias. Posterior a esto se inicia con

el desoperculado, donde la maquinaria y elementos a emplear deben estar fabricados con acero inoxidable de grado alimentario.

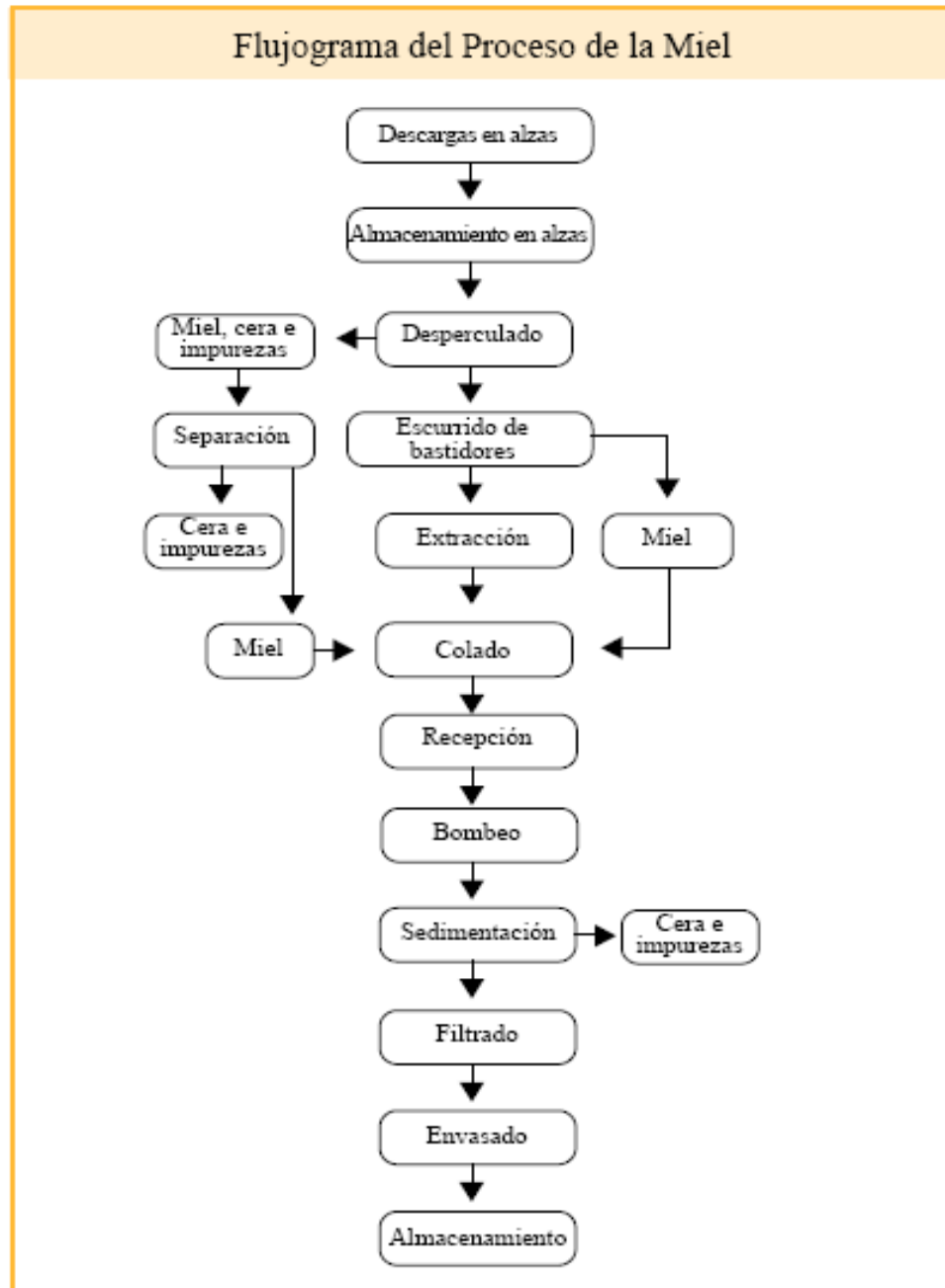
Ahora, se prosigue a hacer la separación miel-cera e impurezas y lo recomendable para esto es utilizar una centrifugadora que trabaje en frío. Para la etapa siguiente de extracción, se utiliza un extractor donde se depositan los bastidores desoperculados para extraer la miel por fuerza centrífuga.

Luego de ser extraído el producto se almacena en un tanque de recepción de miel pero antes debe ser colada para eliminar restos de cera u otras impurezas. Para pasar al siguiente paso de sedimentación de la miel, esta se bombeará por unas tuberías que no contaminen el producto hacia los tanques con tapa donde la miel se sedimentará.

Luego de la sedimentación, la miel debe ser filtrada con filtros que emplean mallas de acero inoxidable con abertura de 100 micras. Y finalmente la miel puede ser envasada en frascos para su comercialización o almacenada en tambores para su posterior venta.

Para un mejor entendimiento del proceso, las etapas se mostrarán en forma de diagrama de flujo (Figura 2).

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de la miel. [6]



2.1.7 Normatividad Sanitaria:

Por ser una sustancia que absorbe impurezas del ambiente más rápido que otros productos alimenticios, se requiere una serie de reglas o normas sanitarias en todos los aspectos relacionados en la producción de la miel, que garanticen que esta materia prima no generará ningún perjuicio al consumidor. Al ser la apicultura en Colombia una actividad agroindustrial relativamente reciente, la legislación legal lleva poco tiempo vigente, lo que conlleva a que no todos los apicultores ejerzan buenas prácticas en el proceso de beneficio de la miel. Sin embargo, la ley colombiana desde el 2008 emitió una resolución donde promulga una serie de normas que abarcan desde la instalación de las colmenas hasta la recolección y posterior almacenamiento de este producto alimenticio, además enfatiza las características fisicoquímicas que debe poseer la miel para poder ser consumida y vendida. (Ver anexo A). Por último, el gobierno colombiano, encabezado por el entonces ministro de agricultura Andrés Felipe Arias, firmó un acuerdo sectorial, de competitividad de la cadena productiva de las abejas y la apicultura, con representantes y entidades de apoyo del sector público y privado para incentivar la comercialización de este producto alimenticio. (Ver anexo B).

2.1.8 La Apicultura en Colombia

Colombia tiene un gran potencial apícola pero hasta ahora sólo una pequeña fracción se ha aprovechado, esto debido a la irregularidad del terreno o relieve, que dificulta el traslado e instalación de colmenas, y a factores como la seguridad en el territorio rural. En Colombia, no hay ninguna entidad que posea datos exactos de la cantidad de apicultores y colmenas existentes, es así como se estima que el país dispone entre 100.000 y 150.000 colmenas (las estadísticas disponibles en el Ministerio, correspondientes a los apiarios registrados, cobijan únicamente unas 35.000 colmenas) [1]. La falta de datos más precisos, hace que sea una tarea casi imposible saber la cantidad de miel que produce el país en un año.

Al igual que otros productos agrícolas la miel es consumida muy poco por los colombianos lo que limita la producción del apicultor, y casi que vuelve esta actividad en algo familiar; los apicultores que logran exportar esta materia prima son porque cuentan con un gran capital y con una infraestructura más o menos acorde a lo requerido.

Hasta hace pocos años, el gobierno ha empezado a implementar normas para legislar la actividad apícola como lo fue la resolución del 2008 firmada por el ministro de protección social Diego Palacio. Estas leyes han sido acompañadas por programas gubernamentales que tratan de impulsar la apicultura en el país, como la planta envasadora de miel de abejas de la Sierra Nevada de Santa Marta (figura 3) del programa familias guardabosques que fue impulsada por la Red Ecolsierra, una organización campesina comprometida con el desarrollo social y la erradicación de los cultivos de coca [2].

Figura 3. Planta envasadora de miel [7]



La mayoría de los apicultores no poseen una certificación de calidad o registro sanitario, lo cual hace que la comercialización del producto sea limitada solo a mercados rurales. Si un apicultor desea exportar, debe pensar en modificar y mejorar el proceso de llenado, ítem muy importante ya que automatizando la forma de envasar se puede asegurar una mayor velocidad de llenado así como una regularidad en

el volumen del producto empacado. Sin embargo, las máquinas utilizadas deben ser fabricadas en acero inoxidable de grado alimentario; las envasadoras en este material son importadas al país lo que genera un cargo extra en su valor. A continuación, se mostrarán algunos ejemplos:

- Este equipo dosificador (Figura 4) es importado por una empresa colombiana cuyo nombre es TECNOEMBALAJE Ltda. y su precio es \$3.900 dólares + IVA. Lo que demuestra un alto costo además este sistema no desplaza las botellas.

Figura 4. Equipo dosificador semi-automático para productos pastosos.
[8]



- Este sistema completo (figura 5) tiene limitantes como: primero restringe que las botellas sean circulares para el correcto funcionamiento de las mesas giratorias y segundo el precio es excesivamente alto, ya que supera los 5.000 € (Euros) más gastos de envío; este equipo es importado por Apinorte.

Figura 5. Envasadora de Miel Automatizada[9]



2.2 AUTOMATIZACIÓN

La automatización ha sido uno de los factores más influyentes en el desarrollo industrial pues al limitar parcial o totalmente la intervención humana en los procesos se obtienen grandes ventajas como:

- Reducción de costos de mano de obra.
- Uniformidad de la producción.
- Aumento de la productividad.
- Mayor control de la producción.
- Aumento de la calidad del producto final.

En los procesos de automatización hay tres partes principales:

- Elementos de entrada, a través de los cuales se envía la información del sistema a la unidad de procesamiento.
- Unidad central de procesamiento de la información.
- Elementos de salida, que transmiten la información de la unidad central a los elementos del sistema.

Cuando en los procesos de automatización se utilizan las propiedades del aire comprimido, al proceso de automatización se le llama automatización neumática; aquí por lo general las señales de salida son posiciones de cilindros neumáticos.

El uso de la energía neumática como fuente de potencia trae algunas ventajas ya que el aire comprimido es abundante, barato, fácil de almacenar y transformar, no contamina, ni presenta problemas de combustión al trabajar a temperaturas elevadas.

Por otra parte, los elementos neumáticos pueden manejar velocidades de trabajo elevadas; sin embargo para garantizar que la presión de trabajo sea constante la fuente de aire debe suministrar una presión superior a la requerida por los cilindros.

Los procesos de automatización industrial muchas veces combinan las propiedades de la electricidad y la neumática. La electricidad hace el control mientras la neumática hace el trabajo. A estos sistemas se les llama sistemas electroneumáticos y su característica principal es su capacidad de mover grandes cargas o hacer grandes fuerzas con pequeñas corrientes.

2.3 INSTRUMENTACIÓN

En todos los procesos industriales se requiere el control de magnitudes como presión, flujo, etcétera. El conjunto de elementos que se usan para la medición, control y registro de estas variables son lo que se definen como instrumentación. Por esto para garantizar un funcionamiento óptimo de un proceso industrial es fundamental el uso de una instrumentación idónea para cada proceso; para su selección se debe considerar además de los requerimientos técnicos otros factores como disponibilidad, relación uso costo y facilidad de manejo.

2.3.1 Compresor

Figura 6. Compresores [10]



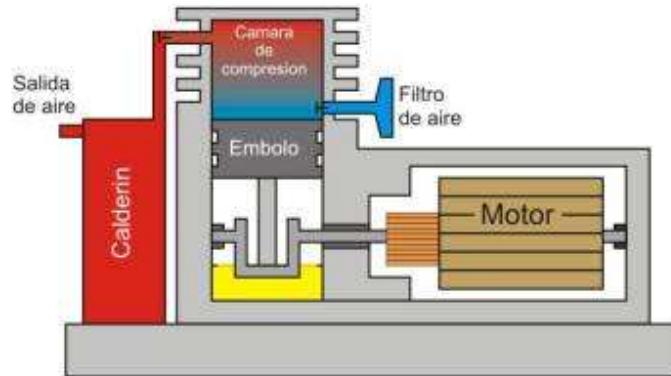
Es el elemento principal de una instalación neumática, su función es aspirar aire a presión atmosférica y comprimirlo a una presión más elevada. Según el tipo de ejecución los compresores se dividen en:

- Compresores de émbolo.
- Compresores rotativos.
- Compresores centrífugos.

2.3.1.1 Compresor de émbolo:

Es el tipo de compresor más frecuentemente utilizado, aquí la compresión se obtiene a través de uno o más cilindros en los que los émbolos comprimen el aire, según el número de cilindros empleados se llaman compresor de una, dos o más etapas.

Figura 7. Esquema de un compresor de émbolo [11]



En términos generales los compresores se construyen en las siguientes escalas:

- Presiones hasta 10 bar: compresores de una etapa.
- Presiones hasta 50 bar: compresores de dos etapas.
- Presiones hasta 250 bar: compresores de tres y cuatro etapas.

2.3.2 Cilindros Neumáticos.

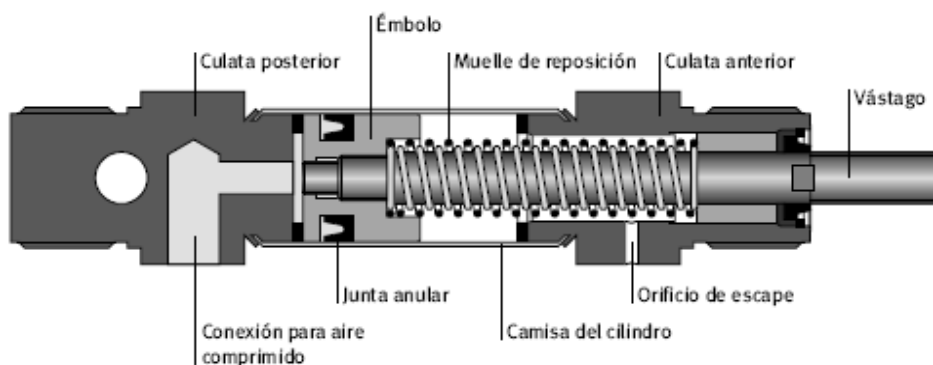
Figura 8. Cilindros neumáticos [12].



