



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA  
ENVASADORA DE YOGUR BASADA EN UN  
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AUTOMATIZACIÓN CON LÍNEA  
TERMINAL EN INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE  
PROCESOS

P R E S E N T A :

EMMANUEL HERNÁNDEZ SOLÍS

DIRIGIDO POR:

DR. MARIO TREJO PEREA

C.U. SANTIAGO DE QUERÉTARO. 2021





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA ENVASADORA DE  
YOGUR BASADA EN UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

**TESIS**

Que para obtener el Título de:

Ingeniero en Automatización, Con Línea Terminal En Instrumentación y  
Control de Procesos.

**Presenta:**

Emmanuel Hernández Solís

**Dirigido por:**

Dr. Mario Trejo Perea

**SINODALES**

Dr. Mario Trejo Perea

Presidente

\_\_\_\_\_

Firma

Dr. José Gabriel Ríos Moreno

Secretario

\_\_\_\_\_

Firma

Dr. Marco Antonio Aceves Fernández

Vocal

\_\_\_\_\_

Firma

Dr. Edgar Alejandro Rivas Araiza

Vocal

\_\_\_\_\_

Firma

# Resumen

En este trabajo se desarrolla la "Automatización de una máquina de envasado y de empaquetado de yogur", se muestra el diseño, la implementación y los resultados de dicho sistema utilizando un controlador lógico programable (PLC) el cual se encarga de ejecutar las instrucciones necesarias para realizar la secuencia de la máquina, además, se muestra la instrumentación que se tuvo que implementar para poder realizar el proceso de manera eficiente, repetitiva y de calidad. El diseño y la implementación del equipo que consta de actuadores y sensores tiene que garantizar una producción continua. La estación cuenta con seis puntos en los que realiza diferentes tareas para tener listo un vaso lleno de yogur: Posicionamiento del vaso, vaciado de yogur, colocación de tapa, verificación de la colocación, sellado y salida del vaso. Para empaquetar el vaso en la caja los vasos una vez llenos se llevarán de una base en la que son colocados gracias a tres ventosas que los moverán a la caja que será el producto final. La caja se mueve con un motor a pasos que se encarga de dejarla en la posición adecuada para que lleguen los siguientes vasos, la tarea que será realizada por el operador será únicamente quitar la caja llena y colocar una nueva. el control se realizó por medio de un PLC Micrologix 1200, el programa del PLC se estructuró mediante subrutinas de control para cada tarea que se debe realizar. El resultado de la automatización arrojó una producción de hasta 18 vasos por minuto obteniendo como resultado 2 cajas por minuto de producto final.

**Palabras clave:** Automatización, PLC, Producción, Eficiencia, Repetitividad y Calidad

# Dedicatoria

Dedico mi tesis con todo mi amor y cariño a mis padres, pues ellos han forjado a la persona que soy hoy en día, muchos de los logros que he alcanzado se los debo a su apoyo incondicional y éste no es la excepción ya que gracias a ellos hoy alcanzo una meta muy importante en mi vida, ser ingeniero.

**Gracias madre y padre.**

# Agradecimientos

A mi asesor: **Dr. Mario Trejo Perea**, por el apoyo y dirección para terminar este trabajo de tesis.

A mi profesor y amigo: **Ing. José Luis Avendaño Juárez**, por permitirme realizar este proyecto.

A mis padres: **Lidia Isabel Solís Castro** y **Emigdio Hernández Herrera**, por fomentar en mi las ganas de salir adelante.

A mi hermana: **Sofía Irene Hernández Solís**, por apoyarme a lo largo de mi carrera.

A mi hermano: **Erick Emigdio Hernández Solís**, por mostrarme el camino hacia el éxito profesional.

A mi apoyo incondicional: **Cinthia Odile Benítez Gutiérrez**, por ayudarme a hacer las cosas correctamente durante mi carrera.

A todos mis maestros por sus enseñanzas:

**Valentín, Víctor, Rivas, Aceves, Gabriel, Aurelio, Toledano, Edna, Carlos, etc.**

A mis amigos:

**Martín, Beto, Chinos, Memo, Alan.**

# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>II</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>III</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>IV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. La Automatización . . . . .	1
1.1.1. Definición . . . . .	1
1.1.2. Inicios . . . . .	1
1.1.3. Control automático . . . . .	4
1.2. La Automatización industrial . . . . .	6
1.2.1. Tipos de automatización . . . . .	6
1.2.2. La automatización en la industria alimenticia . . . . .	7
1.3. Descripción del proyecto . . . . .	11
1.4. Hipótesis . . . . .	11
1.5. Objetivo . . . . .	11
1.5.1. Objetivo general . . . . .	11
1.5.2. Objetivo específico . . . . .	11
1.6. Justificación . . . . .	12
1.6.1. Aspecto económico . . . . .	12
1.6.2. Aspecto social . . . . .	12
1.6.3. Aspecto ecológico . . . . .	12
1.7. Estructura de la tesis . . . . .	12
<b>2. Marco teórico</b>	<b>13</b>
2.1. PLC . . . . .	13

2.1.1.	Definición y principales características . . . . .	13
2.1.2.	Ventajas e inconvenientes . . . . .	14
2.1.3.	Estructura de un PLC . . . . .	15
2.1.4.	Funcionamiento . . . . .	16
2.1.5.	Programación Ladder . . . . .	16
2.1.6.	Módulos de expansión . . . . .	17
2.2.	Control PID . . . . .	19
2.2.1.	Características PID Básicas . . . . .	19
<b>3.</b>	<b>Materiales y metodología</b>	<b>22</b>
3.1.	Arranque del proyecto . . . . .	22
3.1.1.	Idea . . . . .	22
3.2.	Estudio de materiales disponibles . . . . .	22
3.3.	Lugar . . . . .	24
3.4.	Conceptualización del proceso . . . . .	25
3.5.	Diseño mecánico . . . . .	25
3.5.1.	Diseño conceptual . . . . .	25
3.5.2.	Diseño detallado . . . . .	26
3.6.	Selección del controlador lógico programable . . . . .	33
3.7.	Selección de actuadores . . . . .	35
3.7.1.	Motor para el disco giratorio . . . . .	38
3.7.2.	Motor para la caja . . . . .	40
3.7.3.	Neumática . . . . .	40
3.7.4.	Termosellado . . . . .	41
3.8.	Diagrama neumático . . . . .	42
<b>4.</b>	<b>Resultados</b>	<b>44</b>
4.1.	Dispensadora de vasos . . . . .	44
4.2.	Dispensadora de yogur . . . . .	45
4.3.	Mecanismo para la colocación de la tapa . . . . .	47
4.4.	Sensores . . . . .	48
4.5.	Resistencia para el sellado . . . . .	49
4.6.	Base para vasos . . . . .	50
4.7.	Ventosas . . . . .	50
4.8.	Base y banda para la caja . . . . .	51

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	VII
4.9. Máquina completa . . . . .	52
<b>5. Conclusiones</b>	<b>53</b>
<b>Anexos</b>	<b>57</b>

Dirección General de Bibliotecas UAQ

# Índice de figuras

1.1. Diagrama de bloques de un controlador. . . . .	4
1.2. Máquina Automática para dosificado de productos viscosos. . . . .	9
1.3. Máquina Automática para dosificado de productos líquidos. . . . .	10
1.4. Máquina Automática para dosificado de productos corrosivos. . . . .	11
2.1. Diagrama de escaleras. . . . .	17
2.2. Lazo de control realimentado. . . . .	20
2.3. Simulación de un sistema a lazo cerrado con control proporcional. . . . .	20
2.4. Simulación de un sistema a lazo cerrado con control proporcional-integrador (PI) . . . . .	20
2.5. Simulación de un sistema a lazo cerrado con controlador PID. . . . .	21
2.6. Se compara el efecto predictivo de la acción derivadora y su relación con la dinámica del sistema. La predicción (1) es aceptable. . . . .	21
3.1. Diagrama de flujo. . . . .	25
3.2. Disco giratorio. . . . .	26
3.3. Dispensadora de vasos. . . . .	27
3.4. Tolva . . . . .	28
3.5. Mecanismo para colocación de tapa. . . . .	28
3.6. Sensor inductivo. . . . .	29
3.7. Principio de funcionamiento de sensor inductivo. . . . .	30
3.8. Sensores. . . . .	30
3.9. resistencia. . . . .	31
3.10. Controlador de temperatura TC4S-14R. . . . .	31
3.11. Base para vasos. . . . .	32
3.13. Mecanismo para movimiento de la caja. . . . .	32
3.12. Mecanismo para movimiento de ventosas. . . . .	33

3.14. PLC Allen Bradley MicroLogix 1500. . . . .	34
3.15. PLC Siemens S7-1200. . . . .	35
3.16. Tipos de actuadores. . . . .	36
3.17. Cilindro de simple efecto. . . . .	36
3.18. Cilindro de doble efecto. . . . .	37
3.19. Electroválvula 3/2. . . . .	38
3.20. Electroválvula 5/2. . . . .	38
3.21. Servomotor ASDA-A2. . . . .	39
3.22. Servo drive ASDA-A2. . . . .	40
3.23. Diagrama neumático. . . . .	43
4.1. Dispensadora de vasos. . . . .	44
4.2. Dispensadora de yogur. . . . .	45
4.3. Sensor de presión Mpx2050. . . . .	45
4.4. Relación presión-voltaje del Mpx2050. . . . .	46
4.5. Mecanismo para la colocación de la tapa. . . . .	47
4.6. Sensores. . . . .	48
4.7. Resistencia para el sellado. . . . .	49
4.8. Base para vasos. . . . .	50
4.9. Ventosas. . . . .	51
4.10. Base y banda para la caja. . . . .	51
4.11. Máquina completa. . . . .	52

Dirección General de Bibliotecas UNQ

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. La Automatización

#### 1.1.1. Definición

El concepto de automatización (del griego autos que significa "*por si mismo*") corresponde a la necesidad de minimizar la intervención humana en los procesos de gobierno directo en la producción, vale decir, ahorrar esfuerzo laboral [1]. Es la disciplina de control que se basa en el uso de sistemas embebidos y electromecánicos para controlar procesos industriales. abarca control, sistemas digitales, supervisión, gestión de datos, accionamientos, instrumentación y comunicaciones [2].

#### 1.1.2. Inicios

Los orígenes de la automatización se encuentran en la prehistoria, con el desarrollo de las máquinas simples que minimizaban la fuerza que debían hacer las personas. La energía animal o humana, con el tiempo, comenzó a reemplazarse por energías renovables (como la energía eólica o la energía hidráulica).

La siguiente etapa en el desarrollo de la automatización consistió en el uso de mecanismos de relojería para la repetición de acciones. A través de la historia el hombre ha recurrido a diferentes técnicas para así poder reducir los tiempos y mejorar la calidad de los procesos, pero es desde principios del siglo XX en donde se comienza a implementar la automatización para procesos complejos utilizando elementos mecánicos y electromecánicos (motores, relés, temporizadores, contadores, etc.), desde entonces se ha generado una carrera por la mejora

de la automatización en todo el mundo, de lo cual en la actualidad se cuenta con tecnologías avanzadas de control y comunicación con redes de producción autómatas de gran variedad e inclusive la implantación de estos fuera de la industria, como aplicaciones domésticas, quirúrgicas, de exploración, sociales, de vigilancia, etc. [3].

Un nuevo impulso se produjo en la Automatización con la división del trabajo nacida en Norteamérica gracias a ingenieros y organizadores científicos del trabajo, que tuvo lugar en 1917 al instalarse en Estados Unidos la primera central automática. La división del trabajo consiste en reducir un proceso de fabricación a sus fases más pequeñas y el trabajo es dividido entre varias personas, con la finalidad de incrementar la producción y reducir el nivel de especialización de los obreros, así como también asegurar que se haga un trabajo de mejor calidad.

La fabricación automatizada surgió de la íntima relación entre fuerzas económicas e innovaciones técnicas como la división del trabajo, la transferencia de energía y la mecanización de las fábricas, y el desarrollo de las máquinas de transferencia y sistemas de alimentación. La división del trabajo o sea la reducción de un proceso de fabricación o de prestación de servicios a sus fases independientes más pequeñas se desarrolló en la segunda mitad del siglo XVIII, y fue analizada por primera vez por el economista británico Adam Smith en su libro *Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones* (1776). En la fabricación, la división del trabajo permitió incrementar la producción y reducir el nivel de especialización de los obreros. La mecanización fue la siguiente etapa necesaria para la revolución hacia la automatización. La simplificación del trabajo permitida por la división del trabajo también permitió el diseño y construcción de máquinas que reproducían los movimientos del trabajador. A medida que evolucionó la tecnología de transferencia de energía, estas máquinas especializadas se motorizaron, aumentando así su eficacia productiva. El desarrollo de la tecnología energética también dio lugar al surgimiento del sistema industrial de producción, ya que todos los trabajadores y máquinas debían estar situados junto a la fuente de energía. La máquina de transferencia es un dispositivo utilizado para mover la pieza que se está trabajando desde una máquina herramienta especializada hasta otra, colocándola de forma adecuada para la siguiente operación de maquinado. Los robots industriales, diseñados en un principio para realizar tareas sencillas en entornos peligrosos para los trabajadores, son hoy extremadamente hábiles y se utilizan para trasladar, manipular y situar piezas ligeras y pesadas, realizando así todas las funciones de una máquina de transferencia. En realidad, se trata de varias máquinas separadas que están integradas en lo que a simple vista podría con-

siderarse una sola. En la década de 1920 la industria del automóvil cambió estos conceptos en un sistema de producción integrado. El objetivo de este sistema de línea de montaje era reducir los precios. A pesar de los avances más recientes, éste es el sistema de producción con el que la mayoría de la gente asocia el término automatización. [3].

La parte más visible de la automatización actual puede ser la robótica industrial. Algunas ventajas son repetitividad, control de calidad más estrecho, mayor eficiencia, integración con sistemas empresariales, incremento de productividad y reducción de trabajo. Algunas desventajas son requerimientos de un gran capital, decremento severo en la flexibilidad, y un incremento en la dependencia del mantenimiento y reparación. Por ejemplo, Japón ha tenido necesidad de retirar muchos de sus robots industriales cuando encontraron que eran incapaces de adaptarse a los cambios dramáticos de los requerimientos de producción y no eran capaces de justificar sus altos costos iniciales [4].

La producción a gran escala involucra tareas repetitivas, donde se debe mantener, además, un conjunto de magnitudes (por ejemplo, la presión, la temperatura, etc.) dentro de márgenes preestablecidos. La aplicación de los dispositivos electromecánicos y electrónicos en el área industrial permitió automatizar las tareas repetitivas, aumentando así los niveles de producción, y controlar las magnitudes físicas en forma más precisa [5].

Para mediados del siglo XX, la automatización había existido por muchos años en una escala pequeña, utilizando mecanismos simples para automatizar tareas sencillas de manufactura. Sin embargo, el concepto solamente llegó a ser realmente práctico con la adición (y evolución) de las computadoras digitales, cuya flexibilidad permitió manejar cualquier clase de tarea. Las computadoras digitales con la combinación requerida de velocidad, poder de cómputo, precio y tamaño empezaron a aparecer en la década de 1960. Antes de ese tiempo, las computadoras industriales eran exclusivamente computadoras analógicas y computadoras híbridas. Desde entonces las computadoras digitales tomaron el control de la mayoría de las tareas simples, repetitivas, tareas semi-especializadas y especializadas, con algunas excepciones notables en la producción e inspección de alimentos.

Para [6] en, las industrias también se han visto afectadas por el fenómeno de la modernización, con el uso de la fabricación asistida por ordenador o el software de ingeniería asistida por ordenador. Además, se ha aumentado el uso de la automatización y los robots, las máqui-

nas de inspección visual, el control a tiempo real de la producción, los sistemas avanzados de fabricación y el modelado y recreación virtual de procesos y fábricas enteras, mediante software de simulación de producción asistida por ordenador.

### 1.1.3. Control automático

Las aplicaciones del control automático en la actualidad son muy extensas, variadas e importantes. Quizá una de las más populares es la del control de robots manipuladores en la industria de manufactura. Desde las líneas de ensamble de automóviles hasta las celdas robotizadas de soldadura. Las razones principales para este éxito es la alta calidad del trabajo, el ahorro de tiempo y la reducción del costo de producción [7].

#### Composición de un sistema básico de control

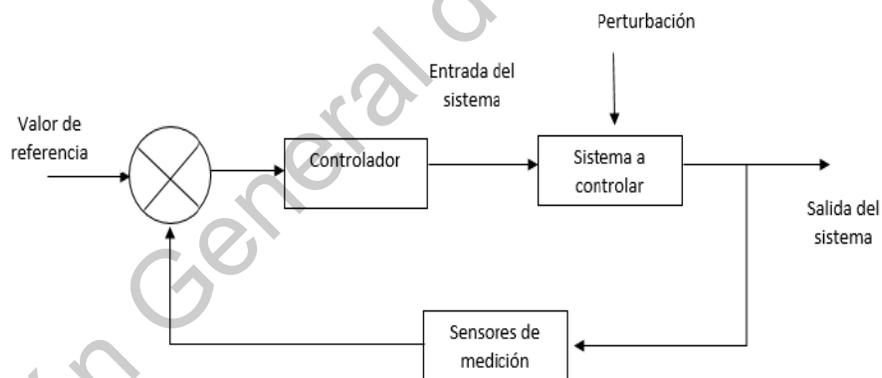


Figura 1.1: Diagrama de bloques de un controlador.

- **Valor de referencia:** Es el valor ideal que se pretende obtener a la salida del sistema controlado. En un sistema más complejo, la salida es censada y comparada con el valor de referencia a fin de determinar la diferencia entre ambas para reducir el error de salida.
- **Controlador:** Regula presiones, temperaturas, niveles y caudales, así como todas las funciones asociadas de temporización, cadencia, conteo y lógica.

- Sistema Es la combinación de componentes que interactúan para lograr un determinado objetivo. En este caso el sistema es el objeto a controlar.
- Entrada del sistema: Es una variable que al ser modificada en su magnitud o condición puede alterar el estado del sistema.
- Salida del sistema: Es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, etc.).
- Perturbación: Es una señal que tiende a afectar el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se le denomina interna, mientras que la perturbación externa se genera afuera del sistema y constituye una entrada.
- Sensores o transductores: Captan las magnitudes del sistema, para saber el estado del proceso que se controla.

Pero, ¿Qué tan importante es el control automático? Quizás, para comprender y apreciar su importancia necesitamos imaginar su ausencia. Sabemos, por ejemplo, que la energía eléctrica es importante en nuestra vida cotidiana, pero tendemos a olvidar este hecho o darlo por sentado. Realmente apreciamos la importancia de la electricidad cuando hay una interrupción de energía eléctrica, un apagón, incluso uno corto. Tales interrupciones de energía eléctrica también pueden poner vidas en riesgo significativo, porque los pacientes en hospitales o en el hogar dependen de tener disponible la energía eléctrica. Es similar para la comunicación telefónica o internet, donde hay una pérdida de servicio que interrumpe nuestras vidas muestra claramente cuán dependientes somos de estos servicios. Para mostrar claramente qué es el control automático y cuán importante es para nosotros, trataremos de imaginar qué día sin el control automático. Es importante preguntarnos, ¿Cómo funciona el control automático? Funciona mediante el uso de control de retroalimentación. La información sobre la variable de salida que medimos se utiliza para ajustar la variable de entrada que podemos controlar. Cuando la salida es demasiado alta, el nivel de entrada se reduce y cuando la salida es demasiado baja, la entrada se aumenta. En un motor, por ejemplo, si las rpm (revoluciones por minuto) de la salida (la velocidad angular del eje) disminuye debido a una carga (levantar una carga pesada con una grúa o en una ascensor), entonces el voltaje de entrada aumenta automáticamente, lo que hace que las rpm aumenten. Usar Un ejemplo de la biología humana, si la temperatura de nuestro cuerpo aumenta en un día caluroso, la transpiración se utiliza para enfriar el cuerpo por evaporación [8].

## 1.2. La Automatización industrial

La automatización industrial, considerada como el manejo de la información en las empresas para la toma de decisiones en tiempo real, incorpora la informática y el control automatizado para la ejecución autónoma y de forma óptima de procesos diseñados según criterios de ingeniería y en consonancia con los planes de la dirección empresarial [9].

### 1.2.1. Tipos de automatización

De acuerdo con [10] en el sector industrial podemos distinguir tres tipos de automatización según el grado de producción y las necesidades de las empresas:

1. Automatización fija: Diseñada para la manufactura a gran escala, se utiliza una máquina o equipo especializado para producir una parte de un producto o el producto en sí mismo, en una secuencia fija y continua. Este tipo de automatización es ideal en la fabricación de grandes volúmenes de productos que tienen un ciclo de vida largo, un diseño invariable y una amplia demanda de los consumidores. Sus principales limitaciones son el alto costo de la inversión inicial y la poca flexibilidad del equipo para adaptarse a los cambios del producto.
2. Automatización programable: Adecuada para un volumen de producción más pequeño, segmentado por lotes. Permite cambiar o reprogramar la secuencia de operación, por medio de un software, para incluir las variaciones del producto. Entre los equipos más usados para este tipo de automatización se encuentran las máquinas de control numérico, los robots y los controladores lógicos programables.
3. Automatización flexible: Pensada para un nivel de producción medio. Es la ampliación de la automatización programable. Reduce el tiempo de programación del equipo y permite alternar la elaboración de dos productos (en series) al mezclar diferentes variables. La flexibilidad se refiere a la capacidad de los equipos para admitir los cambios en el diseño y configuración del producto, reduciendo así los costos para las compañías.

A su vez [11] nos dice que la automatización está dividida en tres niveles:

1. Nivel elemental. Corresponde a los sistemas automatizados que realizan tareas de vigilancia, inspección, posicionamiento y funciones de seguridad dentro de un proceso industrial.

2. Nivel intermedio. Este nivel hace referencia a los sistemas de control jerárquico y aparece como consecuencia del desarrollo del control multicapa, el cual genera la ampliación de las tareas de control y se base en conceptos de planificación y gestión empresarial mediante la asignación de tareas a diferentes niveles.
3. Nivel superior. En este nivel aparecen los sistemas de control distribuidos, los cuales son sistemas destinados al control de grandes o pequeñas plantas de procesos, fundamentalmente de tipo continuo, con capacidad de llevar a cabo el control integral de la planta. Se caracterizan por un fuerte componente informático y una estructura jerarquizada.

El proceso productivo dentro de la industria está referido a la utilización de recursos operacionales que permiten transformar la materia prima en un resultado deseado, que bien pudiera ser un producto terminado. En el marco de globalización y de competitividad en que se halla inmersa la economía mundial, se hace necesario realizar un análisis estratégico del proceso productivo en el sector industrial, para estar en sintonía con las nuevas exigencias, y así evitar queda desfasado por las fuerzas competitivas del mercado, una buena implementación dentro de la industria nos va a permitir tener controlados estos parámetros [12].

### **1.2.2. La automatización en la industria alimenticia**

La automatización usada por una empresa es una clave esencial para aumentar la productividad, acortar el lanzamiento de productos y cumplir las exigencias del mercado. Estos retos se presentan tanto en la industria de procesos como en la industria manufacturera y también en sectores híbridos, es decir con etapas de producción tipo proceso y tipo manufacturero, como es la industria alimentaria.

El término industrias alimentarias abarca un conjunto de actividades industriales dirigidas al tratamiento, la transformación, la preparación, la conservación y el envasado de productos alimenticios (véase la Tabla 1.1). En general, las materias primas utilizadas son de origen vegetal o animal y se producen en explotaciones agrarias, ganaderas y pesqueras [13]

Tabla 1.1: Las industrias alimentarias, sus materias primas y procesos.

Industria	Materiales elaborados	Requisitos de almacenamiento	Técnicas de elaboración	Técnicas de preservación	Empaquetado de productos terminados
Conservación de frutas y verduras	Frutas y verduras frescas	Elaboración inmediata; las frutas pueden estabilizarse con dióxido de azufre	Escaldado o cocción, triturado, concentración de zumos al vacío	Esterilización, pasteurización, secado, deshidratación, liofilización (secado por congelación)	Sacos, latas o botellas de vidrio o plástico
Elaboración de galletas	Harina, nata, mantequilla, azúcar, fruta y condimentos	Silos, sacos de grandes dimensiones y bolsas	Mezcla, amasado, moldeo de estratificado	Cocción en horno, tratamientos de superficie de corte y empaquetado	Bolsas, cajas para establecimientos institucionales y minoristas
<b>Elaboración de leche y productos lácteos</b>	<b>Leche, azúcar, otros ingredientes</b>	<b>Elaboración inmediata; elaboración posterior en cubas de maduración, cubas acondicionadas, almacén refrigerado</b>	<b>Desnatado, batido (mantequilla), coagulación (queso), maduración</b>	<b>Pasteurización, esterilización o concentración, desecación</b>	<b>Botellas, envueltas de plástico, cajas (queso) o a granel</b>

El último proceso por el que pasan los alimentos es el envasado por lo que existen numerosos métodos, entre los más destacables están el enlatado, el envasado aséptico y el envasado por congelación.

A continuación, se da a conocer algunas máquinas que en la actualidad, se están utilizando en la industria en el proceso de envasado de diferentes sustancias.

Máquina Automática para dosificado de productos viscosos. Ideal para envasar yogur, salsa de tomate, cremas, jaleas etc. [14], esta máquina se muestra en la Figura 1.2

### Características:

- Cinta transportadora con cadena plástica y estructura en acero inoxidable con variador de velocidad.

- Tanque en acero inoxidable para carga del producto.
- Sistema automático de llenado con válvulas en acero inoxidable de acción volumétrica comandado por un cilindro neumático.
- Sistema de selección de envase automático.
- Panel de control con PLC y pantalla táctil.



Figura 1.2: Máquina Automática para dosificación de productos viscosos.

Máquina Automática para dosificación de productos líquidos. Para envasar jugos, agua, leche, aceite, perfumes, jarabes, shampoo, productos de limpieza, etc. Disponible con 2 a 12 bocas de llenado y puede acomodar tamaños de contenedores que van desde ml a litros múltiples [14], esta máquina se muestra en la Figura 1.3

### **Características:**

- Banda transportadora con cadena plástica y estructura en acero inoxidable con velocidad variable.
- Tanque de acero inoxidable para recirculación del producto.
- Una bomba centrífuga de inyección de producto en acero inoxidable con velocidad variable.
- Sistema de sube y baja para las válvulas.
- Sistema de selección de envases automático.

- Panel de control con PLC y pantalla táctil. Todos los tiempos se regulan a través de la pantalla.
- Rápida instalación de cambio de un recipiente a otra.



Figura 1.3: Máquina Automática para dosificado de productos líquidos.

Máquina Automática para dosificado de productos corrosivos. Equipo fabricado en PVC, que es la denominación por el cual se conoce al policloruro de vinilo, ideal para envasar productos corrosivos como el cloro entre otros [14]. esta máquina se muestra en la Figura 1.4).

### Características:

- Cinta transportadora de 9 pulgadas de largo con cadena y estructura plástica con velocidad variable.
- Volumen a llenar hasta 1 galón.
- Bomba centrífuga de polímero para inyección de producto con velocidad variable.
- Sistema de selección de envases automático.
- Panel de control con PLC y pantalla táctil. Todos los tiempos se regulan a través de la pantalla.
- Disponible con 2 a 12 bocas de llenado de PVC.
- Capacidad de producción: 1500-2000 L/H (litros/hora, con equipos de 6 válvulas).



Figura 1.4: Máquina Automática para dosificado de productos corrosivos.

### **1.3. Descripción del proyecto**

### **1.4. Hipótesis**

Se desarrollará una máquina envasadora de yogur la cual será de hasta un 50 por ciento más barata comparada con las máquinas comerciales ya existentes; además se prevé que la máquina será capaz de llenar hasta 18 vasos por minuto obteniendo como resultado 2 cajas de producto final.

### **1.5. Objetivo**

#### **1.5.1. Objetivo general**

Desarrollo y construcción de máquina envasadora y empaquetadora de yogur basada en un controlador lógico programable para lograr una automatización integral y de bajo costo para maximizar la producción con una máquina de fabricación nacional.

#### **1.5.2. Objetivo específico**

- Diseñar un plan de trabajo para realizar el proyecto en tiempo y forma.
- Identificar los materiales existentes y faltantes para el desarrollo del proyecto.
- Desarrollar el diagrama de escalera para el PLC de manera óptima.

- Estudiar el comportamiento de la máquina durante las pruebas para así lograr un proceso de calidad y repetibilidad.
- Analizar los resultados para poder confirmar un buen desempeño por parte del proyecto.

## **1.6. Justificación**

### **1.6.1. Aspecto económico**

Este proyecto está pensado para realizarse con un bajo costo para que así, las pequeñas y medianas empresas que están en desarrollo puedan tener un proceso automatizado llevándolas a un ahorro en su producción.

### **1.6.2. Aspecto social**

Para la realización de este proyecto, la ingeniería es totalmente mexicana, de este modo cuando se requiera dar mantenimiento o la producción del mismo, se generarán empleos dentro de la nación. Además con este proyecto podemos demostrar que la ingeniería en México está a la vanguardia.

### **1.6.3. Aspecto ecológico**

A diferencia de las máquinas ya existentes, en este proyecto se plantea utilizar en la mayoría de los actuadores energía neumática y no eléctrica, reduciendo de este modo la contaminación generada por su uso.

## **1.7. Estructura de la tesis**

Durante el desarrollo de esta tesis se muestra el diseño, la fabricación y la implementación de la automatización para una máquina encargada de envasar yogur.

La estructura de la tesis se desenvuelve de la siguiente manera: Capítulo 1 Introducción, Capítulo 2 Consideraciones teóricas, Capítulo 3 Metodología, Capítulo 4 Resultados, Conclusiones, Bibliografía y Anexos.

# Capítulo 2

## Marco teórico

### 2.1. PLC

#### 2.1.1. Definición y principales características

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) que dice que un PLC es:

*“Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”.*

El campo de aplicación de los PLCs es muy diverso e incluye diversos tipos de industrias (ej. automoción, aeroespacial, construcción, etc.), así como de maquinaria. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías copia de seguridad o en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real duro donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, que de lo contrario no producirá el resultado deseado.

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentran que, gracias a ellos, es posible realizar operaciones en tiempo real, debido a su disminuido tiempo de reacción. Además, son dispositivos que se adaptan fácilmente a nuevas tareas debido a su flexibilidad a la hora de programarlos, reduciendo así los costos adicionales a la hora de elaborar proyectos. Permiten también una comunicación inmediata con otro tipo de controladores y ordenadores e incluso permiten realizar las operaciones en red. Como ya se ha mencionado previamente, tienen una construcción estable al estar diseñados para poder resistir condiciones adversas sobre vibraciones, temperatura, humedad y ruidos. Son fácilmente programables por medio de lenguajes de programación bastante comprensibles. Sin embargo, presentan ciertas desventajas como la necesidad de contar con técnicos cualificados para ocuparse de su buen funcionamiento.

### 2.1.2. Ventajas e inconvenientes

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Las ventajas mostradas a continuación se basan en un PLC de nivel medio. En [15] podemos encontrar que las ventajas más destacables es el menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:

- No es necesario dibujar el esquema de contactos.
- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente se eliminará parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra en la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.

- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado.

Igualmente [15] nos menciona que los principales inconvenientes son, en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a capacitar a uno de los técnicos en tal sentido, pero hoy en día ese inconveniente está solucionado porque las universidades ya se encargan de dicho adiestramiento. El costo inicial también puede ser un inconveniente.

### 2.1.3. Estructura de un PLC

Los elementos esenciales, que como mínimo todo autómatas programable posee son:

- Sección de entradas: se trata de líneas de entrada, las cuales pueden ser del tipo digital o analógico. En ambos casos tenemos unos rangos de tensión característicos, los cuales se encuentran en las hojas de características del fabricante. A estas líneas conectaremos los sensores.
- Sección de salidas: son una serie de línea de salida, que también pueden ser de carácter digital o analógico. A estas líneas conectaremos los actuadores
- Unidad central de proceso (CPU): se encarga de procesar el programa de usuario que introduciremos, para ello disponemos de diversas zonas de memoria, instrucciones de programa y registros.

Tanto las entradas como las salidas están aisladas de la CPU según el tipo de autómatas que utilicemos. Normalmente se suelen emplear opto acopladores en las entradas relevadores y salidas. Aparte de estos elementos podemos disponer de los siguientes:

- Unidad de alimentación (algunas CPU la llevan incluida).
- Unidad o consola de programación: que nos permitirá introducir, modificar y supervisar al programa del usuario
- Dispositivos periféricos: como nuevas unidades de E/S, más memoria unidades de comunicación en red, etc.
- Interfaces: facilitan la comunicación del autómatas mediante enlace serie con otros dispositivos (como una computadora personal).

### 2.1.4. Funcionamiento

Los autómatas programables son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas ordenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la planta (aplicación): al detectarse cambios en las señales, el autómata reacciona según el programa hasta obtener las ordenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

La secuencia básica de operación del autómata se puede dividir en tres fases principales:

- a. Lectura de señales desde la interfaz de entradas.
- b. Procesado del programa para obtención de las señales de control.
- c. Escritura de señales en la interfaz de salidas.

A fin de optimizar el tiempo, la lectura y escritura de las señales se realiza a la vez para todas las entradas y salidas; Entonces, las entradas leídas de los módulos de entrada se guardan en una memoria temporal (imagen entradas), a esta acude la unidad de procesamiento central en la ejecución del programa, y según se va obteniendo las salidas, se guardan en otra memoria temporal (imagen de salida). Una vez ejecutado el programa completo, estas imágenes de salida se transfieren todas a la vez al módulo de salida.

El autómata MicroLogix 1500 de Allan-Bradley (utilizado para este proyecto) puede trabajar de tres formas diferentes:

1. Program: El PLC está en reposo y puede recibir o enviar el programa a un periférico.
2. Monitor: El PLC ejecuta el programa que tiene en memoria.
3. Run: El PLC ejecuta el programa que tiene en memoria permitiendo el cambio de valores en los registros del mismo.

### 2.1.5. Programación Ladder

El diagrama de contactos (ladder diagram LD) es un lenguaje que utiliza un juego estandarizado de símbolos de programación. En el estándar IEC los símbolos han sido racionalizados (se ha reducido su número).