Los cilindros neumáticos son actuadores que transforman la energía neumática en trabajo mecánico de movimiento rectilíneo de vaivén. Los cilindros neumáticos se dividen en dos tipos:

2.3.2.1 Cilindros de simple efecto.

Figura 9. Partes del cilindro de simple efecto [13].



Los cilindros de simple efecto solo pueden realizar trabajo en una sola dirección, pues aquí el aire comprimido solo actúa sobre una de las caras del émbolo; el retorno de la carrera se realiza mediante un muelle recuperador o por la acción de fuerzas exteriores que actúan sobre el vástago del émbolo.

El muelle recuperador limita la carrera del cilindro y según su disposición el cilindro puede ser usado para compresión o tracción.

Figura 10. Secuencia de funcionamiento de cilindro de simple efecto [14].

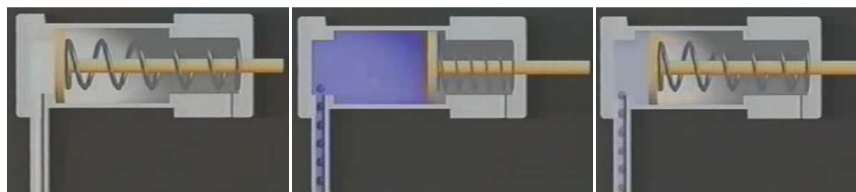
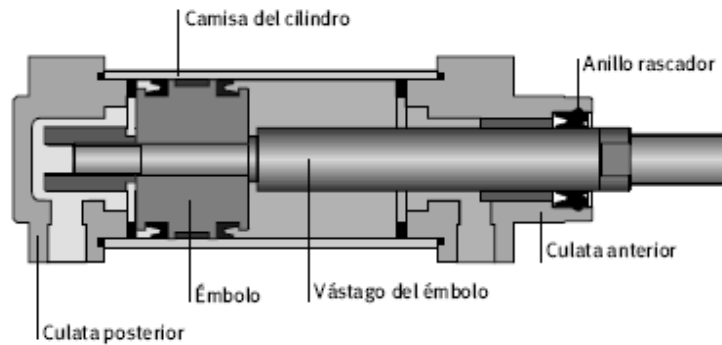


Figura 11. Símbolo del cilindro de simple efecto [13].



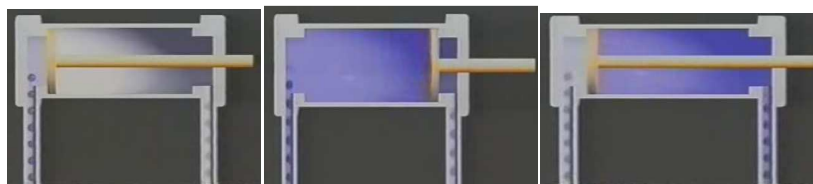
2.3.2.2 Cilindros de doble efecto.

Figura 12. Cilindro de doble efecto [13].



En los cilindros de doble efecto los movimientos de entrada y salida se realizan por el efecto del aire comprimido sobre las dos caras del émbolo por lo que pueden realizar trabajo en los dos sentidos del movimiento.

Figura 13. Secuencia de funcionamiento de cilindros de doble efecto [14].



El movimiento de avance se realiza al aplicar aire comprimido en la cámara posterior y comunicar la cámara anterior con la atmosfera a través de una válvula. El movimiento de retroceso se efectúa invirtiendo el proceso anterior.

La fuerza de avance es mayor que la de retroceso pues en el movimiento de retroceso la superficie del émbolo se reduce por la sección transversal del vástago, pero normalmente esto no supone ningún problema pues en la mayoría de procesos se requiere mayor fuerza de empuje que de retroceso.

Figura 14. Simbología de un cilindro de doble efecto [13].



2.3.3 Electroválvulas Neumáticas.

Figura 15. Electroválvulas [15].



Se emplean cuando la señal proviene de un temporizador eléctrico, un final de carrera eléctrico, presostatos o mandos electrónicos. En general, se elige el accionamiento eléctrico para mandos con distancias extremadamente largas y cortos tiempos de conexión.

Las electroválvulas o válvulas electromagnéticas se dividen en válvulas de mando directo o indirecto. Las de mando directo solamente se utilizan para un diámetro pequeño, puesto que para diámetros mayores, los electroimanes necesarios resultarían demasiado grandes.

Se encargan de convertir una señal eléctrica en una señal neumática. Se clasifican según el número de puertos de entrada o salida de aire que poseen y la cantidad de posiciones de control que tienen.

Las electroválvulas aprovechan la fuerza de un circuito magnético para abrir una pequeña válvula de forma que bloquean, liberan o desvían el flujo de aire de un sistema neumático.

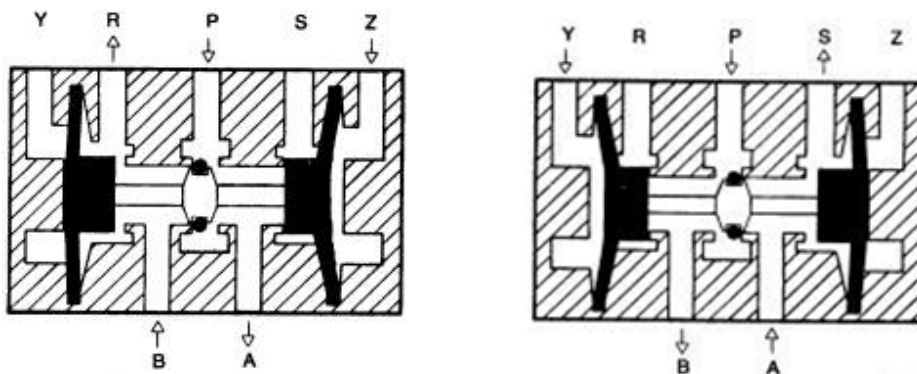
La mayoría de las electroválvulas tienen un botón de accionamiento manual, que permite operarla sin necesidad de conexiones eléctricas, esto resulta muy útil para labores de mantenimiento y comprobación del adecuado funcionamiento de los cilindros y de las electroválvulas.

2.3.3.1 Electroválvula 5/2.

Es una electroválvula con 5 puertos y que permite 2 posiciones. Son empleadas para cilindros de doble efecto.

Trabajan según el principio de funcionamiento de las válvulas de disco flotante. Se invierte alternativamente por aire comprimido y permanece en la posición correspondiente hasta que recibe un impulso inverso. Al recibir presión, el émbolo de mando se desplaza. En el centro del émbolo hay un disco con una junta anular, que une o separa los puertos de trabajo con la entrada de presión.

Figura 16. Construcción interna electroválvula 5/2 [16].



P: Presión, puerto de alimentación del aire comprimido.

A, B: Puertos de trabajo.

R, S: Puertos de evacuación del aire.

Y, Z: Puertos de monitoreo y control

Figura 17. Funcionamiento electroválvula 5/2 [16].

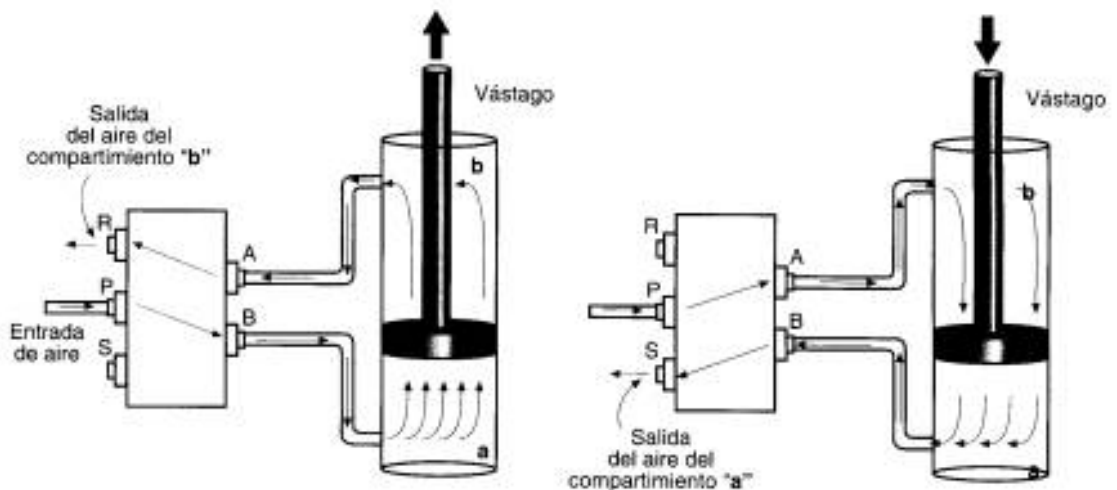
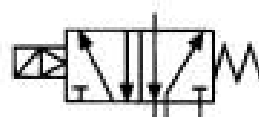


Figura 18. Símbolo Electroválvula 5/2 [16].



Válvula 5/2
simple bobina

2.3.4 Sensores

Un sensor es un dispositivo que transforma una señal física o química en una señal eléctrica. Según el tipo de magnitud física a detectar se puede establecer la siguiente clasificación:

- Posición lineal o angular.
- Desplazamiento o deformación.
- Velocidad lineal o angular.
- Aceleración.

- Fuerza y par.
- Presión.
- Caudal.
- Temperatura.
- Presencia o proximidad.
- Táctiles.
- Intensidad lumínica.
- Sistemas de visión artificial.

2.3.4.1 Sensores de proximidad.

El sensor de proximidad es un transductor que detecta objetos o señales que se encuentran cerca del elemento sensor. Existen varios tipos de sensores de proximidad según el principio físico que utilizan. Entre los sensores de proximidad se encuentran:

- Sensor capacitivo.
- Sensor inductivo.
- Sensor fin de carrera.
- Sensor infrarrojo.
- Sensor ultrasónico.
- Sensor magnético.

Estos sensores son especialmente utilizados en procesos de automatización industrial gracias a sus características de versatilidad, robustez, larga duración y uso extendido en una gran variedad de materiales.

2.3.4.1.1 Sensor magnético: Son sensores que necesitan de un campo magnético fuerte para activarse. Su construcción es muy sencilla, son interruptores elaborados en hierro u otro material magnético que en estado normal se encuentran abiertos y en estado de activación el campo magnético une la parte móvil con la fija. Físicamente tienen dos o tres terminales de conexión; cuando tienen dos terminales uno corresponde al terminal común y otro al normalmente abierto. El tercer terminal pertenece al contacto normalmente cerrado.

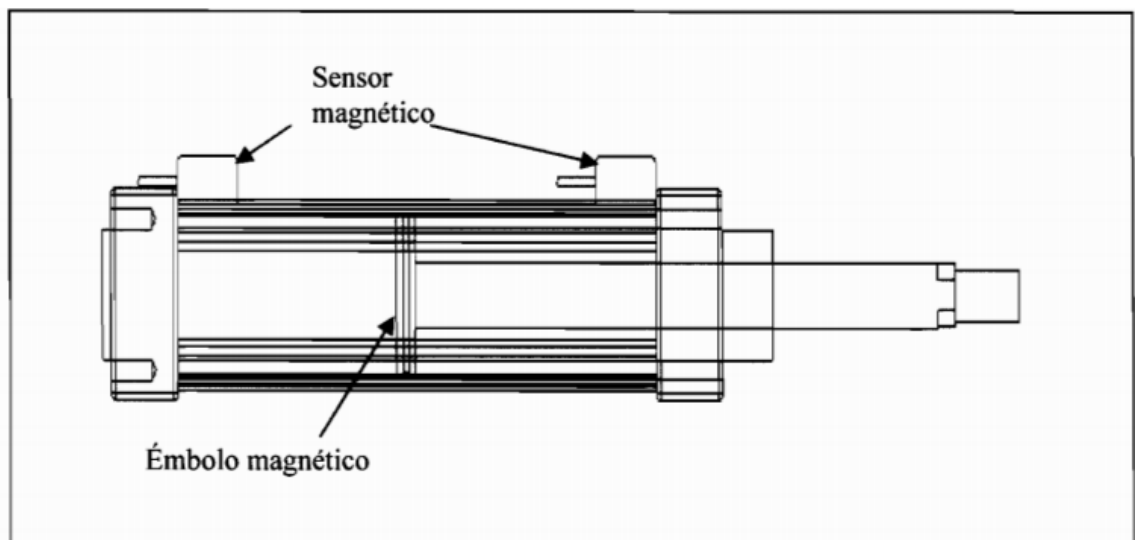
Figura 19. Sensor magnético [17].



Se caracterizan por ser compactos y la posibilidad de distancias grandes en la conmutación. Detectan los objetos magnéticos (imanes generalmente permanentes) que se utilizan para accionar el proceso de la conmutación. Los campos magnéticos pueden pasar a través de muchos materiales no magnéticos, el proceso de la conmutación se puede también accionar sin la necesidad de la exposición directa al objeto. Tiempos de conmutación entre 1 y 10ms.