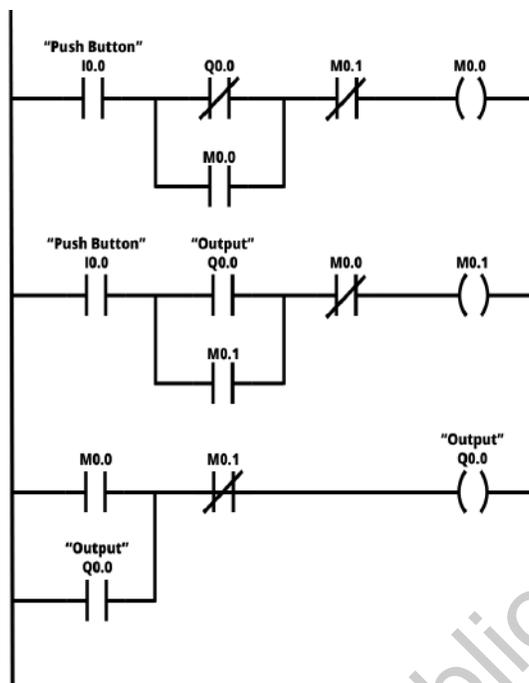


Figura 2.1: Diagrama de escaleras.

La programación en escalera (Ladder) de alguna forma se ha ido normalizando y ya casi la mayoría de los fabricantes presentan y programan sus PLC en formatos muy parecidos, algunos ejemplos en la Figura 2.1.

### 2.1.6. Módulos de expansión

Los Controladores Lógicos Programables pueden ampliar su funcionalidad con un hardware que es agregado para permitirle ampliar aspectos como las entradas digitales, entradas analógicas, salidas digitales, salidas analógicas, salidas tipo relé y por supuesto distintos protocolos de comunicación.

Módulos de entradas digitales:

Los módulos de entrada digitales permiten conectar al autómata captadores de tipo todo o nada como finales de carrera pulsadores.

Estos módulos trabajan con señales de tensión, por ejemplo, cuando por una vía llegan 24 voltios se interpreta como un “1” y cuando llegan cero voltios se interpreta como un “0”.

El proceso de adquisición de la señal digital consta de varias etapas.

1. Protección contra sobretensiones.

2. Filtrado.
3. Puesta en forma de la onda.
4. Aislamiento galvánico o por optoacoplador.

#### Módulos de salidas digitales

Un módulo de salida digital permite al autómata programable actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admitan ordenes de tipo todo o nada.

El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relé interno del autómata en el caso de módulos de salidas a relé.

En los módulos estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relés internos al módulo.

Los módulos de salidas estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre elementos que trabajan todos a la misma tensión, en cambio los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas.

El proceso de envío de la señal digital consta de varias etapas:

1. Puesta en forma.
2. Aislamiento.
3. Circuito de mando (relé interno).
4. Protección electrónica.
5. Tratamiento cortocircuitos.

#### Módulos de entradas analógicas:

Los módulos de entradas analógicas permiten que los autómatas programables trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales de tipo analógico como pueden ser la temperatura, la presión o el caudal.

Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable interna del autómata. Lo que realiza es una conversión A/D, puesto que el autómata solo trabajar con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

Los módulos de entrada analógica pueden leer tensión o intensidad.

El proceso de adquisición de la señal analógica consta de varias etapas:

1. Filtrado.
2. Conversión A/D.
3. Memoria interna.

#### Salidas analógicas

Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómata se convierta en tensión o intensidad.

Lo que realiza es una conversión D/A, puesto que el autómata solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para actuadores que admitan mando analógico como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de los tiristores de los hornos, reguladores de temperatura, etc. permitiendo al autómata realiza funciones de regulación y control de procesos continuos.

El proceso de envío de la señal analógica consta de varias etapas:

1. Aislamiento galvánico.
2. Conversión D/A.
3. Circuitos de amplificación y adaptación.
4. Protección electrónica de la salida

## 2.2. Control PID

### 2.2.1. Características PID Básicas

Se muestra una síntesis de las características del controlador PID, para lo cual:

$$u(t) = K \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \sum_{i=1}^t e(i) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2.1)$$

cuyas variables se explicitan en el lazo de control de la Figura 2.2.

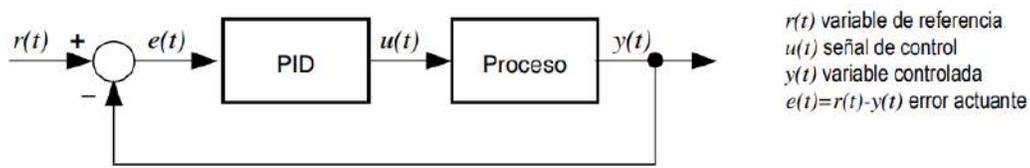


Figura 2.2: Lazo de control realimentado.

Los efectos de las acciones proporcional, integradora y derivadora se ilustran en las Figuras 2.3, 2.4, 2.5 respectivamente, en las que se muestran para un proceso de tercer orden, las respuestas temporales de  $y(t)$  para una variación en escalón unitario de la variable de referencia o punto de ajuste (en inglés: set-point).

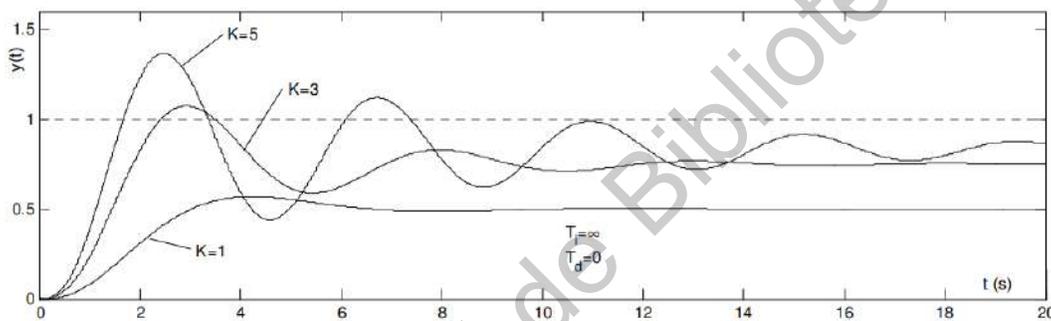


Figura 2.3: Simulación de un sistema a lazo cerrado con control proporcional.

Con control puramente proporcional, el error en estado de régimen disminuye cuando  $K$  aumenta, pero el sistema se hace más oscilatorio.

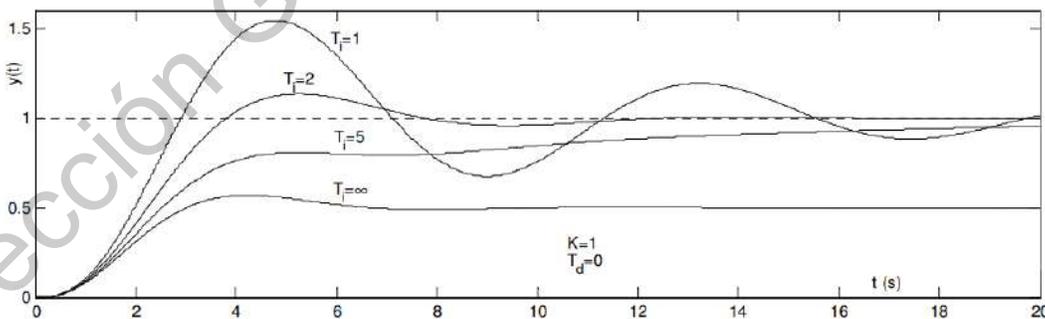


Figura 2.4: Simulación de un sistema a lazo cerrado con control proporcional-integrador (PI)

Al agregar la componente integradora comprobamos que su efecto se incrementa a medida que  $T_i$  disminuye. En la Figura 2.4 observamos que el error de régimen desaparece. La tendencia a la oscilación crece a medida que  $T_i$  se va haciendo más pequeño.

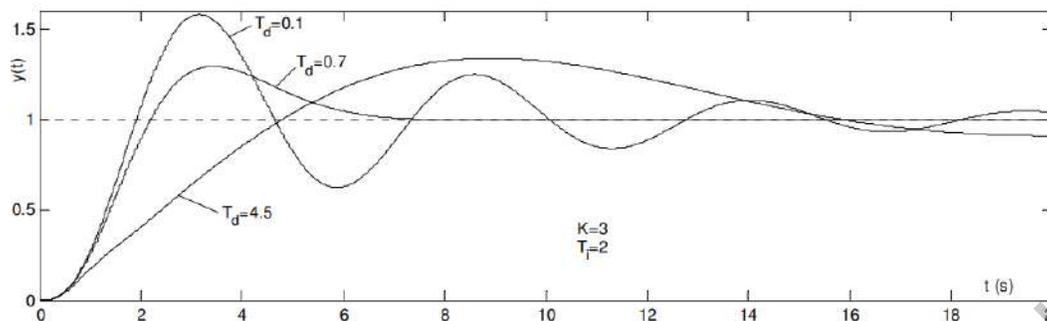


Figura 2.5: Simulación de un sistema a lazo cerrado con controlador PID.

La Figura 2.5 muestra el efecto derivador. Los parámetros  $K$  y  $T_i$  elegidos hacen oscilatorio (con  $T_d$  nulo) al sistema de lazo cerrado (con un período de aproximadamente 6 segundos). A medida que crece  $T_d$  aumenta el amortiguamiento, pero éste vuelve a decrecer si  $T_d$  se hace demasiado grande. Teniendo en cuenta que la acción derivadora puede interpretarse como una predicción basada en una extrapolación lineal durante el tiempo  $T_d$ , vemos que esa predicción resulta inútil si  $T_d$  se hace grande respecto del período de oscilación no amortiguado. La relación de  $T_d$  con la dinámica del sistema se explicita en la Figura 2.6.

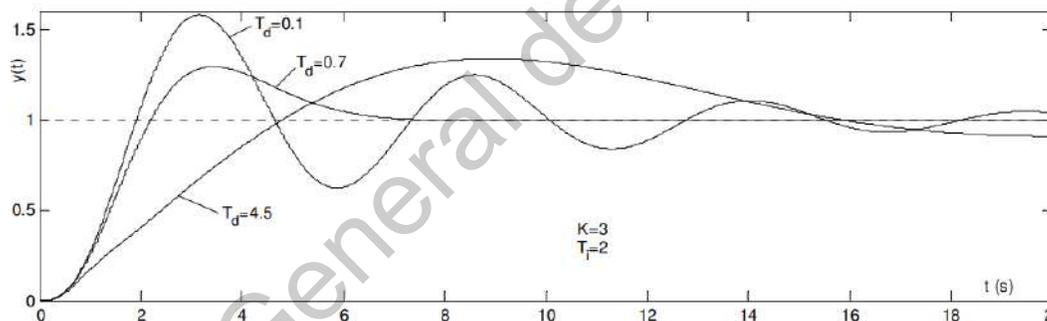


Figura 2.6: Se compara el efecto predictivo de la acción derivadora y su relación con la dinámica del sistema. La predicción (1) es aceptable.

Existen múltiples detalles en los controladores PID que no son revelados por la expresión 2.1. Para lograr un buen controlador PID se deberá tener en cuenta también:

- Filtrado de ruidos y respuesta en alta frecuencia
- Diseño de 2 grados de libertad con asignación de peso al punto de ajuste
- Efecto windup debido a la saturación del actuador
- Ajuste (tuning) de los parámetros
- Implementación computacional

# Capítulo 3

## Materiales y metodología

En este capítulo las diferentes estrategias y métodos utilizados durante el desarrollo del proyecto, abarca desde la expectativa del proyecto hasta la puesta en marcha del mismo, se mostrarán todos los diferentes pasos que se tuvieron que llevar a cabo para lograr el objetivo.

### 3.1. Arranque del proyecto

El arranque del proyecto abarca desde la idea de lo que se desea realizar hasta la planeación de cómo es que va a trabajar la máquina que se va a desarrollar.

#### 3.1.1. Idea

La idea de este proyecto es realizar una máquina autónoma a tal grado que la intervención humana sea mínima, además, de que será un sistema confiable que ofrezca calidad y repetibilidad en su proceso.

### 3.2. Estudio de materiales disponibles

Para el desarrollo de este proyecto se cuentan con algunos actuadores y sensores, por lo que antes de comenzar a utilizarlos se inició una etapa de prueba para determinar si éstos funcionan correctamente y así realizar un inventario para saber cuáles se iban a utilizar, cuáles se iban a desechar y cuales se tenían que adquirir. El resultado de esta etapa se muestra en la Tabla 3.1

Tabla 3.1: Materiales del proyecto

Materiales disponibles			
Cantidad	Material	Estado	Comentarios
1	Servo motor Asda-A2	Bueno	El motor funciona correctamente, su estado físico y funcional es excelente.
1	Servo drive Asda-A2	Bueno	El driver funciona correctamente, su estado físico y funcional es excelente.
1	PLC con HMI	Malo	El dispositivo no enciende, se mandó a analizar y tiene quemado un componente de seguridad
1	Válvula neumática	Bueno	La válvula se conectó directo a a la toma de aire y funciona de manera correcta tanto su apertura como su cierre
1	Resistencia	Bueno	Se conectó al controlador de temperatura y se calentó a la temperatura deseada
1	Termopar tipo K	Bueno	Se comprobó su funcionamiento junto con el controlador de temperatura y un termómetro externo, la medición mostrada en el controlador de temperatura coincidió con el termómetro
1	Controlador de temperatura TC4S-14R	Bueno	El dispositivo se puso a prueba y no tiene ninguna falla
2	Interruptor trifásico	Bueno	Se checó la continuidad de los interrepturores tanto abiertos como cerrados con un multímetro y funcionan correctamente
1	Fuente de poder MDR-60-24 Mean Well	Bueno	Se conectó la fuente y con un multímetro se revisó que los voltajes fueran constantes y de la magnitud deseada
5	Pistones de doble efecto	Bueno	Se conectaron a una toma de aire directamente a sus dos entradas, se verificó que la carrera del vástago no tuviera obstrucciones
5	Electroválvula 5/2	Bueno	Las electroválvulas trabajan de manera adecuada, se mantienen estables en sus dos estados
2	Ventosa fuelle VASB-55-1/4	Bueno	Las ventosas se encuentran en excelente estado
1	Generador de vacío	Bueno	El dispositivo funciona correctamente

Materiales por comprar			
1	Ventosa fuelle VASB-55-1/4	Excelente	ya que se apilarán vasos de tres en tres es necesario contar con tres ventosas
1	Generador de vacío	Excelente	Se utilizará para las ventosas
2	Electroválvula 5/2	Excelente	-
1	Electroválvula 3/2	Excelente	Este dispositivo se utilizará para el nuevo generador de vacío
3	Racor pasamuros	Excelente	Se utilizarán para colocar las ventosas por lo que su rosca debe de ser de 1/4"
2	Pistones de doble efecto	Excelente	los dos pistones deben de ser del mismo modelo
1	Motor a pasos	Excelente	Se utilizará el nema 34 de alto torque
1	Tb6600 Driver Para Motor A Pasos	Excelente	-

### 3.3. Lugar

Después de realizar un análisis de los materiales previos para la realización de este proyecto que se encuentran en el laboratorio de automatización de la Universidad Autónoma de Querétaro, se determinó que ahí es en donde se trabajará el proyecto.

### 3.4. Conceptualización del proceso

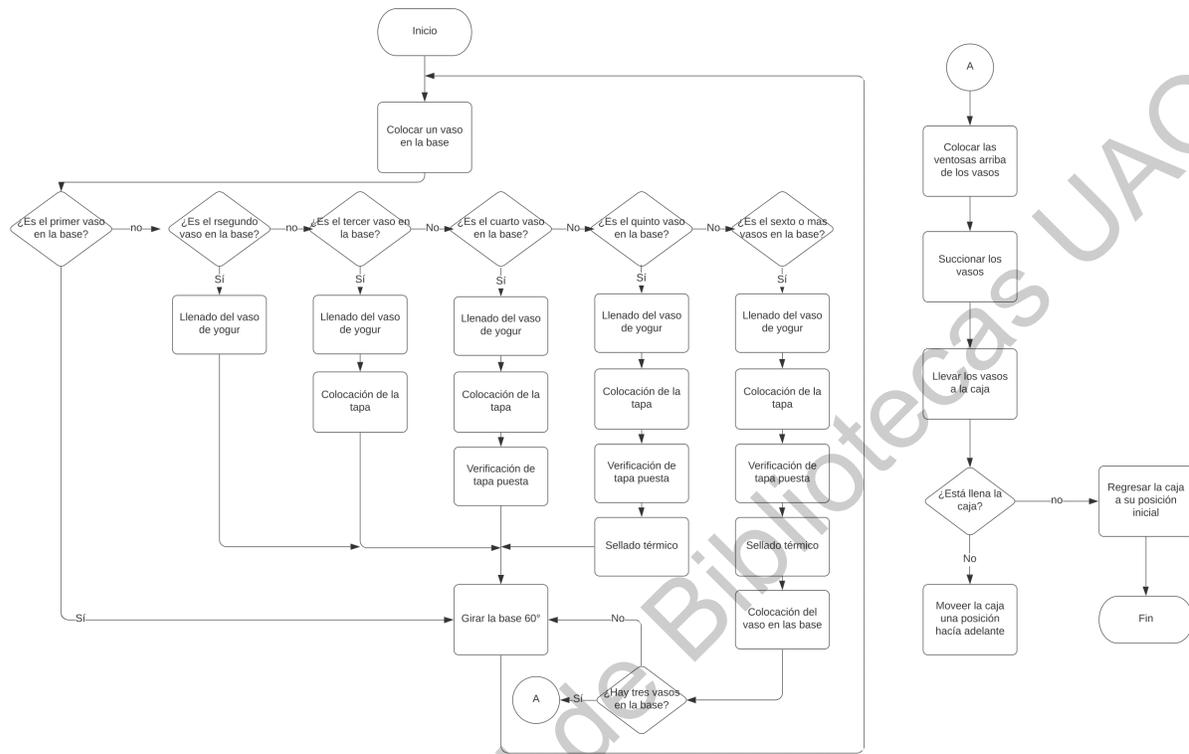


Figura 3.1: Diagrama de flujo.

### 3.5. Diseño mecánico

#### 3.5.1. Diseño conceptual

En esta sección se establecieron las etapas que debe contener el proceso completo de la máquina las cuales son descritas a continuación.

- Etapa 1: El proceso de envasado consta de ocho partes que nos permiten tener un envasado y empaquetado completo, este proceso comienza con una garra, la cual tiene como función dispensar un vaso que se coloca en el disco giratorio.
- Etapa 2: Ésta consta de una válvula neumática cuya función es dejar caer el yogur necesario para llenar el vaso.
- Etapa 3: Una vez lleno el vaso, se lo coloca la tapa al vaso, ésta será la tarea en la tercer etapa.

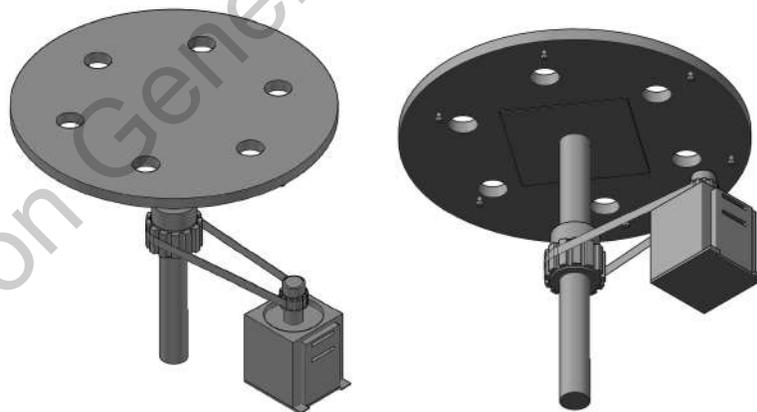
- Etapa 4: Aquí se tiene un sensor con el cual se verifica que la tapa haya sido puesta en el vaso.
- Etapa 5: Una vez que se ha verificado el posicionamiento de la tapa se procede a realizar el sellado el cual se realizará con una resistencia eléctrica.
- Etapa 6: En esta parte un pistón levanta al vaso del disco giratorio y otro pistón jala el vaso hacia una base en la que se acomodarán vasos de tres en tres.

Etapa 7: Cada que hay tres vasos en la base un pistón lleva tres ventosas arriba de los vasos y dos pistones más bajan estas ventosas para succionar los vasos y llevarlos hacia la caja, una vez colocados los vasos en la caja se moverá de tal forma que quede alineada para los próximos tres vasos, ya que haya 9 vasos en la caja la base regresa a su posición original.

### 3.5.2. Diseño detallado

En esta sección se muestra el diseño mecánico con el cual se realizaron las etapas del diseño conceptual.

#### Disco giratorio



(a) Vista isométrica izquierda. (b) Vista isométrica inferior izquierda.

Figura 3.2: Disco giratorio.

En la Figura 3.2 podemos ver el disco giratorio dividido en seis partes en las cuales se realizarán las etapas de la uno a la seis del diseño conceptual, en la parte inferior derecha de la Figura 3.2a se encuentra un motor el cual moverá el disco por medio de una banda.

En la Figura 3.2b podemos ver que enfrente de cada orificio se encuentra un tornillo, éste será detectado por un sensor inductivo, de esta manera sabremos cuando el disco está en la posición correcta para detener el motor.

### Etapa 1

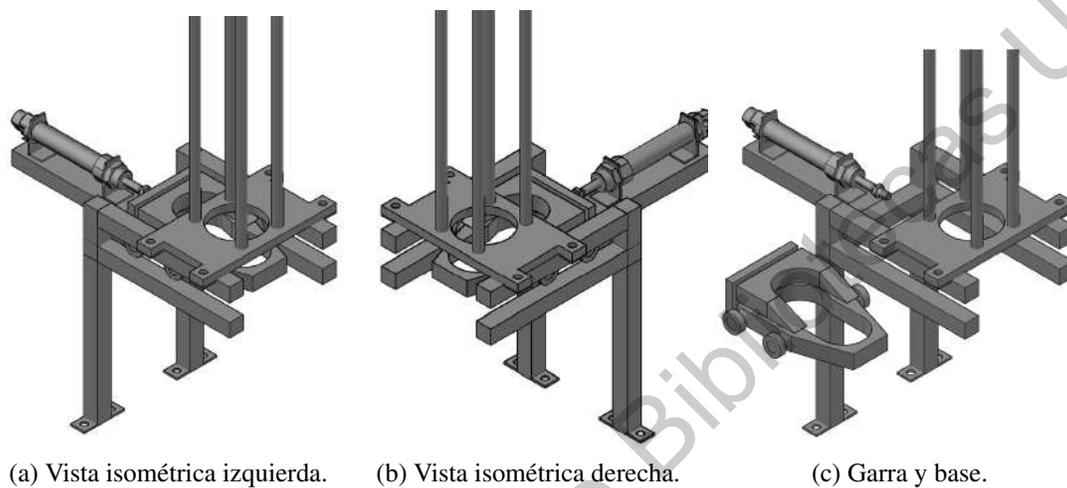


Figura 3.3: Dispensadora de vasos.

En la Figura 3.3 podemos observar el mecanismo que se encargará de colocar los vasos en el disco giratorio (etapa 1 del diseño conceptual), para que esto sea posible se tiene una garra (ver Figura 3.3c) que será desplazada por un pistón de doble efecto, gracias a las rampas que tiene la garra será posible bajar un solo vaso cada que se realice el movimiento de la garra.

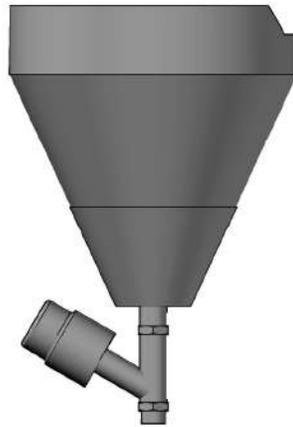
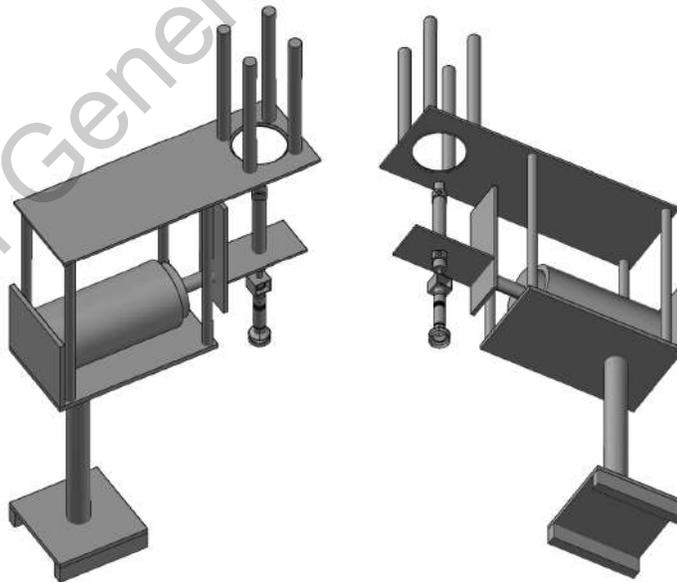
**Etapa 2**

Figura 3.4: Tolva

Para la segunda etapa se utilizará una tolva en la cual estará el yogur, en la parte inferior tendrá una válvula neumática la cual dispensará el yogur.

**Etapa 3**

(a) Vista isométrica izquierda.

(b) Vista isométrica inferior derecha.

Figura 3.5: Mecanismo para colocación de tapa.

En la Figura 3.5 podemos observar el mecanismo que se utilizará para ponerle la tapa al vaso el cual consta de un motor neumático, una ventosa y un pistón de doble efecto. El proceso que ejecutará es el siguiente: El motor neumático girará  $180^\circ$  de tal forma que la ventosa esté viendo hacia arriba, el generador de vacío para la ventosa y el pistón se activará para así tomar la tapa, una vez que la ventosa tenga la tapa el pistón se desactivará y el motor volverá a girar  $180^\circ$  para que la ventosa esté viendo hacia abajo, en esta posición se activará el pistón para acercar la tapa al vaso y se desactivará la ventosa para dejar caer la tapa en el vaso y por último el pistón regresará a su posición inicial.

#### **Etapa 4**

Hoy en día podemos encontrar una gran variedad de sensores para detectar proximidad, podemos encontrar sensores laser, fotoeléctricos, capacitivos e inductivos que son los más famosos, para este caso nos centraremos en los dos últimos, capacitivos e inductivos. Los sensores inductivos de proximidad son ampliamente usados en aplicación de automoción. La forma más común de presentación es en un espárrago roscado que contiene el sensor en uno de sus extremos y el circuito procesador de la señal en un circuito impreso. En la Figura 3.6 podemos ver un ejemplo de este tipo de sensores [21].



Figura 3.6: Sensor inductivo.

#### **Características de funcionamiento**

La Figura 3.7 ilustra el principio de un Detector de Proximidad Inductivo (D.P.I.)

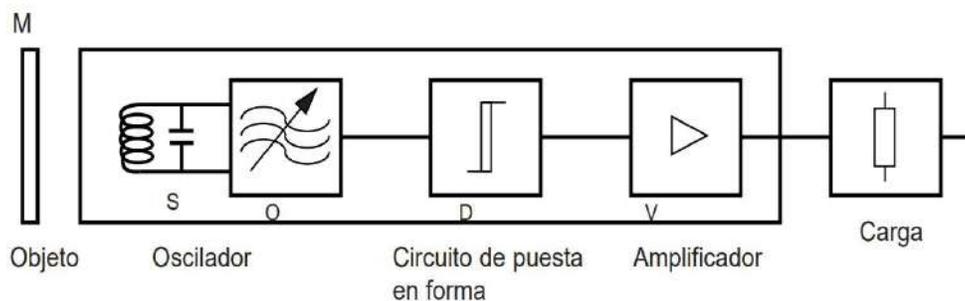


Figura 3.7: Principio de funcionamiento de sensor inductivo.

El D.P.I. permite señalar la presencia de un objeto metálico “M” cerca de su cara sensible. Se compone de un oscilador de alta frecuencia “O” cuya bobina del circuito oscilante “S” alojada en una ferrita magnética abierta por un lado, constituye la cara sensible. Por delante de ésta se engendra un campo magnético alterno. Penetrando en este campo, cualquier pieza metálica “M” se convertirá en la sede de corrientes de Foucault reduciendo así la amplitud de oscilación. Esta disminución es convertida por el circuito de transformación “D” en una señal de salida amplificada por “V”.

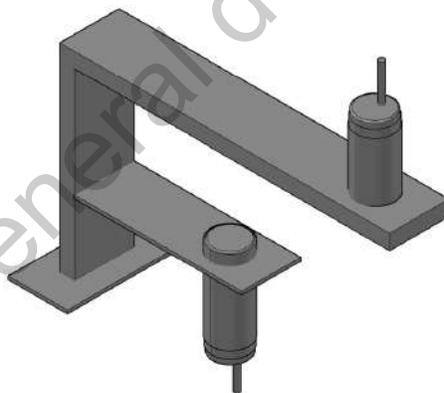


Figura 3.8: Sensores.

La cuarta etapa consta de dos sensores inductivos (ver Figura 3.8) el de la parte superior será el encargado de revisar que sí haya tapa en el vaso ya que si no la resistencia quemaría el vaso. El segundo sensor, que es el de la parte inferior será el encargado de registrar el tornillo para detener el motor que gira al disco.

**Etapa 5**

Figura 3.9: resistencia.

En la Figura 3.9 se puede observar la resistencia que se encargará de realizar el sellado de la tapa, se observa que un pistón bajará la resistencia con la forma del perímetro del vaso que es la parte que se sella, también se observa como tiene un tubo que será su guía.

Para tener un buen control en la temperatura se usará un TC4S-14R que podemos ver en la Figura 3.10. El TC4S-14R es un controlador de temperatura PID con funciones esenciales y rendimiento mejorado, logra el control de la temperatura ideal con el algoritmo de control PID recientemente desarrollado y muestreo de alta velocidad de 100 ms. Particularmente, tanto la salida SSRP como la salida de relevador se admiten para obtener un control económico y eficaz, además, la visibilidad mejorada y el tamaño compacto son otras de las características de la serie TC. Su hoja de datos la podemos encontrar en [23].



Figura 3.10: Controlador de temperatura TC4S-14R.

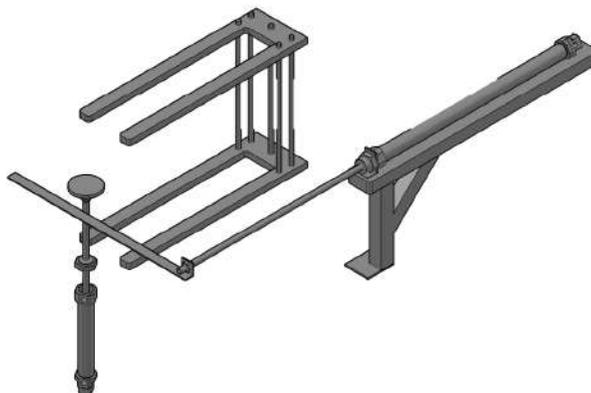
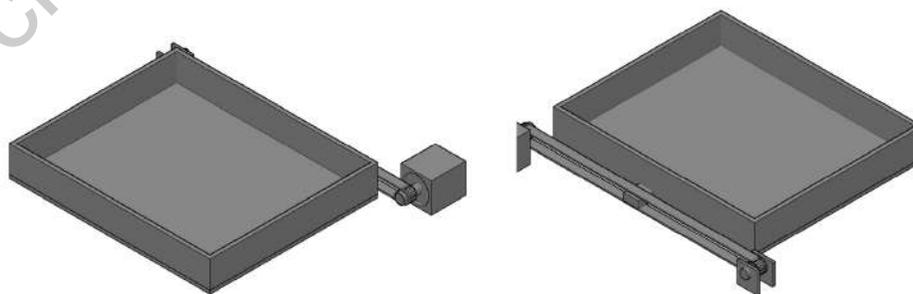
**Etapa 6**

Figura 3.11: Base para vasos.

En esta última etapa del disco giratorio y sexta del proceso completo, el vaso lleno de yogur y sellado será colocado en una base con la ayuda de dos pistones, uno de ellos levantará el vaso del disco y el segundo lo arrastrará a una base en la que acumulará tres vasos.

**Etapa 7**

La séptima etapa será realizada por medio de dos mecanismos, el primero se muestra en la Figura 3.12 el cual moverá tres ventosas para colocarlas arriba de los tres vasos que se encuentran en la base de la etapa seis, una vez que estén en la posición adecuada se activará su generador de vacío y dos pistones las bajarán para tomar los vasos, posteriormente los pistones subirán las ventosas, regresarán a su posición inicial y una vez más los pistones bajarán las ventosas para acercar los vasos a la caja, se desactivará el generador de vacío para dejar caer los vasos y las ventosas regresarán a su posición inicial.



(a) Vista isométrica izquierda.

(b) Vista lateral derecha.

Figura 3.13: Mecanismo para movimiento de la caja.

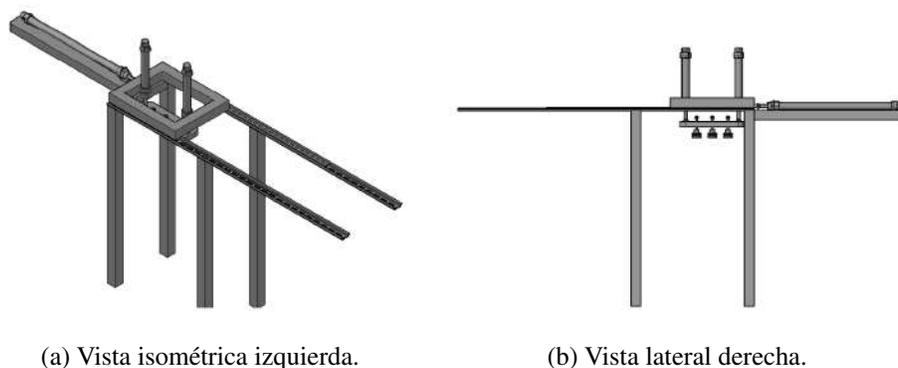


Figura 3.12: Mecanismo para movimiento de ventosas.

En la Figura 3.13 podemos ver el segundo mecanismo de la séptima etapa y el último del proceso, el cual consta de un motor a pasos que moverá una base en la que estará la caja, el movimiento será hacia adelante cada que se coloquen tres vasos y una vez que esté llena la caja el motor regresará la base a su posición inicial.

### 3.6. Selección del controlador lógico programable

Ya que el controlador lógico programable será proporcionado por el laboratorio de automatización de la facultad de ingeniería en la universidad autónoma de Querétaro se tienen dos opciones.

- PLC Allen Bradley MicroLogix 1500



Figura 3.14: PLC Allen Bradley MicroLogix 1500.

Características resaltantes:

- Entradas de 120 VCA o 24 VCC
- Salidas de relé y MOSFET de alta velocidad
- Alimentación de 120-240 VCA o 24 VCC
- Acepta 14 K de memoria de usuario no volátil incorporada, para programas de aplicación complejos
- Expandible hasta 512 puntos de E/S

- PLC Siemens S7-1200



Figura 3.15: PLC Siemens S7-1200.