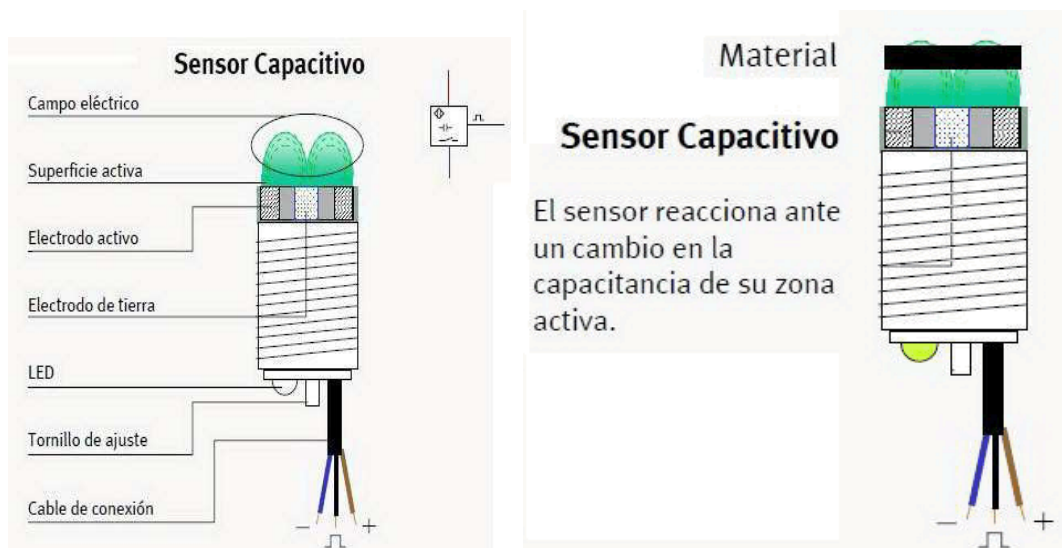
En los cilindros neumáticos los sensores se ubican en la parte superior del cilindro y detectan la posición del émbolo gracias a las características magnéticas del mismo de forma tal que se activan en presencia del émbolo y se desactivan cuando el mismo se aleja.

Figura 20. Ubicación y accionamiento de sensores magnéticos con un cilindro neumático [18].



2.3.4.1.2 Sensor capacitivo: Usan un capacitor de forma circular para detectar la presencia de un objeto. Un circuito oscilador se acopla al capacitor, cuando no hay un objeto cerca la capacitancia es baja y el oscilador trabaja a una baja frecuencia. En el caso de acercarse cualquier objeto que altere el campo eléctrico del capacitor este varía su capacitancia y a su vez la frecuencia haciendo que un circuito PLL cambie su nivel de tensión y accione un relé para indicar la activación del sensor. Cualquier material sólido, líquido, o gaseoso puede hacer activar el sensor.

Figura 21. Partes y funcionamiento de sensor de proximidad capacitivo [19].



Es especialmente útil para el manejo de elementos no metálicos ya que cualquier material puede cambiar la capacitancia de un condensador y dependiendo del sensor se puede graduar la sensibilidad respecto al objeto.

2.3.5 Bombas de desplazamiento positivo.

Estas bombas guían al fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria, el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un embolo, un aspa, entre otros y la carcasa o el cilindro. El movimiento del desplazamiento positivo consiste en el traslado de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara. De modo que el elemento que origina el intercambio de energía no tiene necesariamente

movimiento alternativo (émbolo), sino que puede tener movimiento rotatorio (rotor).

En las máquinas de desplazamiento positivo siempre hay una cámara que aumenta de volumen (succión) y disminuye volumen (impulsión), por esto a éstas máquinas también se les denomina volumétricas.

Las bombas positivas tienen la ventaja de que para poder trabajar no es necesario llenar previamente el tubo de succión y el cuerpo de la bomba para que ésta pueda iniciar su funcionamiento. En estas a medida que la bomba por sí misma va llenándose de líquido, éste va desalojando el aire contenido en la tubería de succión, iniciándose el escurrimiento a través del sistema cuando ha acabado de ser desalojado el aire.

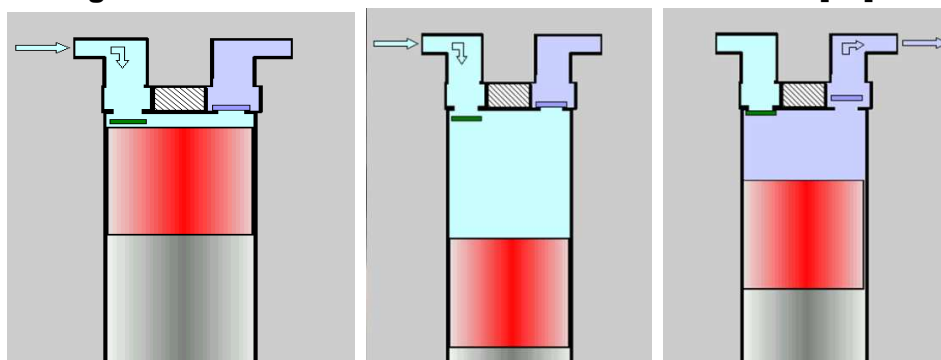
Existen varios tipos de bombas de desplazamiento positivo como:

- Bomba de émbolo.
- Bomba de engrane.
- Bomba de diafragma.
- Bomba de paletas.

2.3.5.1 Bomba de émbolo: En estas bombas el líquido es forzado por el movimiento de uno o más pistones ajustados a sus respectivos cilindros tal y como lo hace un compresor.

Dada la incompresibilidad de los líquidos no pueden funcionar con el conducto de salida cerrado, en tal caso se produciría o bien la rotura de la bomba, o se detendría completamente la fuente de movimiento.

Figura 22. Funcionamiento de la bomba de émbolo [20].



2.3.6 Válvulas.

Son dispositivos mecánicos los que pueden iniciar, detener o regular la circulación de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial o total uno o más conductos.

Figura 23. Modelos de algunas válvulas [21].



Una válvula es el último elemento en un lazo de control. Consta básicamente de dos partes: Cuerpo y actuador.

Obturador o actuador: Se encarga de realizar la función de control y puede funcionar moviéndose sobre su eje o con un movimiento de rotación. Puede ser neumático, eléctrico o hidráulico según su principio de funcionamiento.

Cuerpo de la válvula: Es donde se encuentran las partes internas de la válvula que están en contacto con el fluido, por lo que sus especificaciones de material y caudal deben ser cuidadosamente elegidas según el tipo de sustancia que va a operar la válvula y el caudal que deba manejar el proceso que va a controlar.

Las válvulas toman su nombre según el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador. Entre los tipos más comunes de válvulas están las de bola, globo, compuerta, entre otras.

2.3.6.1 Válvulas Check o válvulas de retención: Son válvulas unidireccionales y son usadas para no dejar regresar un fluido dentro de una línea; debe ser colocada correctamente para que realice su función usando el sentido de la circulación del flujo que es correcta. Por ejemplo cuando una bomba es cerrada para algún mantenimiento o simplemente la gravedad hace su labor de regresar los fluidos hacia abajo, esta válvula se cierra instantáneamente dejando pasar solo el flujo que corre hacia la dirección correcta. También se les llama válvulas de no retorno. Existen distintos tipos de válvulas Check:

- **Tipo columpio:** el fluido y su presión abren el disco hacia arriba y este regresa cuando deja pasar.
- **De resorte:** aquí el resorte hace que la válvula cierre inmediatamente cuando se detiene el flujo antes que el flujo y la gravedad hagan que cierre con fuerza.
- **Dúo check o de doble puerta:** también emplean un sistema de resortes para su cierre.
- **De elevación:** tiene un disco que se eleva con la presión normal de la tubería y se cierra por gravedad y la circulación inversa.

Se fabrican en materiales de acero al carbón fundido, forjado, acero inoxidable, bronce, hierro, fofo, PVC y CPVC. Pueden tener los extremos bridados, roscados, socket Weld (SW), tipo oblea para que sean instaladas en poco espacio y con poco peso (tipo Waffer).

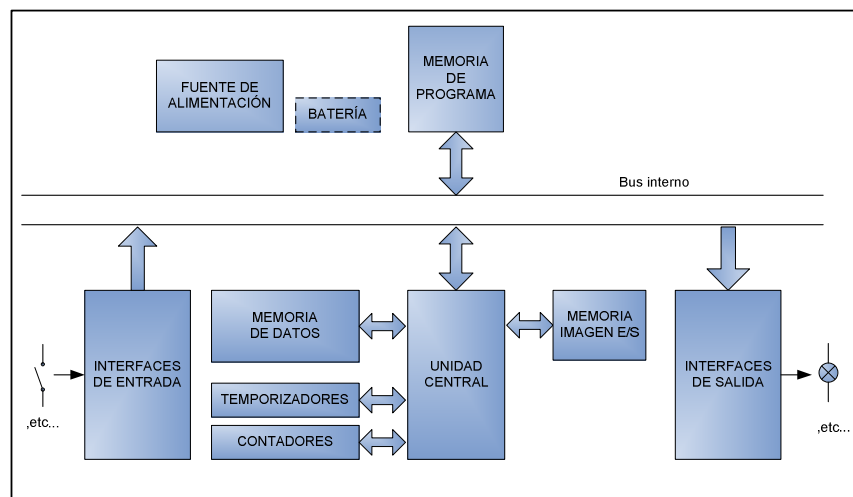
Figura 24. Válvulas Check o de retención [22].



2.4 PLC(CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE).

El PLC o autómatas programable industrial es un equipo electrónico de control que se basa en un programa interno, con el cual será definida la secuencia de acciones que serán realizadas según el requerimiento. Esta secuencia se ejercerá sobre las salidas del autómatas a partir del estado de sus señales de entrada.

Figura 25 Diagrama de bloques del PLC [23].



EL PLC está compuesto por:

El hardware: comprendido por la estructura mecánica del PLC. Para su funcionamiento el PLC debe contar con:

- Fuente de alimentación, se encarga de suministrar las corrientes continuas necesarias para que el autómatas pueda funcionar.
- CPU, es el cerebro operacional de todo el sistema ya que en este módulo se encuentra el microprocesador junto con los dispositivos utilizados para que éste realice su función.
- Interfaces de entrada y salida, tienen la tarea de establecer la comunicación del autómatas con la planta.

Algunas de las características principales que puede presentar este dispositivo se ilustran en la Tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones técnicas del PLC TWDLCAE40DRF [24].

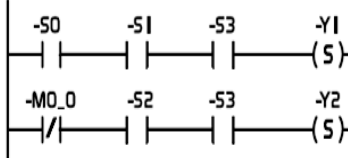
PLCs TWDLCAE40DRF	
Características del PLC.	
Entradas	24
Salidas	16
Tipo de entrada/salida	24 VCC Relé X 14 Transistores X 2 Puerto Ethernet
Fuente de alimentación	100/240 VCA
Configuraciones máximas de hardware.	
Puertos serie	2
Puerto Ethernet	1
Slots del cartucho	1
Tamaño máximo de aplicación/copia de seguridad (KB).	64
Cartucho de memoria opcional (KB).	32 ó 64
Cartucho RTC opcional	RTC integrado
Pantalla de operación opcional	Si
2º puerto serie opcional	Si
Módulo de interfase Ethernet opcional.	No
Aplicaciones de E/S binarias.	
Entradas binarias estándar	24
Salidas binarias estándar	16 (14 relés + 2 salidas de transistor).
Número máximo de módulos de ampliación de E/S (analógicas o binarias).	7
Máximo de entradas binarias(E/S del controlador + E/S de ampliación).	$24+(7 \times 32)=248$
Máximo de salidas binarias (E/S del controlador + E/S de ampliación).	$16 + (7 \times 32) = 240$
Número máximo de E/S digitales (E/S del controlador + E/S de ampliación).	$40 + (7 \times 32) = 264$

Número máximo de salidas de relé	14 (base) + 96 (ampliación).
Potenciómetros	2
Aplicaciones de E/S analógicas.	
Entradas analógicas integradas	0
Número máximo de E/S analógicas (E/S del controlador + E/S de ampl.)	56 de entrada/14 de salida
Módulos de comunicación.	
Número máximo de módulos de interfase del bus AS-Interface	2
Número máximo de E/S con módulos AS-Interface (7 E/S por slave).	$20 + (2 \times 62 \times 7) = 908$
Número máximo de módulos de interfase del bus CANopen	1
Número máximo de PDO de T/R con dispositivos CANopen	16 TPDO, 16 RPDO.
Controladores remotos	7

Para la programación de este equipo se puede contar con dos clases de lenguajes posibles para la creación de los comandos, estos lenguajes son: plano de funciones y diagrama de contactos.

Tabla 6. Lenguaje de programación gráfico [25].

LENGUAJE GRÁFICO		
Plano de Funciones	Representación gráfica orientada hacia las puertas lógicas AND, OR y sus combinaciones. Las funciones individuales se representan con un símbolo, donde a su lado izquierdo se ubican las entradas y en el derecho las salidas.	