Características resaltantes:

- Alta capacidad de procesamiento. Cálculo de 64 bits
- Interfaz Ethernet / PROFINET integrado
- Entradas analógicas integradas
- Bloques de función para control de ejes conforme a PLCopen. incorporada, para programas de aplicación complejos
- Programación mediante la herramienta de software STEP 7 Basic V15.1 para la configuración y programación no sólo del S7-1200, sino de manera integrada los paneles de la gama Simatic Basic Panels

Después de analizar las dos opciones se seleccionó el PLC micrologix 1500 de Allen Bradley ya que para el proyecto necesitaremos más salidas de las que nos ofrecen los plc's y el laboratorio de automatización cuenta con módulos de entradas y salidas para este modelo.

### 3.7. Selección de actuadores

El trabajo realizado por un actuador neumático puede ser lineal o rotativo. El movimiento lineal se obtiene por cilindros de émbolo (éstos también proporcionan movimiento rotativo con variedad de ángulos por medio de actuadores del tipo piñón cremallera). También encontramos actuadores neumáticos de rotación continua (motores neumáticos), movimientos

combinados e incluso alguna transformación mecánica de movimiento que lo hace parecer de un tipo especial [24].



Figura 3.16: Tipos de actuadores.

### Actuadores lineales

#### Cilindros de simple efecto

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

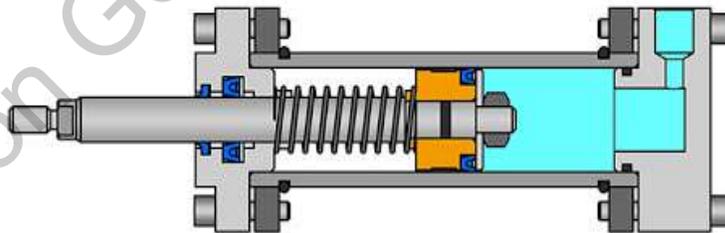


Figura 3.17: Cilindro de simple efecto.

#### Cilindros de doble efecto

Los cilindros de doble efecto son aquellos que realizan tanto su carrera de avance como la de retroceso por acción del aire comprimido. Su denominación se debe a que emplean las

dos caras del émbolo (aire en ambas cámaras), por lo que estos componentes sí que pueden realizar trabajo en ambos sentidos. Sus componentes internos son prácticamente iguales a los de simple efecto, con pequeñas variaciones en su construcción. Algunas de las más notables las encontramos en la culata anterior, que ahora ha de tener un orificio roscado para poder realizar la inyección de aire comprimido (en la disposición de simple efecto este orificio no suele prestarse a ser conexionado, siendo su función la comunicación con la atmósfera con el fin de que no se produzcan contrapresiones en el interior de la cámara) [25].

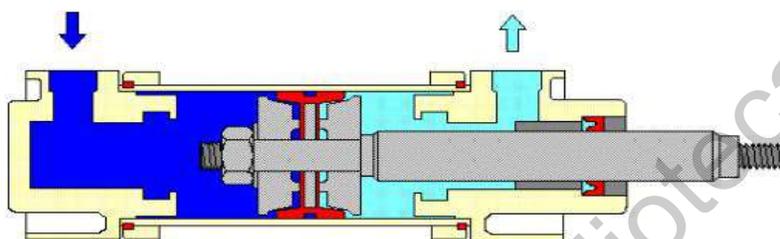


Figura 3.18: Cilindro de doble efecto.

### Actuadores de giro

Los actuadores rotativos son los encargados de transformar la energía neumática en energía mecánica de rotación. Dependiendo de si el móvil de giro tiene un ángulo limitado o no, se forman los dos grandes grupos a analizar:

- **Actuadores de giro limitado:** Que son aquellos que proporcionan movimiento de giro pero no llegan a producir una revolución (exceptuando alguna mecánica particular como por ejemplo piñón – cremallera). Existen disposiciones de simple y doble efecto para ángulos de giro de  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  ..., hasta un valor máximo de unos  $300^\circ$  (aproximadamente).
- **Motores neumáticos:** Que son aquellos que proporcionan un movimiento rotatorio constante. Se caracterizan por proporcionar un elevado número de revoluciones por minuto.

### Electroválvulas

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoidal. Una electroválvula tiene dos partes

fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte la energía eléctrica en energía mecánica para actuar sobre la válvula.

Las electroválvulas pueden ser cerradas en reposo o normalmente cerradas, lo cual quiere decir que cuando falla la alimentación eléctrica quedan cerradas o bien pueden ser del tipo abiertas en reposo o normalmente abiertas que quedan abiertas cuando no hay alimentación.

Existen varios tipos de electroválvulas, entre las más formas se encuentran la válvula 3/2 que se muestra en la Figura 3.19, esta electroválvula se usa para cilindros de simple efecto ya que cuenta con tres vías y dos estados, también podemos encontrar la electroválvula 5/2 (ver Figura 3.20) que se usa para cilindros de doble efecto ya que cuenta con 5 vías y 2 estados.

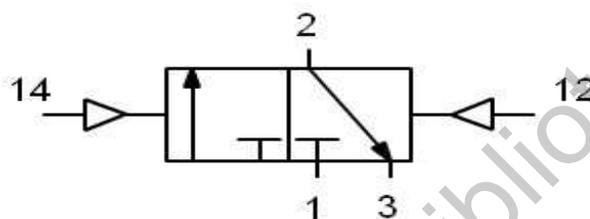


Figura 3.19: Electroválvula 3/2.

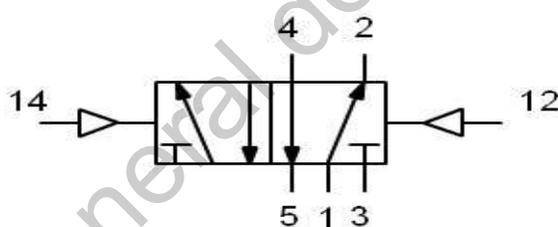


Figura 3.20: Electroválvula 5/2.

### 3.7.1. Motor para el disco giratorio

El disco giratorio necesita un motor que cuente con un torque alto, un control de velocidad para que se mueva tan rápido o lento como requiera la producción y a demás requiere de una precisión muy alta ya que si el disco queda en una posición no deseada el sellado no será el adecuado.

En base a las necesidades mencionadas, el motor utilizado fue el servomotor Delta ASDA-A2; La nueva serie ASDA-A2 de Delta (ver Figura 3.21) es el último sistema servo que proporciona una solución total para una amplia gama de máquinas herramienta y aplicaciones industriales, algunas cualidades que nos ofrece este motor según [17] son:

**Control de alta precisión:** los servomotores de la serie ECMA cuentan con codificador incremental con resolución de 20 bits (1280000 pulsos / revolución). Se han mejorado las funciones existentes para cumplir los requisitos del proceso delicado. También se ha logrado una rotación estable a baja velocidad. Respuesta de frecuencia de hasta 1 kHz. Tiempo de estabilización por debajo de 1 ms.

**Supresión de vibración superlativa:** Supresión de vibración automática de baja frecuencia incorporada (para control de grúa): se proporcionan dos filtros de supresión de vibración para minimizar la vibración en los bordes de la máquina de forma automática y suficiente. Supresión de resonancia automática de alta frecuencia incorporada: se proporcionan dos filtros de muesca automáticos para suprimir la resonancia mecánica automáticamente.

**Control de circuito cerrado completo (capaz de leer las segundas señales de retroalimentación):** La interfaz de retroalimentación de posición incorporada (CN5) puede leer las segundas señales de retroalimentación del codificador del motor y enviar la posición actual de regreso al variador para formar un circuito cerrado completo. ese control de posición de alta precisión se puede lograr. Reduce los efectos de las imperfecciones mecánicas, como el contragolpe y la flexibilidad, para garantizar la precisión de la posición en los bordes de la máquina.



Figura 3.21: Servomotor ASDA-A2.

Con un amplio rango de 100W a 7,5kW, la serie A2 se considera una red inteligente de modelos de variadores de frecuencia con capacidad de resolver aplicaciones de indexado, levas y ejes de línea. Las potentes y exclusivas macros de movimiento integradas se pueden activar y secuenciar con un software de configuración basado en un asistente en este software

lo podemos encontrar en [18]. El acceso desde la red habilita las funciones de movimiento distribuido a través de RS-485 modbus, CANopen y EtherCAT. Las opciones de puerta de enlace EtherNet/IP están disponibles, lo que hace posible la comunicación con PLC populares y la activación de las macros de servo encendido, funcionamiento a baja velocidad y movimiento desde el entorno de codificación PLC conocido, el servodrive que se utiliza para controlar el servomotor antes mencionado se muestra en la Figura 3.22.

Para la utilización de este drive es necesario leer previamente un manual que podemos consultar en [19].



Figura 3.22: Servo drive ASDA-A2.

Ya que el disco girará a varias velocidades dependiendo la producción requerida, este motor es el adecuado ya que sus parámetros se pueden configurar por medio de entradas digitales.

### 3.7.2. Motor para la caja

Para esta aplicación se seleccionó un motor a pasos nema 23 ya que con su driver es muy fácil controlarlo desde el plc, además la aplicación no requiere grandes velocidades.

### 3.7.3. Neumática

El resto de la máquina estará funcionando con actuadores neumáticos los cuales serán:

- 8 pistones de doble efecto

- 1 Válvula neumática
- 1 Motor neumático
- 3 Electroválvulas 3/2
- 7 Electroválvulas 5/2
- 2 Generadores de vacío
- 3 Ventosas de 1"
- 1 Ventosa de 1/2 "

#### 3.7.4. Termosellado

El termosellado es el proceso de soldado de un termoplástico a otro termoplástico u otro material compatible usando calor y presión. El método de contacto directo de sellado por calor utiliza un troquel o barra de sellado caliente para aplicar calor a un área de contacto específico para sellar o soldar los termoplásticos juntos mientras que el sellado por inducción utiliza electromagnetismo para la generación del calor necesario para la soldadura. El sellado térmico se utiliza para muchas aplicaciones, incluyendo conectores electrónicos, adhesivos activados térmicamente y películas. Una variedad de termoselladoras están disponibles para unir materiales termoplásticos tales como películas plásticas: sellador de barra caliente, selladora de impulso, etc. Los adhesivos de fusión en caliente (hot melt) se pueden aplicar en tiras o perlas en el punto de unión. También se puede aplicar a una de las superficies durante una etapa de fabricación anterior y luego se reactiva mediante calor para la unión.

##### Selladoras por barra caliente

Poseen una herramienta que es calentada y se mantiene a una temperatura constante (también conocido como sellado térmico por contacto directo).

Estos utilizan una o más barras calentadas que hace contactar el material con la interfase caliente y formar una unión. Las barras, planchas y troqueles tienen diferentes configuraciones y se pueden cubrir con una capa anti-adherente o utilizan diversos materiales de interposición (ejemplo: recubrimiento de teflón) para evitar que se pegue a la herramienta caliente.

Para el sellado se requiere una temperatura estable en un rango de  $200^{\circ}C$  a  $300^{\circ}C$  dependiendo de la cantidad de vasos que se deseen sellar en un determinado tiempo por lo que será

necesario contar con un controlador PID de temperatura como el mostrado en la Figura 3.10 y un termopar tipo k ya que es con el que funciona correctamente dicho controlador.

### 3.8. Diagrama neumático

La Figura 3.23 nos muestra las conexiones neumáticas que se realizaron, en la parte superior se encuentran todos los actuadores que requieren electroválvulas 5/2 y en la parte inferior los que usan válvulas 3/2. En la parte superior de izquierda a derecha el primero es el pistón con el que la garra se moverá para así dejar caer un vaso en el disco giratorio, el segundo es el pistón con el cual la ventosa que succiona las tapas sube y baja, el tercero es el que hace bajar la resistencia para realizar el sellado, el cuarto es el pistón que sube el vaso para sacarlo del disco giratorio que es complemento del quinto que es el que se encarga de llevar el vaso a la base, el sexto y séptimo pistón son los encargados de mover en el eje z a las ventosas que succionan a los vasos que se ayudan del octavo pistón que es el que mueve las ventosas en el eje de las y para colocar las ventosas ya sea arriba de los vasos o arriba de la caja, por último tenemos el motor el cual girará el pistón que contiene la ventosa para colocar las tapas. En la parte inferior podemos ver primeramente el generador de vacío y las tres ventosas que son las encargadas de succionar los vasos para llevarlos desde la base hasta la caja, en el segundo se encuentra el generador de vacío y la ventosa que succiona la tapa y en tercer lugar podemos observar la válvula que dejará caer el yogur al vaso.

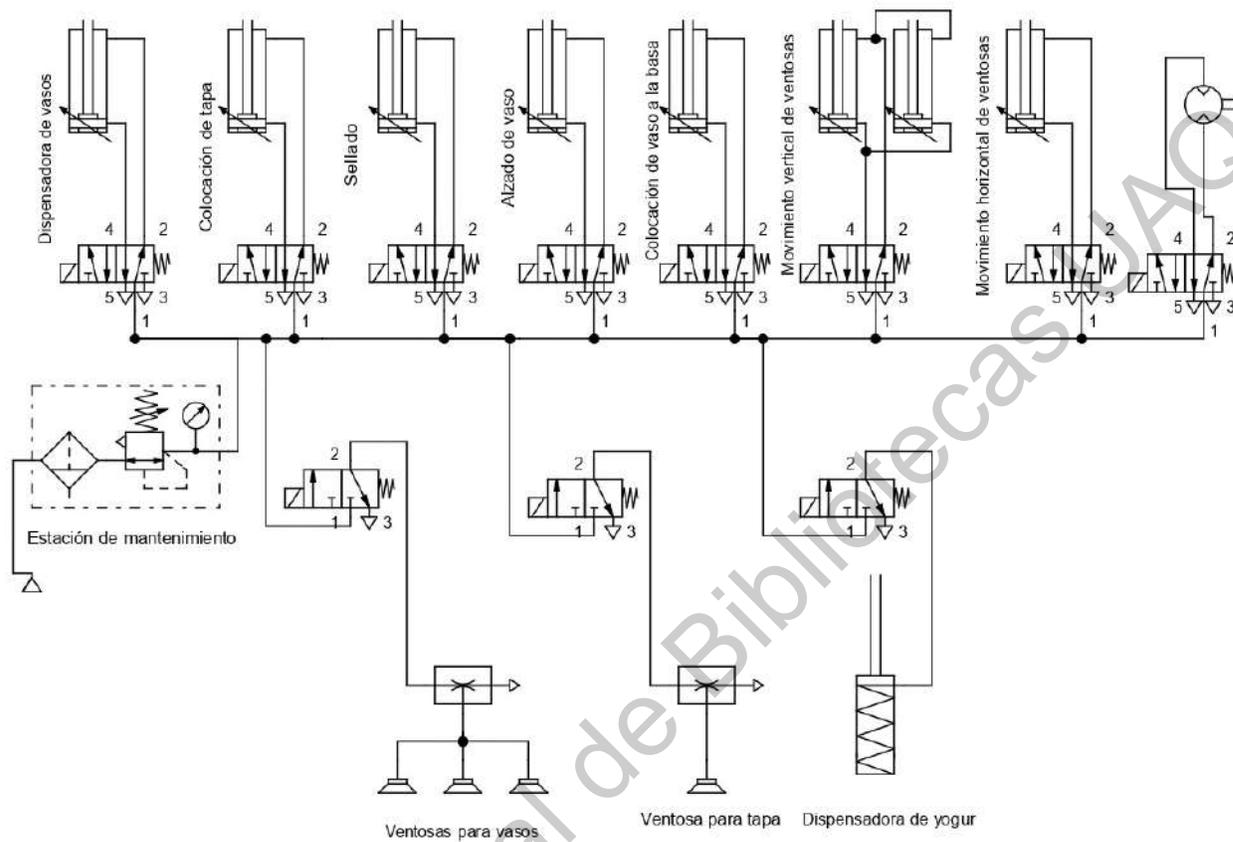


Figura 3.23: Diagrama neumático.

# Capítulo 4

## Resultados

### 4.1. Dispensadora de vasos

El diseño de la garra mostrada en la Figura 4.1 resultó ser muy efectivo pues no se tuvieron problemas al estar realizando las pruebas de funcionamiento, cada vez que esta garra se activaba bajaba un vaso a la base circular. Ya que la fuerza y la velocidad a la que se tiene que mover era muy poca, se utilizó un pistón con un vástago de 15cm de largo y un diámetro de 1cm. Ya que el proceso es continuo el operador tiene que estar pendiente de la cantidad de vasos que hay en la estructura pues ésta disminuye relativamente rápido. Fue necesario utilizar un pistón de doble efecto pues el peso de los vasos ocasionaba que la fuerza del resorte que regresa el vástago no fuera la suficiente para regresar a la garra a su posición inicial.



Figura 4.1: Dispensadora de vasos.

## 4.2. Dispensadora de yogur

En esta sección de la máquina se encontró el mayor de los retos pues fue muy difícil lograr que la válvula mostrada en 4.2 siempre dejará salir la misma cantidad de yogur. Al inicio del proyecto se trató de hacerlo solamente por tiempo sin embargo al irse vaciando la tolva, poco a poco la válvula dejaba caer una cantidad menor de yogur por lo que se implementó una medición de presión ya que con esta podemos saber cuál es el nivel existente y de este modo saber cuánto tiempo tenía que abrirse la válvula. La medición de presión se realizó con un sensor mpx2050 como el que podemos ver en la Figura 4.3



Figura 4.2: Dispensadora de yogur.



Figura 4.3: Sensor de presión Mpx2050.

En la Figura 4.4 podemos ver la gráfica que se utilizó para conocer la presión que ejercía el yogur en la base de la tolva, una vez conocida la presión, utilizamos la ecuación 4.1 para

conocer el nivel, el valor utilizado para la gravedad es  $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ , el de la densidad es  $\rho = 1.03 \frac{Kg}{m^3}$  y para la presión atmosférica se utilizó el valor de  $P = 102hPa$  que es la presión atmosférica en el estado de Querétaro.

$$h = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho * g} = m \quad (4.1)$$

Donde:

- $h$  = Nivel
- $P_2$  = Presión ejercida por el yogur
- $P_1$  = Presión atmosférica
- $\rho$  = Densidad del yogur
- $g$  = Gravedad

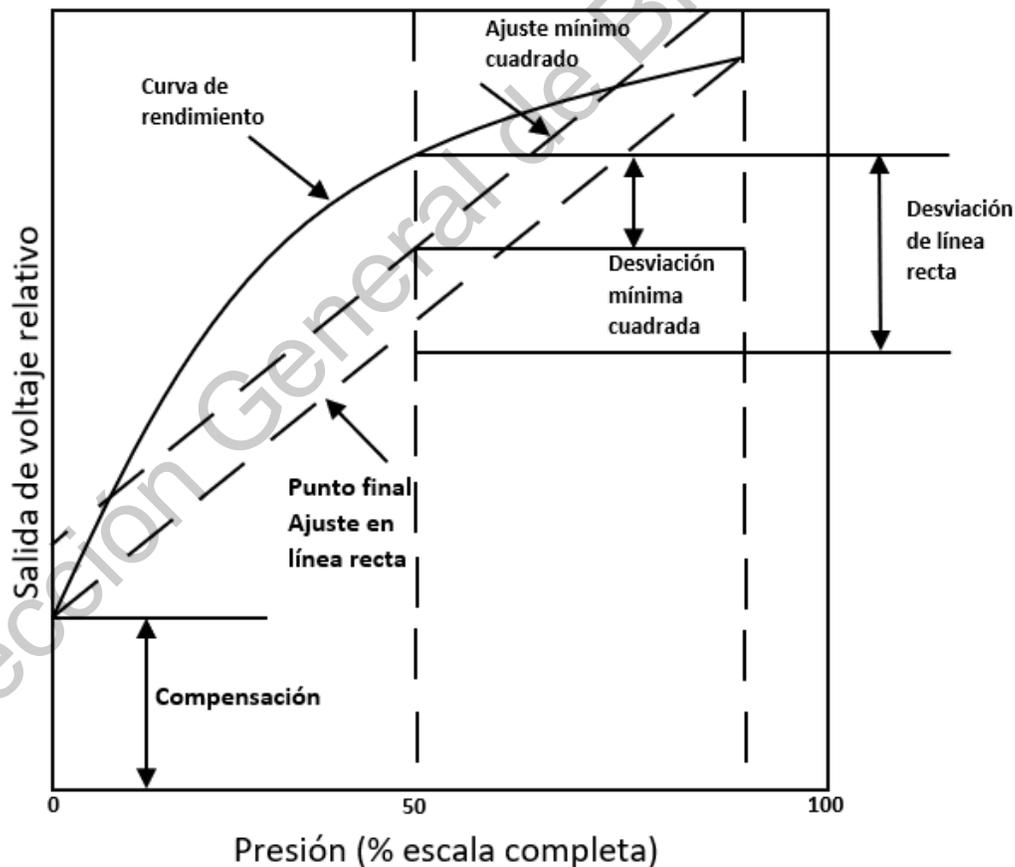


Figura 4.4: Relación presión-voltaje del Mpx2050.

### 4.3. Mecanismo para la colocación de la tapa



Figura 4.5: Mecanismo para la colocación de la tapa.

En el mecanismo mostrado en la Figura 4.5 se presentó el segundo reto ya que si la tapa no se colocaba de forma óptima el sellado se realizaría de manera incorrecta, lo cual estuvo ocurriendo durante varias pruebas. Después de analizar qué es lo que estaba fallando me pude dar cuenta de que este sistema para colocar la tapa funcionaba correctamente pues el mecanismo resultó ser repetitivo y confiable, entonces fue cuando noté que lo que estaba fallando era el disco giratorio pues no siempre se detenía en el lugar correcto, una opción era que los tornillos debajo de éste estaban mal colocados y por eso había un desfase, sin embargo, esta opción fue descartada ya que con el mismo tornillo no siempre se detenía en el mismo lugar, la solución a esto fue reducir la velocidad a la que el motor movía el disco, gracias a esta reducción se logró la repetibilidad en los lugares en los que el disco paraba,

además, no ocasionó ningún inconveniente en el funcionamiento de la máquina.

El uso del motor neumático facilitó bastante la tarea de rotar  $90^\circ$  la ventosa que succiona la tapa ya que éste tiene límites exactamente a  $90^\circ$  y bastó con activar o desactivar, dependiendo el caso, la electroválvula que controla este motor.

Al inicio se pensó que la fuerza de retención de la ventosa era muy pequeña pero ya que la tapa tiene un peso muy pequeño, esta ventosa resultó ser la adecuada.

#### 4.4. Sensores

Durante un tiempo se pensó que esta etapa no funcionaba correctamente pues el disco giratorio no paraba en el lugar deseado por lo que el sensor inferior mostrado en la Figura 4.6 se movía un poco a la derecha o un poco a la izquierda dependiendo en donde se paraba el disco giratorio, sin embargo, estos movimientos no funcionaron y fue el momento en el que se observó que la velocidad de rotación del disco era lo que no permitía tener una repetibilidad.

En el sensor superior mostrado en la Figura 4.6 no se tuvo ningún inconveniente a lo largo del proyecto.



Figura 4.6: Sensores.

## 4.5. Resistencia para el sellado

En la Figura 4.7 se muestra la resistencia que realiza el sellado, la cual juega un papel muy importante en el proyecto ya que de ésta dependían dos cosas:

1. **Calidad del sellado:** Este fue un gran reto pues todos y cada uno de los vasos tenían que tener un sellado adecuado por lo que se realizaron pruebas a diferentes temperaturas ya que a veces el sellado no era el suficiente y se abría fácilmente o era demasiado y quemaba tanto la tapa como el vaso.
2. **Tiempo de producción:** Ya que la resistencia debía estar sellando un tiempo en función de la temperatura, el disco debía estar parado este tiempo por lo que la producción, a pesar de ser continua tenía un retraso por el sellado.

Para regular la temperatura de manera óptima se utilizó un controlador de temperatura TC4S-14R como el que se muestra en la Figura 3.10, como el manual [27] lo indica se utilizó un termopar tipo k, después de realizar varias pruebas se dejó un set point de  $250^{\circ}\text{C}$  y un tiempo de sellado de 15 segundos.



Figura 4.7: Resistencia para el sellado.

## 4.6. Base para vasos

En esta sección de la máquina tampoco surgieron problemas ya que bastó con colocar a la distancia correcta los pistones que podemos ver en la Figura 4.8, al pistón que llevaba los vasos hacía la base negra se le colocaron dos sensores magnéticos para que solo recorriera cierta distancia dependiendo de cuantos vasos había en la base.



Figura 4.8: Base para vasos.

## 4.7. Ventosas

En el mecanismo mostrado en la Figura 4.9 se tuvieron tres detalles que poco a poco se fueron solucionando, el primero fue el riel con el que se desliza la base que contiene a las ventosas ya que los que se usaron al inicio eran muy rígidos, por lo que se terminó usando correderas de extensión.

El segundo problema fue la fuerza de retención de las ventosas pues al inicio se tenían unas muy pequeñas que no sujetaban de manera correcta a los vasos y se terminaron usando unas de mayor fuerza de retención.

El tercer problema presentado en esta parte fue que los pistones que bajaban y subían para tomar los vasos lo hacían muy rápido, sin embargo, la solución fue muy sencilla ya que bastó con limitar la entrada y salida de aire de estos pistones.



(a) Vista lateral.

(b) Vista frontal.

Figura 4.9: Ventosas.

#### 4.8. Base y banda para la caja

En este paso de la máquina es en donde el operador debe de realizar acciones, solo debe de quitar la caja que contiene los vasos ya sellados y colocar una nueva.

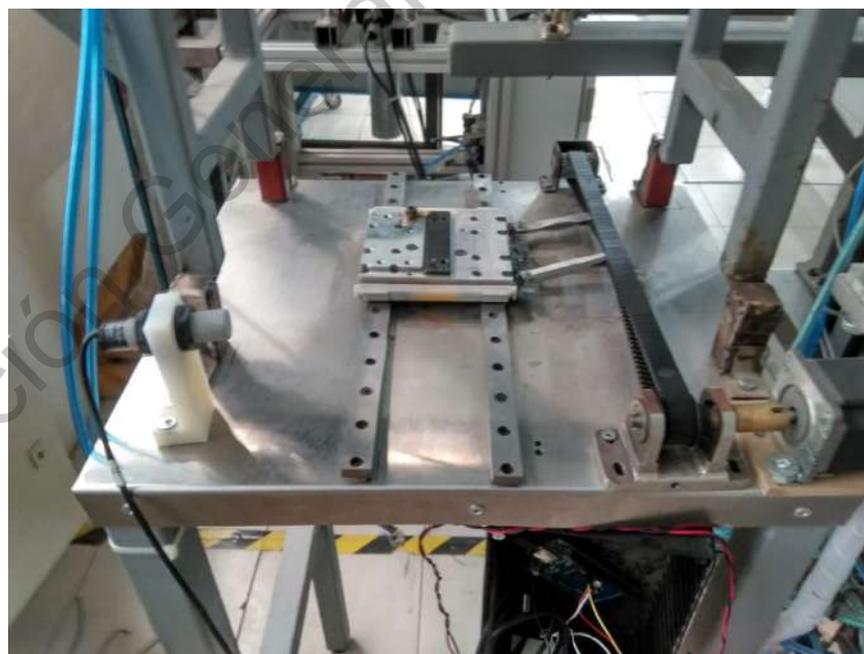


Figura 4.10: Base y banda para la caja.

## 4.9. Máquina completa

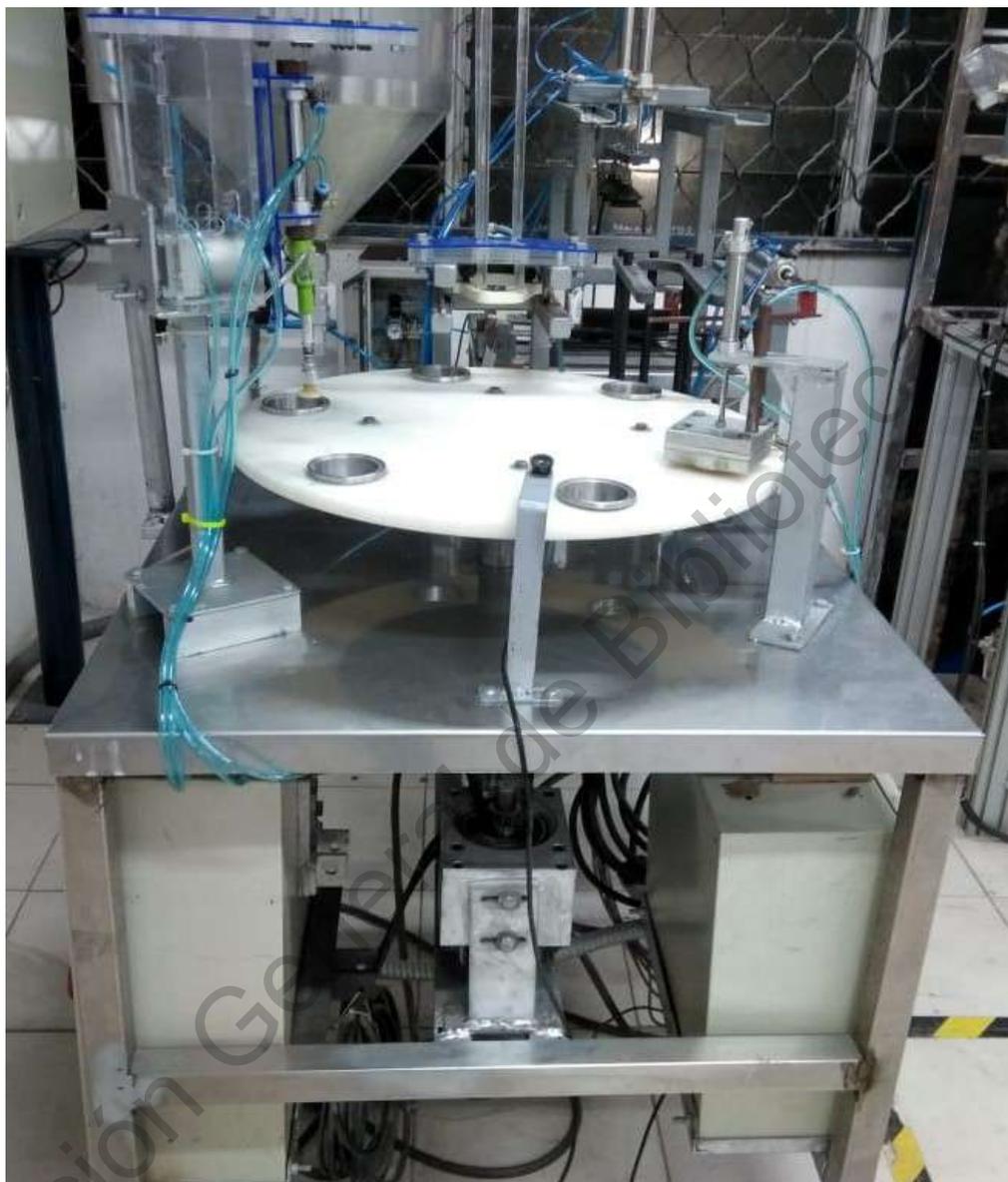


Figura 4.11: Máquina completa.

En la Figura 4.11 podemos observar el resultado completo de la construcción de este proyecto, la máquina trabajó muy bien después de solucionar todos los retos que se presentaron a lo largo del desarrollo

\*A continuación podemos ver el diseño conceptual en 3d del proyecto (es necesario contar con un lector de pdf que soporte los formatos 3d como por ejemplo adobe acrobat).

## Diseño conceptual del proyecto

Dirección General de Bibliotecas UAQ

# Capítulo 5

## Conclusiones

Con la automatización del envasado de yogur, específicamente para este proyecto se puede realizar una producción de dos cajas por minuto (18 vasos), con estos resultados las empresas que están en crecimiento podrán aumentar su producción de manera significativa.

La cantidad de producción depende completamente del sellado ya que es lo más tardado del proceso, esto se podría mejorar agregando más resistencias que estén sellando al mismo tiempo, de este modo el tiempo que tarda en salir el producto final disminuiría de manera muy significativa, sin embargo, los precios de la máquina incrementarían.

Es muy importante que antes de comenzar a realizar un proyecto se evalúe el proceso que realmente se necesita y elegir los actuadores y los sensores correctos desde un inicio ya que una mala elección solo causará retraso y gastos innecesarios.

Para la comunidad de la automatización este proyecto resultó ser de gran importancia pues se logró demostrar que la ingeniería mexicana está a la vanguardia.

Por último, vale la pena destacar que en la mayoría de los casos de desarrollo de ingeniería la agente tiende a pensar que la mano de obra del hombre está siendo sustituida por las máquinas por lo que creen que se están eliminando los empleos para el humano. Para el caso de esta máquina no sucede dicha suposición pues está pensada para emprendedores que quieren hacer crecer su empresa, entonces, al tener una mayor producción su empresa crecerá y podrá ofrecer más empleos.