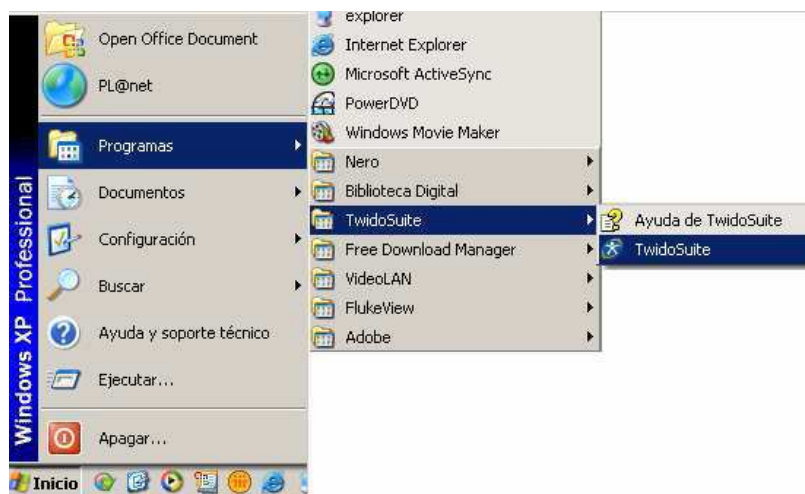
<p>Diagrama de Contactos</p>	<p>Es la representación gráfica que tiene cierta analogía a los esquemas de contactos según la norma Nema (USA). Existe una semejanza con los circuitos de control con lógica cableada.</p>	
-------------------------------------	---	--

2.5 SOFTWARE TWIDO SUITE.

TwidoSuite es el software de programación para la línea compacta y modular Twido de Telemecanique. Este posee un entorno de desarrollo gráfico, con múltiples funciones para la creación, descripción, programación y sostenimiento de las aplicaciones de automatización de los autómatas programables Twido. Permite la creación de programas con distintos tipos de lenguajes, además su entorno amigable admite la creación y modificación de programas con una optimización del tiempo de los procesos simplificando todas las intervenciones.

Para acceder al Software de programación se cliquea sobre *INICIO* → *PROGRAMAS* → *TwidoSuite* → *TwidoSuite*.

Figura 26. Modo de acceso a Twido Suite [26]



Una vez se accede al software en la pantalla inicial presenta tres posibles opciones de selección las cuales son:

“Programming” Mode: permite la creación de una aplicación.

“Monitoring” Mode: permite la conexión con un autómata en modo vigilancia, donde se podrá comprobar el funcionamiento del mismo sin necesidad de sincronizarlo con la aplicación que se tiene cargada en la memoria del dispositivo.

PLC Firmware Update: indica todos los pasos necesarios para realizar la actualización del Firmware Executive del controlador programable Twido.

Figura 27. Opciones de uso del Twido Suite [26].



Para poder acceder al entorno de creación de un proyecto se presiona sobre la opción *“Programming” Mode*. Una vez se accede a este panel se procede a la creación de un nuevo proyecto seleccionando la opción de *Create a new project*. En la siguiente pantalla se selecciona el nombre del proyecto y la ubicación donde va a quedar almacenado y finalmente se presiona sobre el botón *Create* para comenzar a trabajar sobre el proyecto nuevo.

Figura 28. Creación de un nuevo proyecto [26].

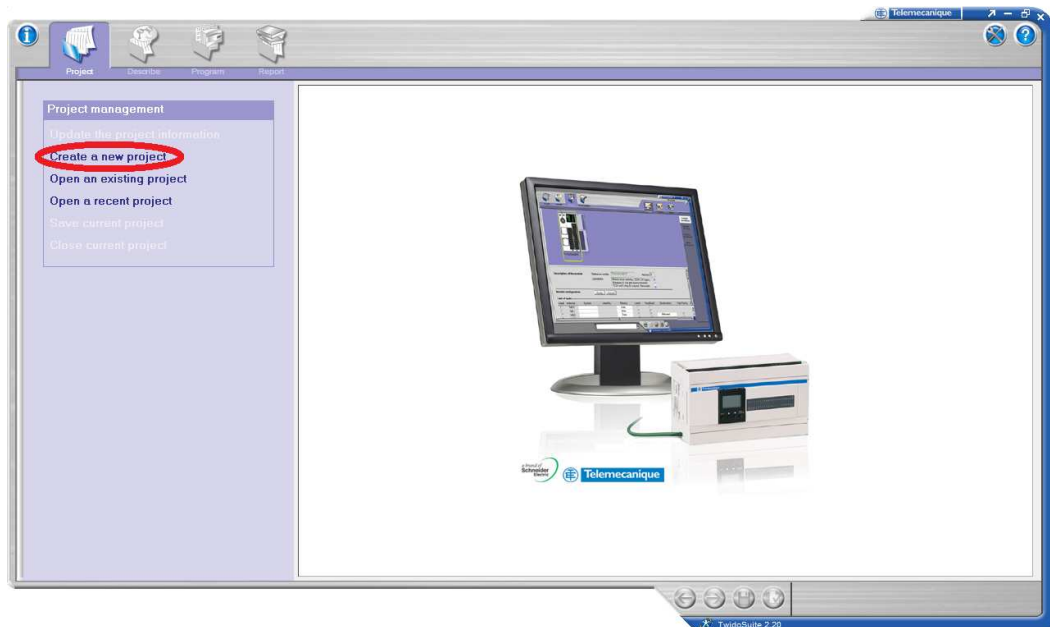
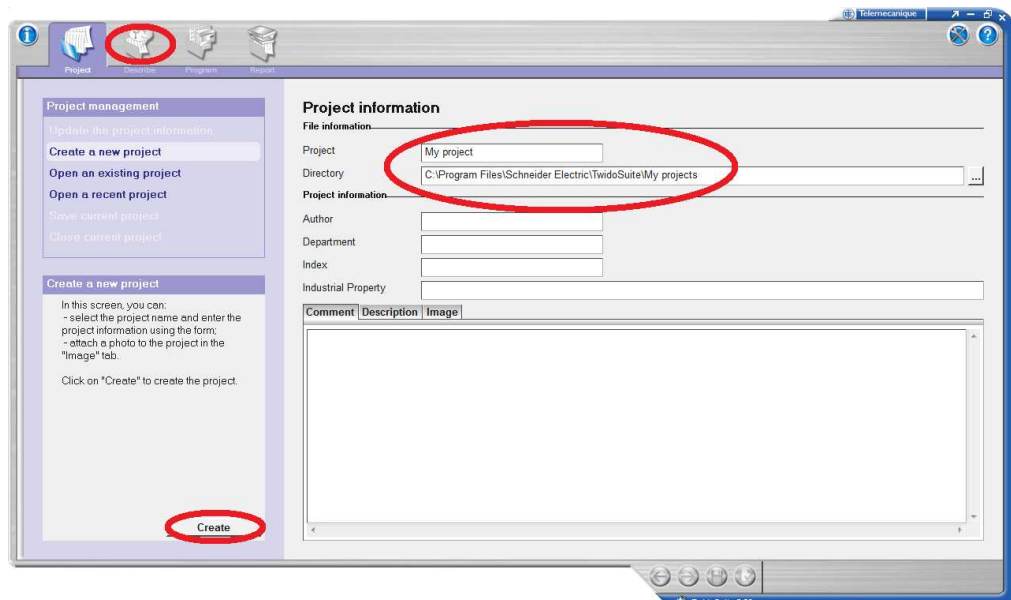
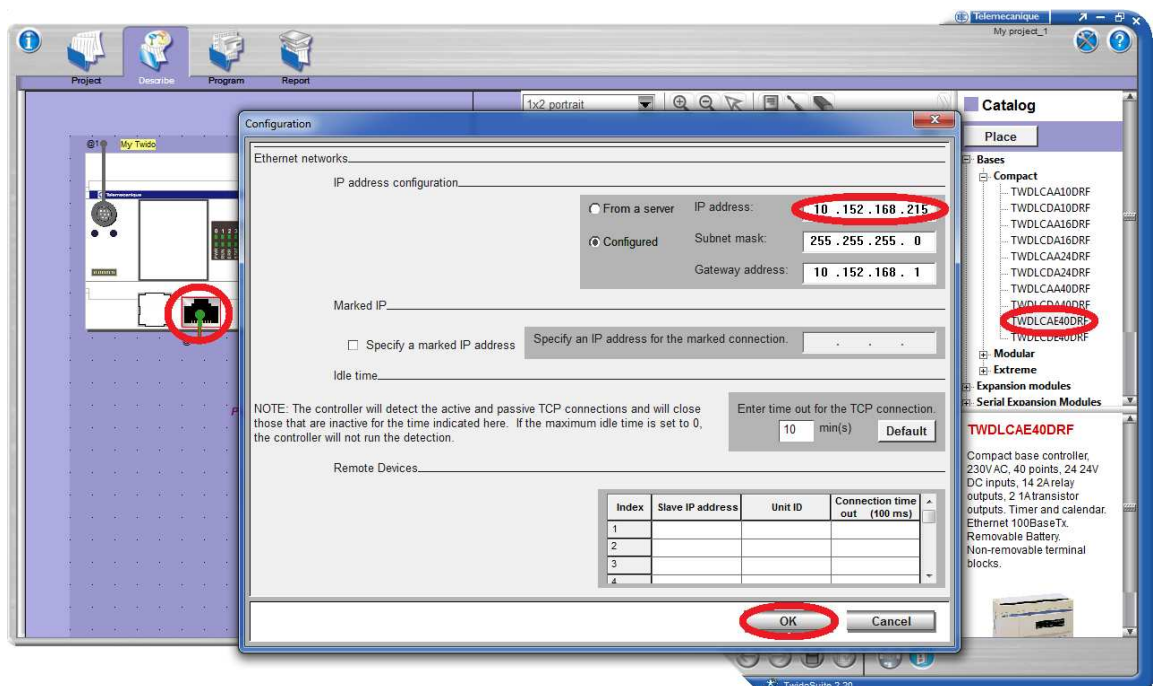


Figura 29. Asignación de nombre y dirección de almacenamiento de un proyecto [26].



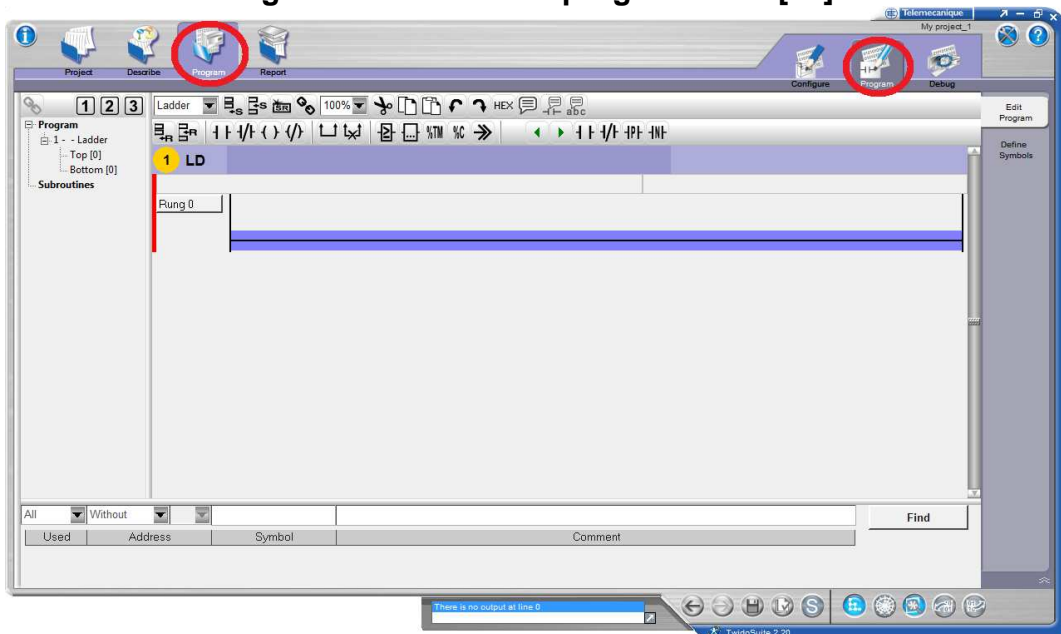
En la opción de *Describe* se procede a realizar la selección del PLC que se va a trabajar, que para este caso es el **TWDLCAE40DRF**, una vez se agregó el autómata se configura la dirección IP que será asignada al equipo.

Figura 30. Asignación de dirección IP [26].



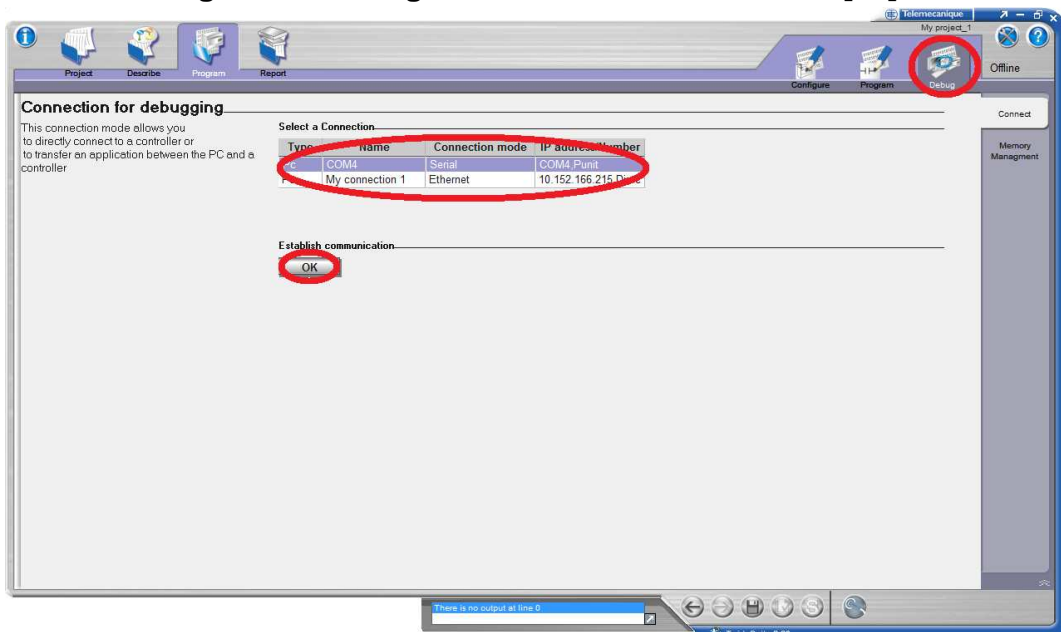
Finalizada la configuración de la dirección IP del equipo, se procede a realizar la creación del programa que posteriormente será transferido al controlador lógico programable. Para ello se selecciona *Program* → *Program* y se insertan las líneas necesarias para el proceso de automatización del proceso a implementarse.