# Bibliografía

- [1] Córdoba Nieto, Ernesto, manufactura y automatización Ingeniería e Investigación, vol. 26, núm. 3, diciembre, 2006, pp. 120-128 Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia
- [2] Goldberg, Kenneth, 2012/03/01, What Is Automation?, IEEE T. Automation Science and Engineering.
- [3] Néstor Agudelo, Giovanni Tano, Carlos Andrés Vargas. Historia de la automatización, Universidad ECCI, 2013.
- [4] Pérez López, Esteban (2015). PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN EN BODEGA DE PRODUCTO TERMINADO EN INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PRODUCTOS DE HIGIENE PERSONAL EN COSTA RICA. <i xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, XVI</i>(34), undefined-undefined. [fecha de Consulta 21 de Noviembre de 2019]. ISSN: 2215-2458. Disponible en: <a xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml"target="\_blank"href="https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=666/66643073003"> https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=666/66643073003</a>
- [5] Daneri, P. (2008). PLC: Automatización y Control Industrial. Editorial Hispano Americana HASA. Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/sibdilibrosp/reader.action?docID=10336954>
- [6] Hernández, P. (2012). Guía Práctica de Rapid Manufacturing. España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica. Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/sibdilibrosp/reader.action?docID=10732596&ppg=24>

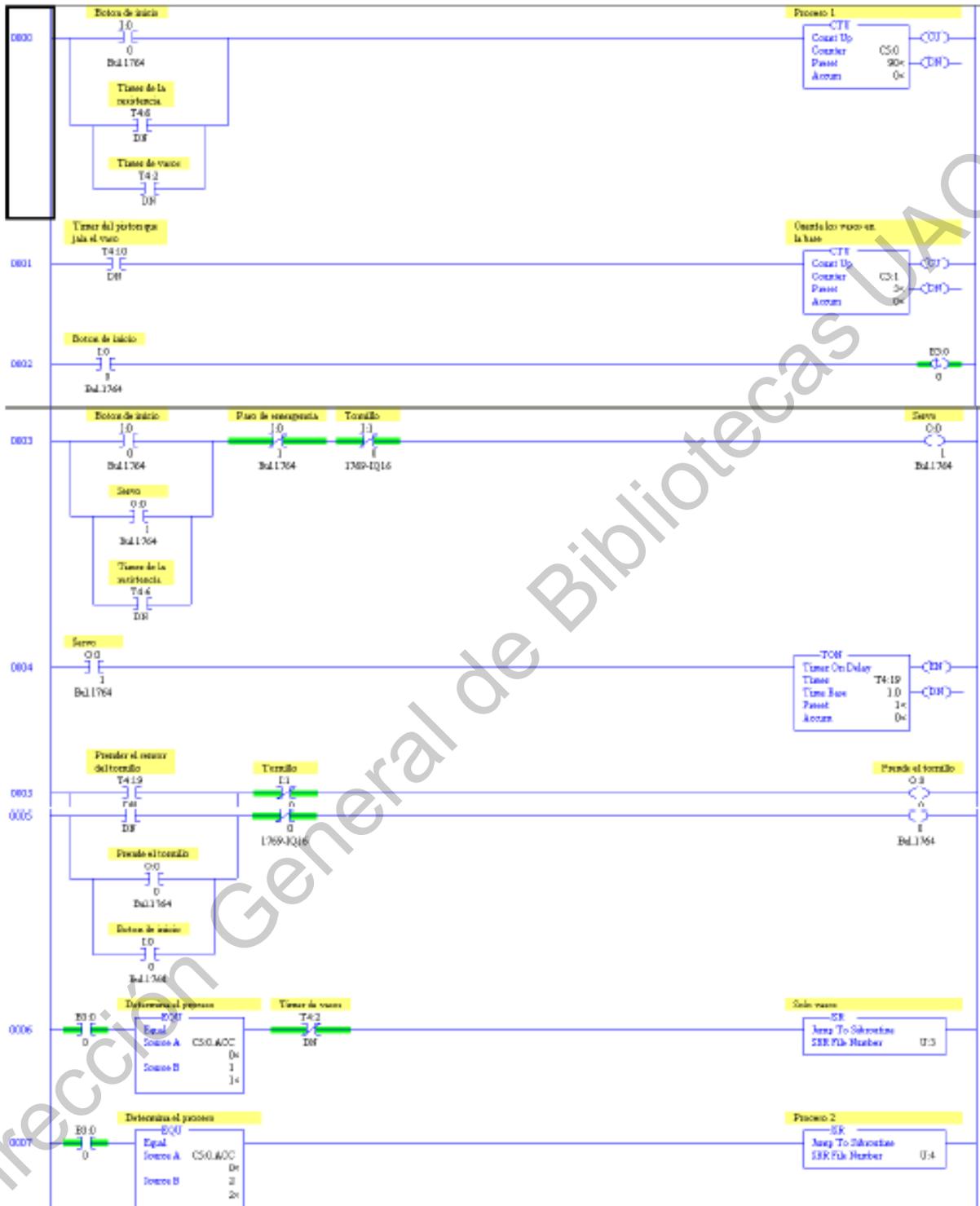
- [7] V. M. Hernández Guzmán, R. Silva Ortigoza y R. V. Carrillo Serrano, Control Automático: Teoría de Diseño, Construcción de Prototipos, Modelado, Identificación y Pruebas Experimentales. Colección CIDETEC del Instituto Politécnico Nacional. México, DF, México, 2013.
- [8] Panos Antsaklis, A Day Without Automatic Control, recuperado de <http://herramientas.camaramedellin.com.co/Inicio/Buenaspracticasempresariales/BibliotecaProduccionOperaciones/Automatizaciondelosprocesosindustriales.aspx>
- [9] DNP, Colciencias., Plan Estratégico del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad 2000 - 2010, año 2000.
- [10] Herramientas empresariales, recuperado de <https://www3.nd.edu/~pantakl/Archive/A%20Day%20Without%20Automatic%20Control.pdf>
- [11] Shaiken, H y Herzenberg, S. 1989. Automatización y producción global, producción de automotores de automóvil en México, Estados Unidos y Canadá (1ª ed.)UNAM. México.
- [12] Rodríguez Medina, Guillermo; Balestrini Atencio, Solange; Balestrini Atencio, Sara; Meleán Romero, Rosana; Rodríguez Castro, Belkis Análisis estratégico del proceso productivo en el sector industrial Revista de Ciencias Sociales (Ve), vol. VIII, núm. 1, enero-abril, 2002, pp. 135-156 Universidad del Zulia Maracaibo, Venezuela.
- [13] Deborah E. Berkowitz, SECTORES BASADOS EN RECURSOS BIOLÓGICOS, ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.
- [14] Advanced technology avan-tec. industrial automation system. [en línea]. Usa: Industrialautomsystem.net2016. Disponible en internet: [http://www.industrialautomsystem.net/llenadoras.htm?gclid=CjwKEAiA58a1BRDw6Jan\\_PLapw8SJABJz-ZW\\_6NzZoKd80WL7EDuVcV-30niipzHWJNx2bQ0Gd1TrxoC5Cjw\\_wcB](http://www.industrialautomsystem.net/llenadoras.htm?gclid=CjwKEAiA58a1BRDw6Jan_PLapw8SJABJz-ZW_6NzZoKd80WL7EDuVcV-30niipzHWJNx2bQ0Gd1TrxoC5Cjw_wcB)
- [15] Patricia Aguilera Martínez, Programación de PLC'S, SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L. Junio del 2002.
- [16] Directindustry. recuperado de: <https://www.directindustry.es/prod/delta-electronics-inc/product-19827-381013.html>

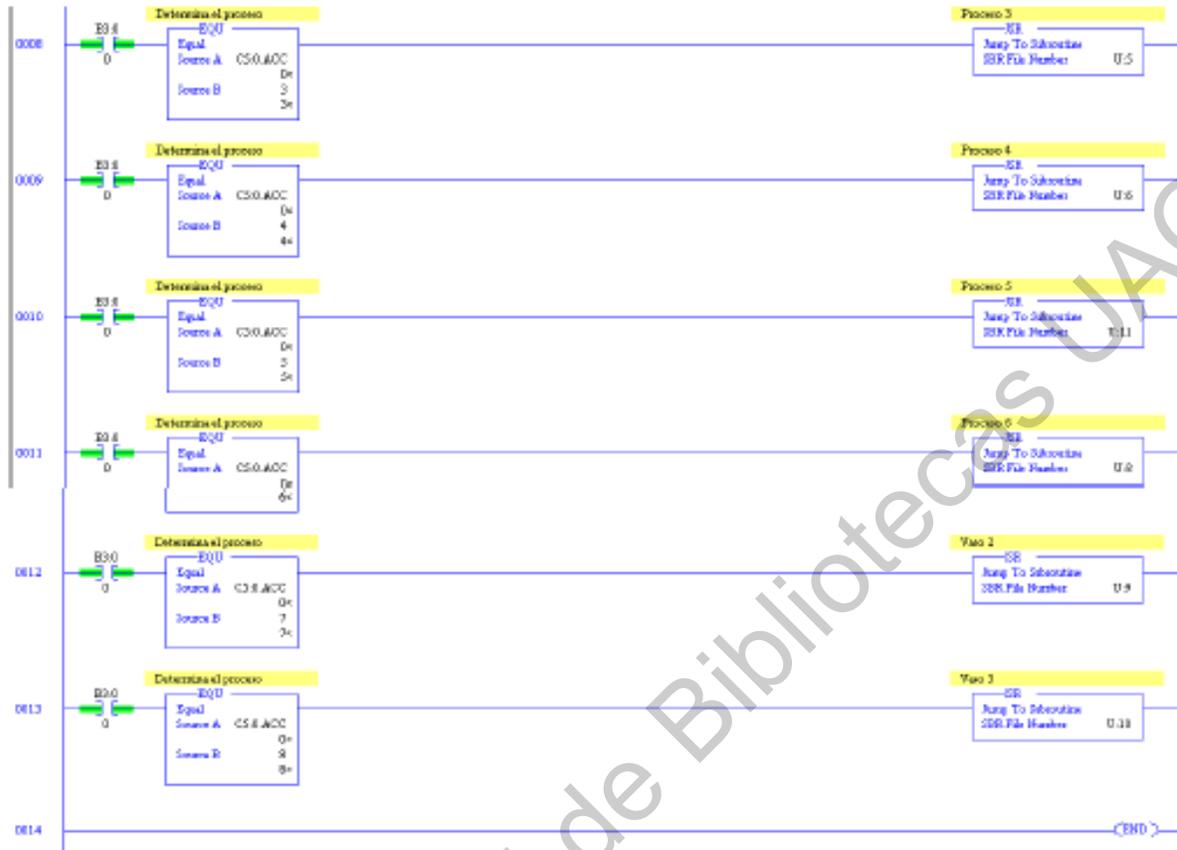
- [17] Indiamart. recuperado de: <https://www.indiamart.com/proddetail/delta-asda-a2-u-servo-motor-16533885312.html>
- [18] Delta Electronics, Inc, 2019. <http://www.deltaww.com/services/DownloadCenter2.aspx?secID=8&pid=2&tid=0&CID=06&itemID=060201&typeID=1&downloadID=ASDA-A2&title=ASDA-A2&dataType=1;2;8;&check=1&hl=en-US>
- [19] ASDA-A2 User manual, Delta electronics.inc. <https://www.deltaacdrives.com/wp-content/uploads/2012/06/ASDA-A2-User-Manual.pdf>
- [20] Marta Lana Tarridas, Proyecto de diseño de un proceso de sellado óptimo para tubos de pasta de dientes, Junio del 2016.
- [21] Detectores de proximidad inductivos y capacitivos, Crouzet. recuperado de: <http://www.crouzet.com.mx/pdf/crouzet/sensores.pdf>
- [22] Sensores de proximidad, Autonics. recuperado de: <https://dominion.com.mx/descargas/sensores-de-proximidad.pdf>
- [23] controladores de temperatura, Autonics. [http://www.farnell.com/datasheets/1599194.pdf?\\_ga=2.189280491.1550776359.1590784994-379134622.1590784994](http://www.farnell.com/datasheets/1599194.pdf?_ga=2.189280491.1550776359.1590784994-379134622.1590784994)
- [24] Tornero, M. J. E., & Fernández, A. J. R. (2016). Actuadores neumáticos. Ingeniería Industrial, Universidad de Huelva.
- [25] Pulla, S., & Pulla, F. (1988). Elementos hidráulicos: pistones (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- [26] Delta, Manual del usuario de la serie Asda-AB. Recuperado de: [http://www.webddigital.com/fabricantes/delta/pdf/motion/ASDA-AB\\_manual\\_sp.pdf](http://www.webddigital.com/fabricantes/delta/pdf/motion/ASDA-AB_manual_sp.pdf)
- [27] Autonics, TC-series. Recuperado de: <http://www.farnell.com/datasheets/1599194.pdf>

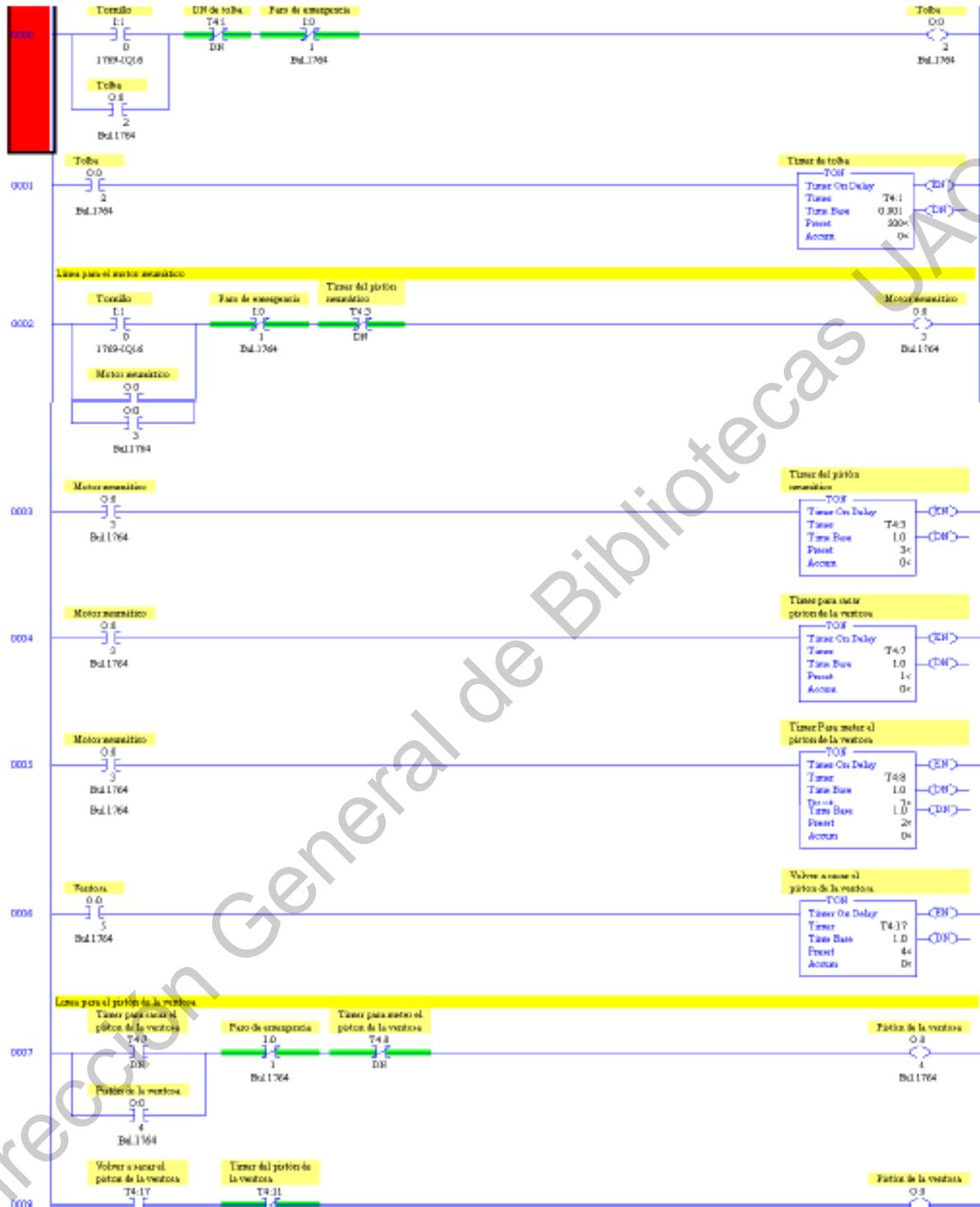
## **Anexos**

1. **Diagrama de escalera.**
2. **Artículo y constancia por participación en el encuentro de jóvenes universitarios.**