Figura 31. Pantalla de programación [26].



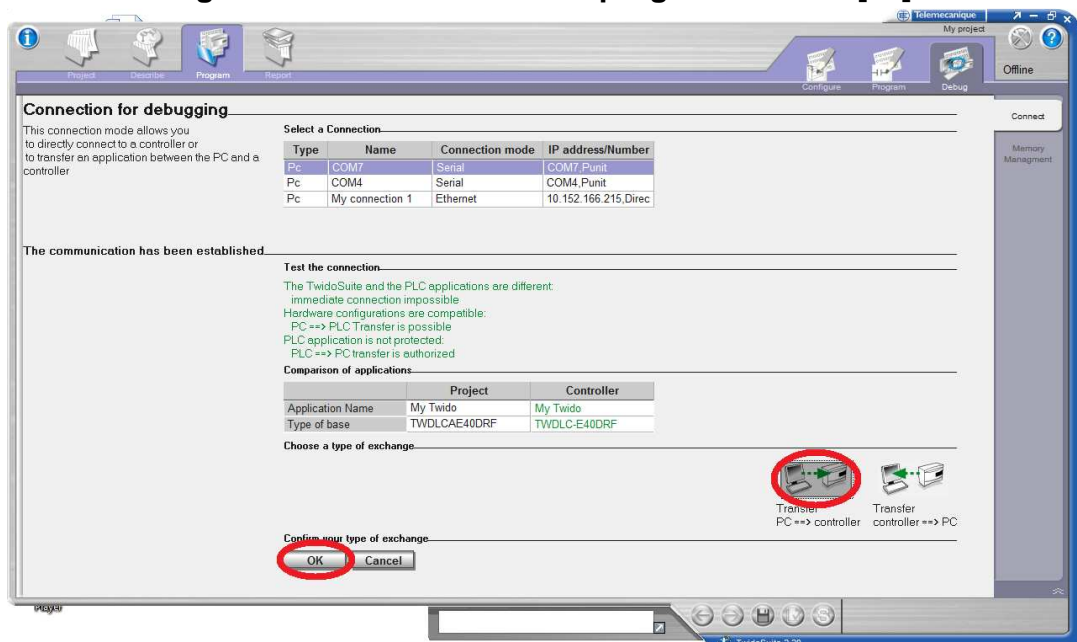
Para la transferencia del programa al controlador lógico programable se selecciona la opción de *Debug* y finalmente el tipo de conexión por medio de la cual va a ser enviado el programa.

Figura 32. Configuración de la comunicación [26].



Una vez se seleccionada el tipo de conexión por la cual se va a realizar la transferencia del programa, se elige la acción de transferencia la cual puede ser desde el PC → controlador o del controlador → PLC.

Figura 33. Transferencia del programa al PLC [26]



2.6 ENVASES PET.

PET (Polietileno Tereftalato) es un material fuerte de peso ligero de poliéster claro. Se usa para hacer recipientes para bebidas suaves, jugos, agua, bebidas alcohólicas, aceites comestibles, mieles, limpiadores caseros, y entre otros. En la Figura 34 se observa la estructura molecular del PET.

Figura 34. Estructura del PET [27].



La unidad estructural dentro de la caja es la unidad repetida, mientras más alto es el peso molecular (n) mejores son las propiedades, típicamente " n " estará dentro del rango de 100 a 200. Siendo un polímero, las moléculas de Tereftalato del polietileno consisten en cadenas largas de unidades repetidas que sólo contienen elementos orgánicos, como carbono, oxígeno e hidrógeno.

Los recipientes son 100% reciclables. Sin embargo, no sólo es su calidad de reciclabilidad que lo hace amistoso con el medio ambiente. La formación de desechos de empaque en su elaboración es poca, ya que es un envase sumamente ligero.

Estos recipientes se usan para toda clase de bebidas: como cervezas y jugos de fruta que son sensibles a la luz. El PET puede acomodarse a las necesidades del gusto de fruta, gracias a una barrera funcional que puede insertarse dentro de las paredes de la botella. Esto es lo que se conoce como "botellas de barrera".

El PET sin pigmentar tiene el valor más alto y la proporción de recuperación más alta, y también la variedad más alta de mercados de consumo. En la actualidad, las botellas opacas o coloreadas tienen poco valor de recuperación y se ven como contaminantes por la mayoría de los envasadores.

3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ENVASADORA DE MIEL USANDO PLC.

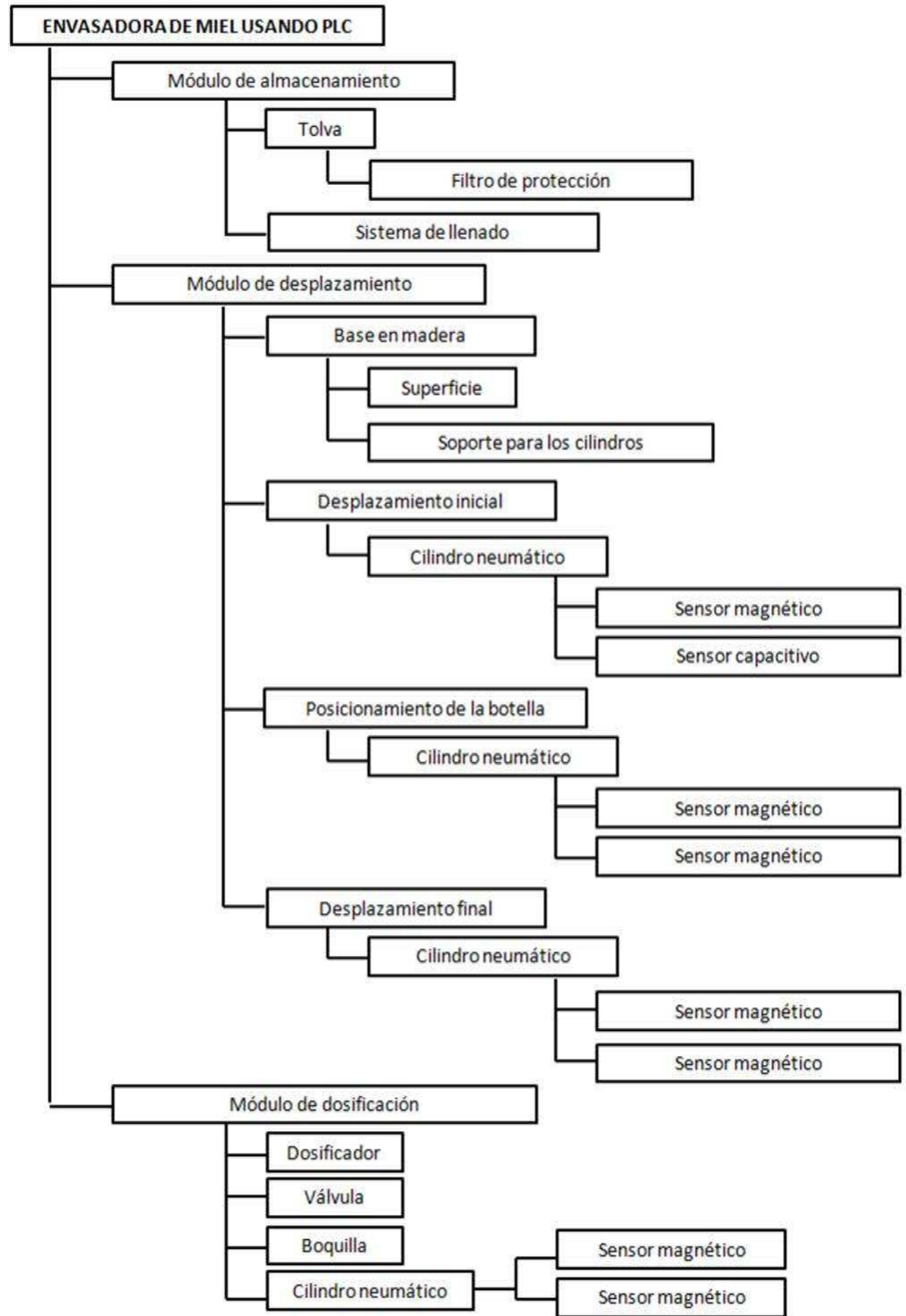
3.1 Diseño Mecánico y Neumático:

El prototipo diseñado consta de tres módulos donde cada uno es complemento del otro, estos son:

- **Módulo de almacenamiento:** es el encargado del aprovisionamiento del producto que va a ser envasado, está compuesto de una tolva y de un sistema de llenado.
- **Módulo de desplazamiento:** por medio de él las botellas vacías van avanzando para ser llenadas y organizadas posteriormente. Este módulo fue construido con madera MDF.
- **Módulo de dosificación:** con este módulo se regula la cantidad de miel y asimismo evita el goteo del producto en la boquilla de salida.

En la Figura 35, se muestra un diagrama de flujo de los módulos y sus componentes, tales como cilindros neumáticos, sensores, entre otros así como la cantidad utilizada.

Figura 35. Diagrama de módulos y componentes. [26]



3.1.1 Módulo de almacenamiento:

- **Tolva:** es aquí donde se almacena el producto a embotellar. Posee un acople que la une con la válvula del módulo dosificador. Además, sobre ella va un filtro de tela que aísla el producto del medio ambiente y de esta manera evitar la contaminación de la miel. Para el prototipo se usó hierro en su fabricación. En la siguiente figura se puede apreciar la tolva ya terminada.

Figura 36. Tolva y Acople [26].



- **Sistema de llenado:** Es la forma como se alimenta la tolva; puede ser por diferentes medios como por un sistema de succión con bomba o llenado por gravedad con electroválvula. Para el prototipo diseñado el llenado se hace de forma manual.

3.1.2 Módulo de desplazamiento:

- **Base en madera:** sobre esta base, ver figura 37, se desplazan las botellas desde su posición inicial hasta su posición final pero pasando primero por la boquilla de llenado. La superficie de la madera fue forrada con fórmica blanca para que la botella tuviese menos fricción cuando se desplaza. Además, se adicionaron unos soportes fijos, ver figura 38, que sostienen los cilindros neumáticos y estos son los responsables directos de desplazar las botellas.

Figura 37. Base de desplazamiento [26].



En la imagen anterior se observa la base en madera MDF forrada de fórmica blanca con forma de U, donde se desplazan las botellas.

Figura 38. Soportes de madera para los cilindros [26].



- **Desplazamiento inicial:** luego que las botellas son colocadas por el operador y se ejecute el programa, un cilindro neumático (C1) empieza a avanzar y por medio de un acople sujeto a él las botellas se van desplazando hasta que son detectadas por un sensor capacitivo (S2), ver figura 39. Lo siguiente es el retroceso del vástago del cilindro y se detiene en su posición inicial que es detectada por un sensor magnético (S1), ver figura 40. Para fijar el sensor magnético al cilindro se utilizaron unas abrazaderas. Las características mecánicas del cilindro se encuentran en el anexo (C), las del sensor magnético en el anexo (D) y las del sensor capacitivo en el anexo (E).

Figura 39. Cilindro con acople y sensor magnético [26].



En la figura anterior se observa el cilindro con el acople y al fondo se encuentra el sensor capacitivo de color rojo.

Figura 40. Cilindro (C1) con el sensor magnético (S1) [26].



En la anterior figura se observa el cilindro neumático que tiene una carrera de 25 cm. Además, el cilindro tiene acoplado los racores que sirven para conectarlo con la electroválvula.

- **Posicionamiento de la botella:** en el momento que el sensor capacitivo se encuentra activo, de forma inmediata empieza el avance de un cilindro neumático (C2), ver anexo (C), este por medio de un acople desplaza la botella hasta posicionarla debajo de la boquilla. El cilindro se detiene gracias a un sensor magnético (S3) y, posteriormente, el vástago del cilindro se devuelve a su posición inicial detectada por un sensor magnético (S4), ver figura 41. Los sensores S3 y S4 fueron fijados al C2 con ayuda de unas abrazaderas, ver figura 42.

Figura 41. Cilindro neumático (C2) [26].



Como se observa en la figura anterior, el cilindro (C2) tiene acoplado los sensores magnéticos (S3, S4) que regulan la carrera del vástago.

Figura 42. Abrazadera [26].



- **Desplazamiento final:** los envases que fueron llenados hay que organizarlos. Para esto se utilizó un cilindro neumático (C4), ver anexo (F), que tiene una carrera de 10 cm, ya que la distancia a recorrer es poca. El funcionamiento es sencillo, C4 avanza hasta la posición que le indique el sensor magnético (S7) de parada y regresa a su posición de origen determinada por el sensor magnético (S8). Para que hubiese un mejor contacto entre el cilindro y el envase lleno, se utilizó un acople adaptado con rosca a C4, ver figura 43.

Figura 43. Cilindro (C4) con sensores (S7, S8) [26].

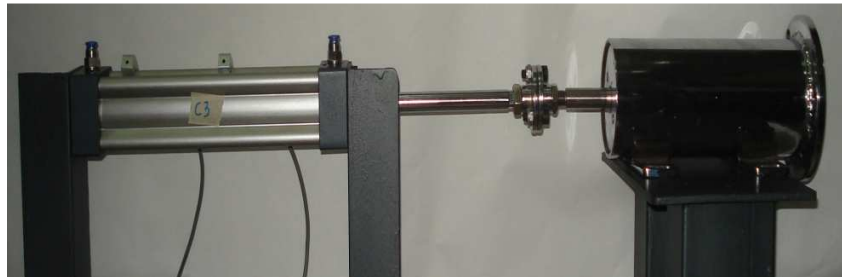


En la fotografía anterior se observa el acople que tiene el cilindro para tener un mejor contacto con las botellas. Además, se nota la pequeña distancia entre los sensores magnéticos debido a la corta carrera que debe recorrer el vástago del cilindro.

3.1.3 Módulo de dosificación:

- **Dosificador:** Está compuesto por: un pistón dosificador acoplado a un cilindro neumático, ver figura 9. La cantidad de producto a dosificar está limitada por los sensores magnéticos que se encuentran sobre el cilindro, ver figura 44. Esta cantidad varía de 100 cc a 450 cc.

Figura 44. Cilindro (C3) acoplado al pistón dosificador [26].



En la fotografía anterior se observa la unión por medio de un acople entre el cilindro neumático y el pistón dosificador.

- **Válvula:** se diseñó y se construyó con dos válvulas de retención (check), que controlan el llenado y salida del pistón dosificador. Fue construida en su totalidad en duralón (nylon comprimido) y va acoplado al pistón dosificador con tornillos, ver figura 45. Se eligió este tipo de válvula porque trabaja simultáneamente con el cilindro neumático y además es totalmente desarmable, lo que facilita su mantenimiento. En el proceso de llenar y evacuar el pistón, solo se encontrará una válvula de retención activa mientras la otra

estará actuando como sello con la cual se evitan fugas en el sistema.

Figura 45. Válvula en duralón [26].



En la figura anterior se observan tres orificios pequeños, aquí se instalan los tornillos que unen la válvula con el pistón dosificador. Además, la figura muestra los dos *checks* que permiten el llenado y vaciado del pistón.

- **Boquilla:** esta pieza es la encargada del paso de la miel de la válvula hacia el envase. Fue diseñada y construida de tal manera que cuando esté sellada, la distancia entre el orificio de la boquilla y el del envase sea mínima. Todo esto para evitar el goteo excesivo; para esto se utilizó un resorte que permite el paso de la miel solo cuando hay presión suficiente administrada desde el cilindro neumático (C4). En conclusión, la boquilla funciona como sistema anti-goteo, ver figura 46.

Figura 46. Sistema anti-goteo [26].



Para el prototipo diseñado y construido se fabricó la boquilla con una combinación de bronce y acero inoxidable, así como lo muestra la figura 46.

- **Cilindro neumático:** es el encargado de suministrar la presión suficiente en el momento de llenar y vaciar el pistón dosificador. Al ser la miel un producto muy denso y viscoso, es necesario un cilindro que soporte presiones altas aportadas por el compresor, ver anexo (G). Va unido al pistón por medio de un acople que se enrosca al vástago del cilindro, ver figura 47. El funcionamiento del cilindro neumático (C3) es sencillo, el vástago recorrerá una carrera desde su punto de inicio, el cual es controlado por el sensor magnético (S5), hasta el punto final determinado según sea el volumen requerido. Ese punto final es controlado por el sensor magnético (S6). Para sostener los sensores se utilizaron soportes acordes con el tamaño del cilindro, ver figura 48.

Figura 47. Acople entre cilindro y pistón dosificador [26].



En la fotografía anterior, se muestra el acople conformado por dos piezas idénticas unidas con tornillos y roscas.

Figura 48. Cilindro dosificador con S5 y S6 [26].



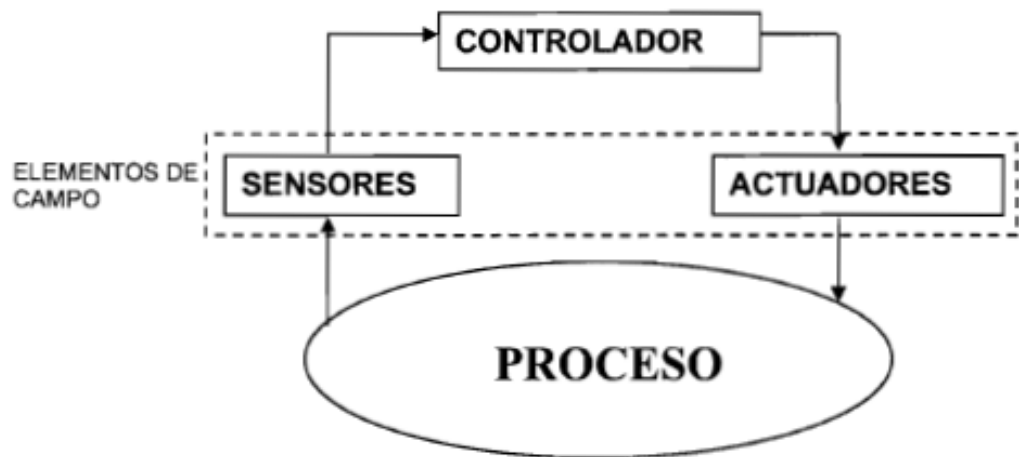
En la figura anterior, se observan los soportes utilizados para adaptar los sensores al cilindro dosificador.

3.2 Diseño eléctrico:

El diseño eléctrico del sistema está determinado por los elementos de campo utilizados. Los actuadores, cilindros neumáticos,

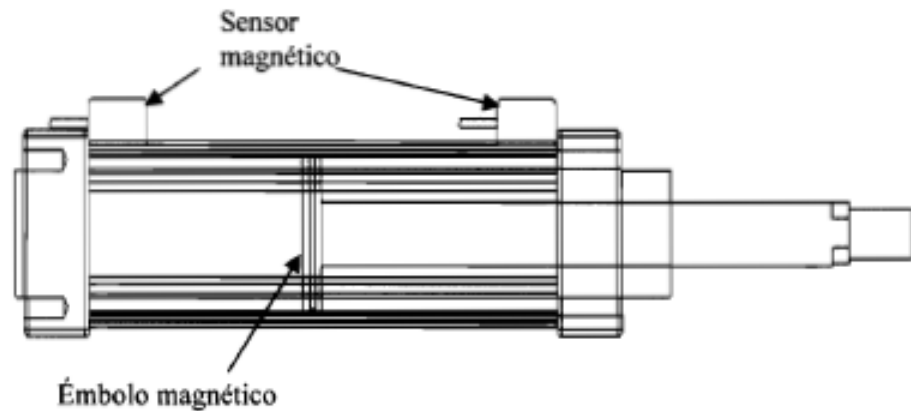
motores, entre otros, se controlan dependiendo de la señal que envían los diferentes sensores y el proceso que tiene que realizar la máquina. Para realizar el control del sistema se utiliza un PLC ya que es una herramienta de fácil programación esta puede ser modificada sin tener que alterar el cableado. En la figura 49, se muestra una relación entre los elementos de campo, el controlador y el proceso.

Figura 49. Sistema de control [28].



- **Detección de la posición del émbolo:** para controlar la carrera que recorre el vástago sin contacto físico, se utilizan sensores magnéticos ya que los cilindros neumáticos poseen émbolos magnéticos. El sensor se activa cuando detecta al émbolo mandando una señal eléctrica y se desactiva cuando este se aleja. En la Figura 50 se observa la detección del sensor según la posición del émbolo.

Figura 50. Sensor magnético para la detección del émbolo en un cilindro neumático [18].

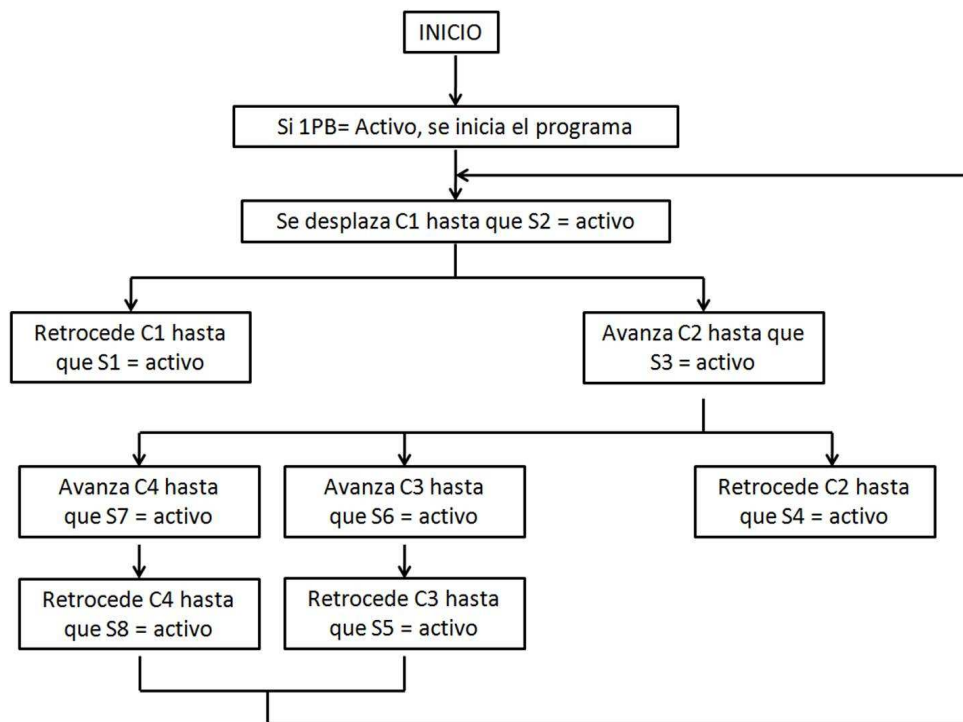


3.3 Etapa de programación:

Para poder desarrollar el programa se hizo un diagrama de bloques que permite analizar el proceso completo de la máquina envasadora de miel. Este diagrama de flujo se observa en la figura 51.

Para la etapa de supervisión, se utilizó el software Vijeo - Designer en el cual se crearon dos paneles. El primer panel contiene dos pulsadores, estos son los encargados de permitir el inicio y parada de la ejecución del programa; a su vez contiene los respectivos indicadores para conocer si el programa está en funcionamiento o no. En el segundo panel que se trabajó, se tiene un pulsador por cada uno de los cilindros que contiene la máquina, esto con el fin de probar el funcionamiento de cada uno de ellos de manera que, cada vez que es oprimido el pulsador, se active la electroválvula y se mueva el eje del cilindro y cuando se libere el pulsador, el eje retorna a su posición inicial.

Figura 51. Diagrama de flujo del funcionamiento del prototipo[26].



Donde:

1PB = Botón de arranque del sistema.

2PB = Botón de parada de emergencia.

C1 = Cilindro de inicio de desplazamiento.

C2 = Cilindro de posicionamiento de la botella.

C3 = Cilindro dosificador.

C4 = Cilindro organizador de envases llenos.

S1 = Sensor que detecta punto de inicio de C1.

S2 = Sensor Capacitivo.

S3 = Sensor que detecta punto final de vástago del C2.

S4 = Sensor que detecta punto inicial de vástago del C2.

S5 = Sensor que detecta punto inicial de vástago del C3.

S6 = Sensor que detecta punto final de vástago del C3.

S7 = Sensor que detecta punto final de vástago del C4.

S8 = Sensor que detecta punto inicial de vástago del C4.

Para establecer el PLC a utilizar hay que determinar el número de entradas y salidas del sistema. En el siguiente cuadro se hace una relación del número de entradas y salidas.

Tabla 7. Relación de conexiones I/O del PLC [26].

Nº	ENTRADAS	SALIDAS
1	S1 = Sensor que detecta punto de inicio de C1.	E1 = electroválvula C1
2	S2 = Sensor Capacitivo.	E2 = electroválvula C2
3	S3 = Sensor que detecta punto final de vástago del C2.	E3 = electroválvula C3
4	S4 = Sensor que detecta punto inicial de vástago del C2.	E4 = electroválvula C4
5	S5 = Sensor que detecta punto inicial de vástago del C3.	
6	S6 = Sensor que detecta punto final de vástago del C3.	
7	S7 = Sensor que detecta punto final de vástago del C4.	
8	S8 = Sensor que detecta punto inicial de vástago del C4.	
9	1PB = Pulsador de arranque.	
10	2PB = Pulsador de parada de emergencia.	

Teniendo en cuenta que la máquina necesita 10 entradas y 4 salidas se escogió un PLC TWIDO con 12 entradas y 8 salidas alimentado de 90 a 240 [V].

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Para comparar los resultados entre los procesos de llenado manual y automático de la miel, se tuvo en cuenta la cantidad de botellas llenadas en relación al tiempo empleado. La envasadora de miel desarrollada en este trabajo de grado, consta de un sistema que desplaza las botellas vacías y llenas, sin embargo para comparar los resultados solo se consideró el tiempo en el que sistema llena la botella y no el tiempo total que incluye el desplazamiento de la misma.

A continuación, se mostrarán los datos tabulados para comparar el proceso manual con el proceso automático:

- **Proceso Manual:**

Este proceso consta de una tolva, en acero inoxidable, de forma cilíndrica donde se almacena el producto. La capacidad del cilindro es 282743,1 cm³. En la parte inferior se encuentran dos válvulas de bola y debajo de estas se ubican las botellas para ser llenadas de forma manual. El llenado de los envases depende fundamentalmente de la gravedad, es decir de la cantidad de producto que se encuentre en el cilindro. A mayor volumen almacenado menor tiempo empleado para envasar la miel y viceversa. Los siguientes datos fueron proporcionados por la empresa Agropecuaria Vallenata, para esto se recopiló la información solamente llenando dos botellas:

Tiempo (min)	Volumen Cilindro (%)
0.45	100
1:05	80
1:40	60
2:20	40
2:55	20

La tabla anterior hace una relación entre el tiempo empleado que requiere llenar dos botellas y la cantidad de producto que se encuentra en el cilindro. Como se observa, a menor producto almacenado mayor es el tiempo necesario para envasar dos botellas. Lo que hace que el proceso sea tedioso y requiera bastante tiempo. Además, hay que tener presente que la cantidad de miel envasada varía entre las botellas ya que el control dosificador es hecho según el criterio del operario.

- **Proceso Automático:**

Como se explicó anteriormente, la maquina envasadora de miel usando PLC cuenta con un sistema que además de dosificar llena las botellas por la presión ejercida desde un cilindro neumático. La tolva utilizada en el prototipo desarrollado tiene un volumen de 5674,5 cm³. Los siguientes datos solo tienen en cuenta el tiempo que demora en llenarse un envase y no el tiempo total que requiere la botella en ser llenada y desplazada.

Tiempo (s)	Volumen Cilindro (%)
4	100
4	80
4	60
4	40
4	20

Como se observa en la tabla anterior, el tiempo que es necesario para llenar una botella no se ve afectado por la cantidad de producto que tenga la tolva. Además, el sistema dosificador permite que el volumen a llenar en cada botella sea el mismo. Lo que garantiza una cantidad igual de producto por envase.

5. ASPECTO FINANCIERO

COSTEO DEL PROTOTIPO

Para obtener los costos del prototipo se tienen en cuenta los costos de materia prima, mano de obra y costos indirectos de fabricación, donde se incluyen aquellos factores que no intervienen directamente en el proceso de manufactura pero que son necesarios como el consumo eléctrico y las materias primas no cuantificables.

Tabla 8. Costos de la materia prima del prototipo [26]

MATERIA PRIMA	CANTIDAD REQUERIDA (unidades)	COSTO POR UNIDAD(\$)	COSTO POR UNIDADES CONSUMIDAS(\$)
Manguera poliuretano 6mm azul	10	\$ 1.700,00	\$ 17.000,00
Control de flujo en linea 1/8	4	\$ 26.800,00	\$ 107.200,00
Electrovalvula 5/2*1/8 110V	3	\$ 78.000,00	\$ 234.000,00
Electrovalvula 5/2*1/8 220V	1	\$ 78.000,00	\$ 78.000,00
Racor recto 1/8*6	14	\$ 3.200,00	\$ 44.800,00
Racor recto M5*6	6	\$ 4.300,00	\$ 25.800,00
Control de flujo 1/8	8	\$ 13.500,00	\$ 108.000,00
Lamina madera 90cm*73cm*30mm	1	\$ 65.000,00	\$ 65.000,00
Formica generica blanco	3721		\$ 1.681,00
MDF	7442		\$ 5.263,00
Estructura metalica	1	\$ 600.000,00	\$ 600.000,00
Cilindro neumático SI32X175-S	1	\$ 140.000,00	\$ 140.000,00
Soporte sensor magnético	2	\$ 5.000,00	\$ 10.000,00
Sensor magnético (autoswitch)	7	\$ 31.974,00	\$ 223.818,00
Abrazaderas para cilindro 20"	5	\$ 7.488,00	\$ 37.440,00
Cilindro neumático MI-16X250mm	2	\$ 96.172,00	\$ 192.344,00
Cilindro neumático MI-16X10mm	1	\$ 70.928,00	\$ 70.928,00
Acoples duralon	3	\$ 10.000,00	\$ 30.000,00
Alambre protoboard	15	\$ 250,00	\$ 3.750,00
Distribuidor de flujo T	3	\$ 4.500,00	\$ 13.500,00

Sensor capacitivo	1	\$ 350.000,00	\$ 350.000,00
PLC Telemecanique TWIDO	1	\$ 1.400.000,00	\$ 1.400.000,00
Compresor de embolo 70 psi	1	\$ 600.000,00	\$ 600.000,00
TOTAL MATERIA PRIMA			\$ 4.358.524,00

Tabla 9. Costos indirectos de fabricación del prototipo [26]

COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN				
CONSUMO ELÉCTRICO		1 kw/h=\$300		
Maquina	Potencia (kw)	Tiempo de uso (h)	Consumo eléctrico (kw/h)	Valor Total
Torno Pinacho NOD L-1/225	5	18	90	\$ 27.000,00
Soldador Marca Lincoln Electric	6,6	1,250	8,25	\$ 2.475,00
Tronzadora	3	0,500	1,5	\$ 450,00
Esmerilador KH	3	0,05	0,15	\$ 45,00
Taladro Fresador Fujian Dongfang Machinery F	3,432	1,67	5,73144	\$ 1.719,43
TOTAL CONSUMO ELÉCTRICO				\$ 31.689,43
Transporte				\$ 10.300,00
OTROS COSTOS DE MATERIAS				
Tornillos				
Pegante A-55				
Laca preparada				\$ 18.800,00
TOTAL OTROS COSTOS				\$ 18.800,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				\$ 60.789,43

Tabla 10. Costos de mano de obra [26]

MANO DE OBRA DE UN OPERARIO	
Salario Mínimo	\$ 515.000,00
Auxilio de Transporte	\$ 61.500,00
CARGA PRESTACIONAL	
Cesantías 8,33%	\$ 48.022,45
Pirna 8,33%	\$ 48.022,45
Vacaciones 4,17%	\$ 21.475,50
Seguridad Social 8.5%	\$ 43.775,00
Pensión 12%	\$ 61.800,00
ARP 0,67%	\$ 3.450,50

<i>Parafiscales 9%</i>	\$ 46.350,00
<i>Intereses a las cesantías 1%</i>	\$ 5.765,00
Total Carga Prestacional 52%	\$ 278.660,90
TOTAL SALARIO	\$ 855.160,90
Total Horas Trabajadas Mes	240
Costo mano de obra por hora	\$ 3.563,17
Costo mano de obra por prototipo	\$ 112.132,97

Tabla 11. Costo del prototipo [26]

COSTO PROTOTIPO	
Materia Prima	\$ 4.358.524,00
Mano de Obra	\$ 112.132,97
Costo Indirectos	\$ 60.789,43
TOTAL COSTO PROTOTIPO	\$ 4.531.446,41
Margen Contribución	30%
Precio Venta	\$ 6.473.494,86

El precio de venta se calcula aplicándole el margen de contribución que se desea obtener al costo total del prototipo.

COSTEO INDUSTRIAL

Para calcular los costos del equipo para uso industrial se tienen en cuentas los mismos aspectos que para el prototipo, solo que ahora se emplean las materias primas necesarias para que el equipo sea apto para manipulación de alimentos. Adicionalmente y por razones de tipo comercial se calcularon los costos para el modulo de llenado de miel (Equipo Dosificador) y para la envasadora completa para de esta forma brindar a potenciales clientes dos opciones diferentes que se ajusten a las necesidades y el presupuesto de la empresa. Los costos aquí proyectados son para las especificaciones del prototipo pero se pueden ajustar según las necesidades específicas del cliente y realizar cambios de capacidad y tamaño.

EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL

Tabla 12. Costos materia prima equipo dosificador de miel [26]

EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL			
MATERIA PRIMA	CANTIDAD REQUERIDA (unidades)	COSTO POR UNIDAD(\$)	COSTO POR UNIDADES CONSUMIDAS(\$)
Manguera poliuretano 6mm azul	5	\$ 1.700,00	\$ 8.500,00
Control de flujo en linea 1/8	1	\$ 26.800,00	\$ 26.800,00
Electrovalvula 5/2*1/8 110V	1	\$ 78.000,00	\$ 78.000,00
Racor recto 1/8*6	2	\$ 3.200,00	\$ 6.400,00
Control de flujo 1/8	2	\$ 13.500,00	\$ 27.000,00
Estructura acero inoxidable	1	\$ 3.200.000,00	\$ 3.200.000,00
Cilindro neumático SI32X175-S	1	\$ 140.000,00	\$ 140.000,00
Soporte sensor magnético	2	\$ 5.000,00	\$ 10.000,00
Sensor magnético (autoswitch)	2	\$ 31.974,00	\$ 63.948,00
Alambre protoboard	10	\$ 250,00	\$ 2.500,00
PLC Telemecanique TWIDO	1	\$ 1.400.000,00	\$ 1.400.000,00
Compresor de embolo 70 psi	1	\$ 600.000,00	\$ 600.000,00
TOTAL MATERIA PRIMA			\$ 5.563.148,00

Tabla 13. Costo total equipo dosificador de miel [26]

COSTO EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	
Materia Prima	\$ 5.736.070,41
Mano de Obra	\$ 112.132,97
Costo Indirectos	\$ 60.789,43
TOTAL COSTO EQ.DOSIFICADOR DE MIEL	\$ 5.908.992,81
Margen Contribución	25%
PRECIO VENTA	\$ 7.878.657,08

ENVASADORA DE MIEL

Tabla 14. Costos materia prima envasadora de miel [26]

ENVASADORA DE MIEL CON PLC

MATERIA PRIMA	CANTIDAD REQUERIDA (unidades)	COSTO POR UNIDAD(\$)	COSTO POR UNIDADES CONSUMIDAS(\$)
Manguera poliuretano 6mm azul	10	\$ 1.700,00	\$ 17.000,00
Control de flujo en linea 1/8	4	\$ 26.800,00	\$ 107.200,00
Electrovalvula 5/2*1/8 110V	4	\$ 78.000,00	\$ 312.000,00
Racor recto 1/8*6	14	\$ 3.200,00	\$ 44.800,00
Racor recto M5*6	6	\$ 4.300,00	\$ 25.800,00
Control de flujo 1/8	8	\$ 13.500,00	\$ 108.000,00
Estructura acero inoxidable	1	\$ 3.200.000,00	\$ 3.200.000,00
Estructura desplazamiento en acero inoxidable	1	\$ 900.000,00	\$ 900.000,00
Cilindro neumático SI32X175-S	1	\$ 140.000,00	\$ 140.000,00
Soporte sensor magnético	2	\$ 5.000,00	\$ 10.000,00
Sensor magnético (autoswitch)	7	\$ 31.974,00	\$ 223.818,00
Abrazaderas para cilindro 20"	5	\$ 7.488,00	\$ 37.440,00
Cilindro neumático MI-16X250mm	2	\$ 96.172,00	\$ 192.344,00
Cilindro neumático MI-16X10mm	1	\$ 70.928,00	\$ 70.928,00
Alambre protoboard	15	\$ 250,00	\$ 3.750,00
Distribuidor de flujo T	3	\$ 4.500,00	\$ 13.500,00
Sensor capacitivo	1	\$ 350.000,00	\$ 350.000,00
PLC Telemecanique TWIDO	1	\$ 1.400.000,00	\$ 1.400.000,00
Compresor de embolo 70 psi	1	\$ 600.000,00	\$ 600.000,00
TOTAL MATERIA PRIMA			\$ 7.756.580,00

Tabla 15. Costo total envasadora de miel [26]

COSTO ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Materia Prima	\$ 7.756.580,00
Mano de Obra	\$ 112.132,97
Costo Indirectos	\$ 60.789,43
TOTAL COSTO ENVASADORA DE MIEL CON PLC	\$ 7.929.502,41
Margen Contribución	30%
PRECIO VENTA	\$ 11.327.860,58

PRESUPUESTO DE VENTAS

Tabla 16. Presupuesto de ventas [26]

PRESUPUESTO DE VENTAS			
	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a vender (anual)	12	7	
Precio de venta	\$ 7.878.657,08	\$ 11.327.860,58	
TOTAL	\$ 94.543.884,96	\$ 79.295.024,05	\$ 173.838.909,01

Tabla 17. Presupuesto de producción [26]

PRESUPUESTO DE PRODUCCIÓN			
	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a vender	12	7	
Inv. Final de Pdto. Terminado	0	0	
Necesidades de producción	12	7	
Inv. Inicial de Pdto. Terminado	0	0	
Unidades a Producir	12	7	

Tabla 18. Presupuesto de requerimientos de materia prima [26]

PRESUPUESTO DE REQUERIMIENTO DE MATERIA PRIMA

MANGUERA POLIURETANO 6MM AZUL	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Requerimiento por unidad	5	10	
TOTAL	60	70	130
Costo por unidad	1700	1700	
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 102.000,00	\$ 119.000,00	\$ 221.000,00
CONTROL DE FLUJO EN LINEA 1/8			
	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Requerimiento por unidad	1	4	5
TOTAL	12	28	
Costo por unidad	26800	26800	
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 321.600,00	\$ 750.400,00	\$ 1.072.000,00
ELECTROVALVULA 5/2*1/8 110V			
	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Requerimiento por unidad	1	4	5
TOTAL	12	28	
Costo por unidad	78000	78000	
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 936.000,00	\$ 2.184.000,00	\$ 3.120.000,00
RACOR RECTO 1/8*6			
	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Requerimiento por unidad	2	14	16
TOTAL	24	98	

Costo por unidad	3200	3200	
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 76.800,00	\$ 313.600,00	\$ 390.400,00

RACOR RECTO M5*6	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Requerimiento por unidad	0	6	6
TOTAL	0	42	
Costo por unidad	0	4300	
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 0,00	\$ 180.600,00	\$ 180.600,00

CONTROL DE FLUJO 1/8	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Requerimiento por unidad	2	8	10
TOTAL	24	56	
Costo por unidad	13500	13500	
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 324.000,00	\$ 756.000,00	\$ 1.080.000,00

ESTRUCTURA DE ACERO INOXIDABLE	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Requerimiento por unidad	1	1	2
TOTAL	12	7	
Costo por unidad	3200000	3200000	
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 38.400.000,00	\$ 22.400.000,00	\$ 60.800.000,00

ESTRUCTURA DE DESPLAZAMIENTO EN ACERO INOXIDABLE	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Requerimiento por unidad	0	1	1
TOTAL	0	7	
Costo por unidad	0	900000	
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 0,00	\$ 6.300.000,00	\$ 6.300.000,00

CILINDRO NEUMATICO SI32X175-S		EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7		
Requerimiento por unidad	1	1		2
TOTAL	12	7		
Costo por unidad	140000	140000		
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 1.680.000,00	\$ 980.000,00		\$ 2.660.000,00
SOPORTE SENSOR MAGENTICO		EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7		
Requerimiento por unidad	2	2		4
TOTAL	24	14		
Costo por unidad	5000	5000		
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 120.000,00	\$ 70.000,00		\$ 190.000,00
SENSOR MAGNETICO (AUTOSWITCH)		EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7		
Requerimiento por unidad	2	7		9
TOTAL	24	49		
Costo por unidad	31974	31974		
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 767.376,00	\$ 1.566.726,00		\$ 2.334.102,00
ABRAZADERAS PARA CILINDRO 20"		EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7		
Requerimiento por unidad	0	5		5
TOTAL	0	35		
Costo por unidad	0	7488		
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 0,00	\$ 262.080,00		\$ 262.080,00

CILINDRO NEUMATICO MI-16X250mm	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Requerimiento por unidad	0	2	2
TOTAL	0	14	
Costo por unidad	0	96172	
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 0,00	\$ 1.346.408,00	\$ 1.346.408,00

CILINDRO NEUMATICO MI-16X10mm	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Requerimiento por unidad	0	1	1
TOTAL	0	7	
Costo por unidad	0	70928	
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 0,00	\$ 496.496,00	\$ 496.496,00

ALAMBRE PROTOBOARD	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Requerimiento por unidad	10	15	25
TOTAL	120	105	
Costo por unidad	250	250	
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 30.000,00	\$ 26.250,00	\$ 56.250,00

DISTRIBUIDOR DE FLUJO T	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Requerimiento por unidad	0	3	3
TOTAL	0	21	
Costo por unidad	0	4500	
TOTAL REQUERIMIENTO	\$ 0,00	\$ 94.500,00	\$ 94.500,00

SENSOR CAPACITIVO		EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir		12	7	
Requerimiento por unidad		0	1	1
TOTAL		0	7	
Costo por unidad		0	350000	
TOTAL REQUERIMIENTO		\$ 0,00	\$ 2.450.000,00	\$ 2.450.000,00
PLC TELEMECANIQUE TWIDO		EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir		12	7	
Requerimiento por unidad		1	1	2
TOTAL		12	7	
Costo por unidad		1400000	1400000	
TOTAL REQUERIMIENTO		\$ 16.800.000,00	\$ 9.800.000,00	\$ 26.600.000,00
COMPRESOR DE EMBOLO 70 PSI		EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir		12	7	
Requerimiento por unidad		1	1	2
TOTAL		12	7	
Costo por unidad		600000	600000	
TOTAL REQUERIMIENTO		\$ 7.200.000,00	\$ 4.200.000,00	\$ 11.400.000,00
TOTAL MP REQUERIDAS		\$ 121.053.836,00		

Tabla 19. Presupuesto de mano de obra [26]

PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA			
	EQUIPO DOSIFICADOR DE MIEL	ENVASADORA DE MIEL CON PLC	
Unidades a producir	12	7	
Tiempo por unidad	31,47	31,47	
TOTAL HORAS	377,64	220,29	597,93
Costo por hora	3563,2	3563,2	
COSTO TOTAL MOD	\$ 1.345.595,68	\$ 784.930,81	\$ 2.130.526,49

Tabla 20. Presupuesto de costos indirectos de fabricación [26]

PRESUPUESTO COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION	
Depreciacion	\$ 398.000,00
Seguros/Varios	\$ 200.000,00
Luz	\$ 180.000,00
TOTAL CIF	\$ 778.000,00

Tabla 21. Estado de costos [26]

ESTADO DE COSTO	
MP requerida	\$ 121.053.836,00
Costo total MOD	\$ 2.130.526,49
CIF	\$ 778.000,00
Costo de producción	\$ 123.962.362,49
Inventario final producto terminado	\$ 0,00
Costo mercancia a vender	\$ 123.962.362,49
Inventario inicial producto terminado	\$ 0,00
COSTO DE VENTAS	\$ 123.962.362,49

Tabla 22. Estado de resultados [26]

ESTADO DE RESULTADOS	
Ventas	\$ 173.838.909
Costo de ventas	\$ 123.962.362
<hr/>	
U. Bruta	\$ 49.876.547
G. Admon	\$ 0
<hr/>	
U. Operativa	\$ 49.876.547
G. Financieros	\$ 350.000
<hr/>	
U. antes de Imp.	\$ 49.526.547
Impuestos	\$ 16.343.760
<hr/>	
U.Neta	\$ 33.182.786

Para comercializar este proyecto de grado, se estableció que se venderán doce (12) unidades del equipo dosificador de miel y siete (7) unidades de la envasadora de miel con PLC al año, la primera con un precio de venta igual a \$ 7.878.657,08 y la segunda a \$11.327.860,58 con un margen de contribución del 25% y del 30% respectivamente.

Las ventas se realizarán sobre pedido puesto, ya que no es viable fabricar esta máquina en grandes lotes porque la demanda a nivel nacional –el mercado objetivo inicialmente- no es alta. Se estima que las ventas en el primer año serán de \$173.838.909. Descontando las obligaciones financieras, gastos administrativos, costo de ventas e impuestos, la utilidad obtenida una vez alcanzado el número de ventas presupuestado sería igual a \$ 33.182.786, lo cual permite concluir que es rentable la comercialización de las dos máquinas diseñadas.

6. RECOMENDACIONES

- Es necesario acoplar las bases del cilindro automático empleado para el llenado con las bases del pistón dosificador, de tal manera que se pueda brindar estabilidad al módulo de dosificación y así evitar las pérdidas de fuerza y optimizar la etapa de llenado.
- La envasadora de miel desarrollada en este proceso es un prototipo, por tanto es de vital importancia tener en cuenta que el producto obtenido no es apto para consumo humano.
- Para la fabricación de este prototipo a nivel industrial se debe emplear acero de grado alimenticio en todas las partes que interfieren directamente en el proceso para de esta manera cumplir con los requerimientos de salubridad de la industria alimenticia.
- A pesar de ser un prototipo automatizado, es recomendable siempre la supervisión de un operario. De esta manera, se podrá hacer una inspección permanente al proceso de llenado.
- Los productos viscosos se adhieren y se acumulan con facilidad en las superficies con las que tienen contacto, por tanto es aconsejable hacer mantenimiento periódicamente a las partes mecánicas que estén en interacción constante con la miel.

CONCLUSIONES

- El desarrollo del proyecto generó un prototipo de una máquina automatizada capaz de dosificar y llenar envases con miel.
- Al utilizar un PLC en como dispositivo de control, se garantiza una velocidad de operación en el orden de milisegundos a un bajo costo en comparación con otros dispositivos industriales de control.
- El prototipo desarrollado puede ser empleado para la formación académica en el área de automatización de las ingenierías electromecánicas, en los niveles de pregrado y posgrado.
- Al ser un proyecto modular hace que se a más fácil su entendimiento, su mantenimiento y su desarrollo.
- Se desarrolló un programa en el software TWIDO Suite para controlar el proceso de envasado de la miel.
- Se implementó un sistema dosificador de miel que minimiza las pérdidas del producto en la etapa de llenado.
- Se realizó una proyección de costos para conocer la viabilidad económica del proyecto a nivel didáctico e industrial.
- Se comprobó que el diseño mecánico realizado cumple con los requerimientos necesarios para el envasado de un fluido con las características de la miel, como lo son su densidad y viscosidad.
- Al implementar una válvula de retención en la salida, se proporcionó un sistema anti-goteo que evita pérdidas del producto.
- Se diseño una interfaz gráfica que permite operar el sistema desde un terminal táctil o un computador, y además realiza el conteo de las botellas llenadas en el proceso.

REFERENCIAS

TEXTUALES

- [1] Tomado del Manual de Buenas Prácticas de Manufacturas de Miel, <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/ManualBPMexportadorasMIEL.pdf> accedido el 3 de noviembre de 2009.
- [2] Emilio García Moreno, “AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES: ROBÓTICA Y AUTOMÁTICA”, Editores [Universidad Politécnica de Valencia](#), Edición Primera, 1999.

REFERENCIAS DE IMÁGENES Y TABLAS

- [1] Tomado de Composition of American Honeys
- [2] Tomado de Apicultura tropical avanzada, Daniel Armstrong Pesante.
- [3] Obtenida de Resolución del 2008 por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que debe cumplir la Miel de Abejas para consumo humano
- [4] Obtenido del Capítulo III, Artículo 6. Resolución del 2008.
- [5] http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Colmena_movil.jpg
- [6] Tomado del Manual de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).
- [7] Imagen obtenida del registro fotográfico de la inauguración de la planta envasadora de miel de abejas de la Sierra Nevada de Santa Marta.
- [8] Imagen proporcionada por Tecnoembalaje Ltda.
- [9] Imagen proporcionada por la empresa Apinorte.
- [10] http://www.rodipur.com/compresores_22357.htm
- [11] <http://www.plataforma-n.com/webtonuke.php?web=articulos/modelismo/pintura5.htm>
- [12] <http://www.hidraulicaprado.com/productos.php?idcat=22400>
- [13] http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/095246_leseprobe_es.pdf
- [14] <http://www.youtube.com/watch?v=pwFBxBEV1Xs&NR=1>
- [15] http://indumatic.blogspot.com/2009/07/blog-post_829.html

- [16] <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica16.htm>
- [17] <http://www.industriasociadas.com/Airtac/Pdf/26.pdf>
- [18] Imagen tomada de la tesis Diseño de máquina dosificadora y empacadora de líquidos en bolsa de la Universidad de la Salle del 2005
- [19] <http://sensoresdeproximidad.galeon.com/>
- [20] <http://www.sabelotodo.org/aparatos/bombasimpulsion.html>
- [21] www.voltronic.net/fluidos/valvulas.html
- [22] <http://spanish.alibaba.com/product-free-img/bronze-swing-check-valve-242494586.html> , <http://www.valvulascheck.com/valvulas-industriales.htm>
- [23] Universidad de Carabobo Venezuela. Fundamentos de los PLC's. http://www.ing.uc.edu.ve/~emescobar/automat_l/contenido_menu/Unidad_IV/pag_ppal.htm [Consulta: 2009-11-21].
- [24] TELEMECANIQUE. Guía de hardware. Septiembre, 2007.
- [25] Imagen tomada de la tesis Automatización de torno para madera implementado mediante PLC, motores paso a paso y terminal táctil. Universidad Pontificia Bolivariana. 2010
- [26] Imagen proporcionada por el autor
- [27] Imagen tomada de Programa de logística inversa. Escrito por Arnulfo Arturo García Olivares
- [28] Tomado de Controladores lógicos programables. Manrique, Gerardo Antonio.

BIBLIOGRAFÍA

- <http://books.google.com.co/books?id=kta4crf5K8sC&pg=PA21&dq=definicion+de+instrumentacion+industrial&lr=#v=onepage&q&f=false> consultado Mayo 25 de 2010
- <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica16.htm> consultado Mayo 27 del 2010
- http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/transductoresensores/default3.asp consultado Mayo 27 del 2010
- http://www.equiposdidacticos.com/pdf/catalogos/Manual_Twido.pdf consultado Mayo 29 del 2010
- <http://www.sabelotodo.org/aparatos/bombasimpulsion.html> consultado Mayo 29 del 2010

- http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_check.html consultado Mayo 29 del 2010
- <http://www.plataforman.com/webtonuke.php?web=articulos/modelismo/pintura5.htm> consultado Mayo 30 del 2010
- <http://www.valvulascheck.com/valvulas/valvulas-swing-check.htm> consultado Mayo 30 del 2010
- <http://spanish.alibaba.com/product-ifm/sanitary-check-valve-239270549.html> consultado Mayo 30 del 2010
- <http://www.tcsimeters.com/index.php/es/productos/details/12/6/component-accessories/control-valves/spring-loaded-check-valve> consultado Mayo 30 del 2010
- <http://www.hidraulicaprado.com/productos.php?idcat=22400> consultado Mayo 30 del 2010
- http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/095246_leseprobe_es.pdf consultado Mayo 27 del 2010
- FESTO. Automatización Industrial en Colombia. Actuadores Neumático Lineales. <http://www.youtube.com/watch?v=pwFBxBEV1Xs&NR=1> [Consulta: 2009-30-06].
- http://indumatic.blogspot.com/2009/07/blog-post_829.html consulta Mayo 25 del 2010
- www.voltronic.net/fluidos/valvulas.html consulta Mayo 30 del 2010
- BOLTON, William. *Mecatrónica, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. Tercera edición. Editorial Alfa Omega. México D.F. Febrero, 2006.
- MARTINEZ SANCHEZ, Victoriano Angel. *Automatización Industrial Moderna*. Primera edición. Editorial Alfa Omega. México 2001
- CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. Quinta edición. Editorial Alfaomega. México 1995.
- GUILLÉN SALVADOR, Antonio. *Introducción a la Neumática*. Primera edición. Editorial Alfaomega. Colombia 1999.