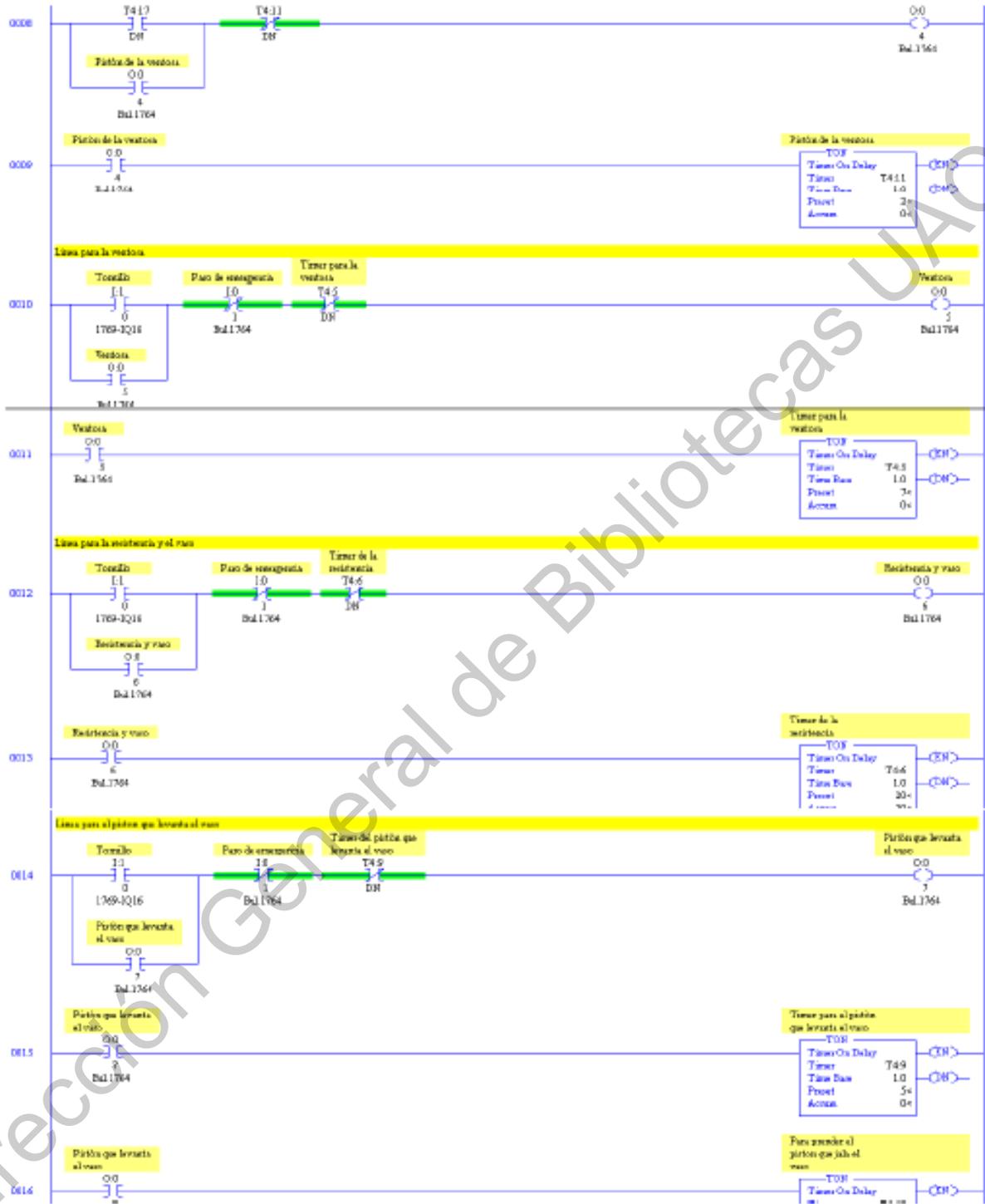
Dirección General de Bibliotecas UAQ

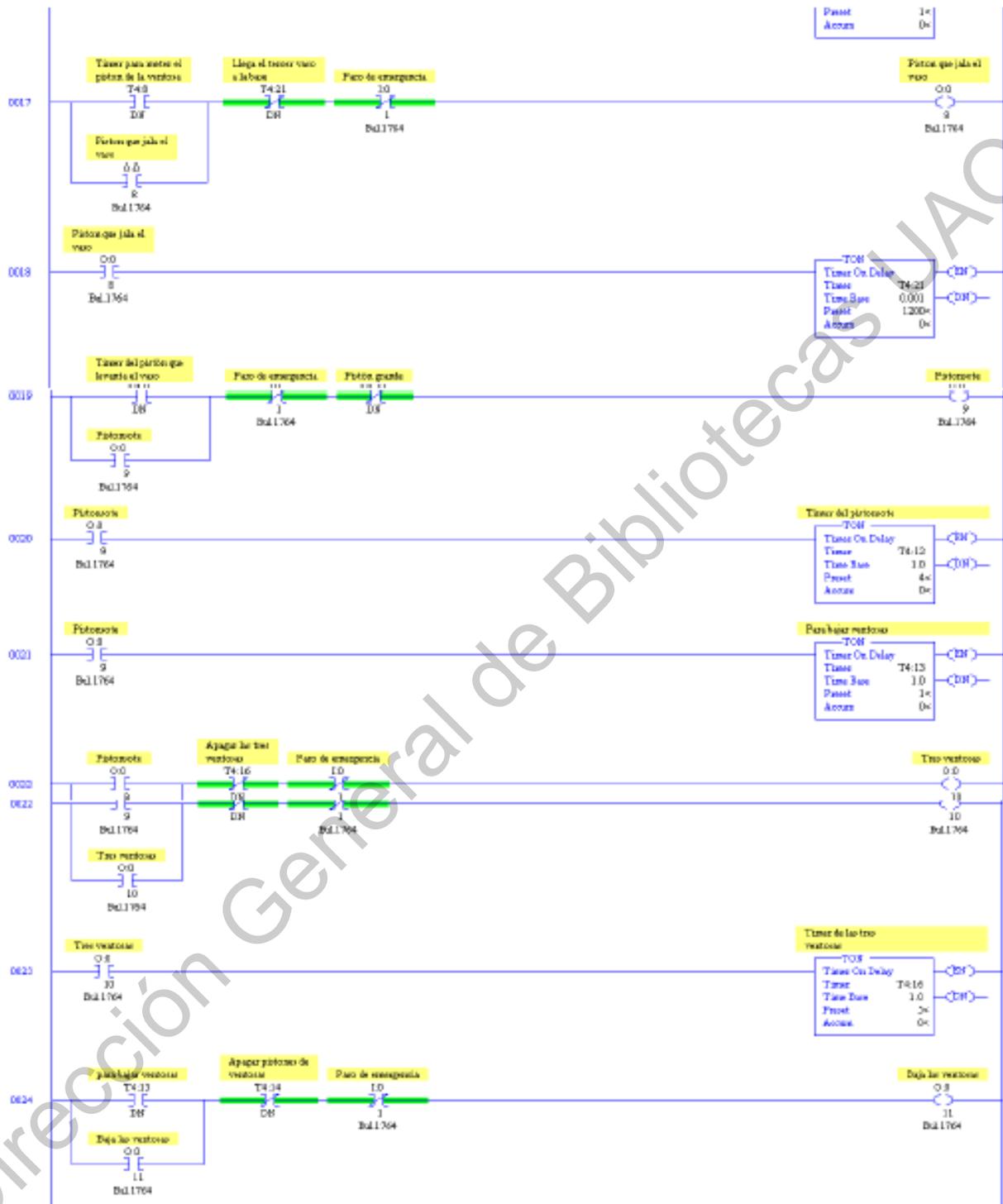




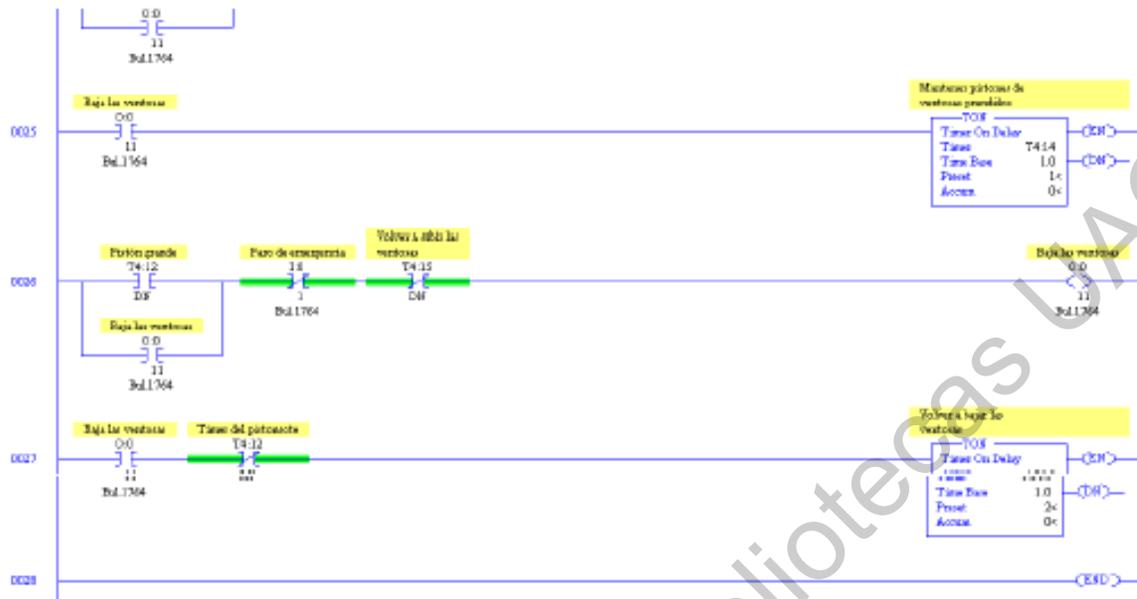


Dirección General de Bibliotecas UAQ





Dirección General de Bibliotecas UAQ



Dirección General de Bibliotecas UAQ

# **DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA ENVASADORA DE YOGURT BASADA EN UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.**

## **Datos generales.**

Autores: Emmanuel Hernández Solís, José Luis Avendaño Juárez, José Gabriel Ríos Moreno, Mario Trejo Perea.

Asesor: Mario Trejo Perea.

Institución: Universidad Autónoma de Querétaro.

Adscripción: Facultad de ingeniería.

Correo: hernandezsolis25297@gmail.com

## **Resumen.**

Se muestran el diseño, implementación y resultados de un sistema de control de una máquina envasadora de yogurt la cual es controlada por medio de un PLC, que ejecuta las instrucciones necesarias para realizar la secuencia de la máquina. Además de tener el controlador lógico programable, el diseño consta de sensores, pistones, electroválvulas, motores, resistencia eléctrica y un control de temperatura; ya que con estos se logrará un proceso totalmente automatizado de dicha máquina.

## **Antecedentes y/o fundamentación teórica.**

Las aplicaciones del control automático en la actualidad son muy extensas, variadas e importantes. Quizá una de las más populares es la del control de robots manipuladores en la industria de manufactura. Desde las líneas de ensamble de automóviles hasta las celdas robotizadas de soldadura. Las razones principales para este éxito es la alta calidad del trabajo, el ahorro de tiempo y la reducción del costo de producción [1].

El avance de la ingeniería y la ciencia ha crecido bastante gracias al control automático. Hoy en día nos podemos dar cuenta que el control automático es una de las partes más importantes dentro de las industrias, sobre todo en procesos continuos como por ejemplo en el control de presión, humedad, flujo, temperatura y muchas más variables que se ven involucradas en un proceso [2]. La revolución industrial produjo la aparición de nuevas creaciones mecánicas dentro del campo de la industria [3], el mayor avance en la automatización de la época fue la aparición de los motores de vapor inventados por James Watt.

Posteriormente en [4] definen de forma más completa el concepto de automatización mediante tres rasgos básicos. • Control automático de la fabricación de un producto producido en un número de etapas sucesivas. • El uso del control automático a cualquier rama de la ciencia o su aplicación en la industria. • El tercer rasgo característico es el resumen de las dos anteriores; y consiste en el empleo de dispositivos electrónicos o mecánicos para sustituir trabajo humano. En recientes investigaciones [3] define la automatización como operaciones automáticas realizadas por un aparato, proceso o sistema que están controladas por aparatos mecánicos o electrónicos que actúan como los órganos del ser humano tal como el olfato y la vista. La máquina automática de envasado consiste en un conjunto de subsistemas que trabajan de forma coordinada y secuencial. Estos subsistemas se encuentran distribuidos físicamente en la estructura de apoyo, proceso y transporte, donde se lleva a cabo el proceso de envasado, tapado, sellado y salida del producto terminado. La responsabilidad del sistema de control es el efectuar ejecuciones de movimientos y monitorear el estado de los subsistemas, proporcionando al supervisor de planta la información a través de una interfaz de usuario homogénea, fácilmente accesible [5]. En México, los productos lácteos como los quesos y los yogurts, así como las leches industrializadas (pasteurizada, ultrapasteurizada y en polvo), ocupan los primeros lugares de comercialización, manifestando una tendencia hacia el abastecimiento de las zonas urbanas, ya que estas poseen vías de comunicación accesibles y concentran grupos con niveles de ingreso más altos, en contraste con las zonas no urbanas, donde el consumo de lácteos se limita principalmente a leche bronca y productos artesanales [6]. EL envasado es la última etapa del proceso de la elaboración del yogurt y consiste en el llenado de los envases del producto. El factor más importante es el mantenimiento de las condiciones asépticas del proceso [7].

### **Descripción del problema.**

En la industria se han desarrollado varios sistemas de envasado de yogurt, sin embargo, estos sistemas tienen maquinaria con costos muy altos, de tal forma que el acceso a este tipo de máquinas es posible solo para empresas con un alto desarrollo tecnológico, además estas son de tecnologías americanas o alemanas y eso incrementa los costos de producción del envasado de yogurt.

### **Justificación del proyecto.**

El yogurt en México ha tenido una amplia aceptación y un crecimiento acelerado; actualmente se le encuentra en una gran variedad de presentaciones, tamaños, texturas, sabores, colores, marcas comerciales. Se le puede conseguir con bajo contenido de grasa, sólido o batido, conocido este último como “estilo suizo”. Su composición varía de acuerdo al tipo de leche utilizada como por los ingredientes incluidos en su formulación, ya sea fruta, nueces, etcétera; gracias a esta demanda existen muchas industrias dedicadas a la elaboración de yogurt, sin embargo, más del 90 por ciento de ellas corresponden a micro y pequeñas empresas con escasos niveles de tecnología e inadecuados sistemas de automatización para sus productos [8].

En la actualidad las máquinas utilizadas para el envasado de yogurt suelen emplear diferentes tipos de transmisión de energía tales como la mecánica, la hidráulica, la electricidad y la neumática, sin embargo, la más utilizada es la electricidad por su tiempo de respuesta alto ya que sin importar a que distancia se encuentre el mando distribuidor de dicha energía, su respuesta será constante. En el diseño de esta máquina se usará el aire comprimido como suministro de energía porque es un 70 por ciento más barato que la energía eléctrica además de evitar emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **Hipótesis.**

Se desarrollará una máquina envasadora de yogurt la cual será de hasta un 50 por ciento más barata comparada con las máquinas comerciales ya existentes; además se prevé que la máquina será capaz de llenar hasta 18 vasos por minuto obteniendo como resultado 2 cajas de producto final.

### **Objetivos.**

Desarrollo y construcción de máquina envasadora y empaquetadora de yogurt basada en un controlador lógico programable para lograr una automatización integral y de bajo costo para maximizar la producción con una máquina de fabricación nacional.

### **Metodología.**

Para la realización del proyecto el punto de partida será la expectativa que se tiene sobre la máquina, la funcionalidad y alcance que deberá tener en relación con los requerimientos que dicta las investigaciones sobre dispositivos comerciales y sus funciones.

Posteriormente el proyecto se desarrollará con el estudio de máquinas ya existentes las cuáles serán las bases para comenzar el desarrollo de las mejoras que se implementarán

En secuencia con el periodo anterior se procedió a realizar el diseño físico del prototipo con especificaciones físicas y dimensionamiento, así como la disposición de sus partes.

Una vez teniendo la parte mecánica se implementó la programación en el PLC el cual se ayudará de los sensores y los actuadores para realizar las funciones necesarias para el envasado.

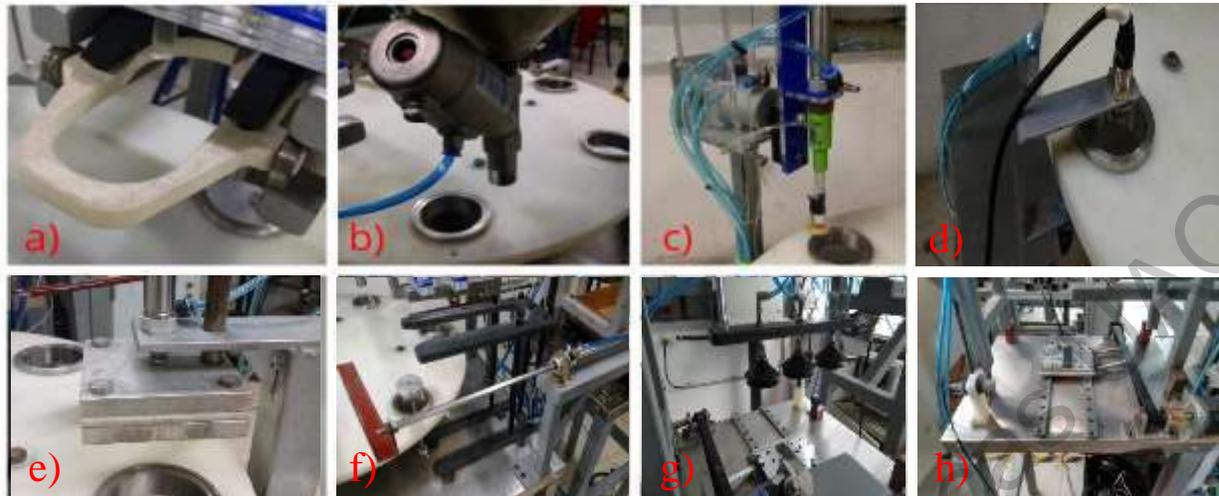
En la última sección del proyecto general se realizó la validación de los datos obtenidos para comprobar su correcto funcionamiento y puesta en marcha como dispositivo final.

### **Resultados y discusión.**

Con el diseño de la máquina se logró disminuir el espacio necesario para que esta tenga un buen desempeño, dicho diseño (ver figura 1) es de manera circular y no lineal como lo son las máquinas comerciales, además de tener la disminución de espacio este diseño nos permite tener un proceso más eficiente ya que la producción es continua por lo que se obtuvo una mejora en la relación producción-tiempo.



**Figura 1.** Máquina envasadora de yogurt.



**Figura 2.** Partes mecánicas de la máquina.

El proceso de envasado consta de ocho partes que nos permiten tener un envasado y empaquetado completo, este proceso comienza con una garra que se puede observar en el a) de la figura 2, esta garra tiene como función dispensar un vaso que se coloca en el disco giratorio, en el b) de la figura 2 se muestra una válvula neumática cuya función es dejar caer el yogurt necesario para llenar el vaso, una vez lleno el vaso, en el tercer apartado (ver el c) de la figura 2) se lo colocará la tapa al vaso, para esto se utiliza un motor neumático que hace girar un pistón que contiene una ventosa, esta gira 180° de tal forma que queda viendo hacia arriba, el pistón sube y por vacío la ventosa jala una tapa, el pistón y el motor neumático regresan a su posición inicial y cuando la ventosa este viendo hacia abajo el pistón vuelve a salir y se apaga la ventosa quedando así la tapa en su lugar y por último el pistón regresa a su posición inicial en el d) de la figura 2 se tiene un sensor inductivo con el cual se verifica que la tapa haya sido puesta en el vaso, una vez que se ha verificado el posicionamiento de la tapa se procede a realizar el sellado el cual se realizará con una resistencia eléctrica precalentada a 200°C, en la figura dos, e) se puede apreciar esta resistencia, después un pistón levanta al vaso del disco giratorio y otro pistón jala el vaso hacia una base en la que se acomodarán vasos de tres en tres, cada que hay tres en dicha base un pistón lleva tres ventosas (mostradas en el g) de la figura 2) arriba de los vasos y dos pistones más bajan estas ventosa para succionar los vasos y llevarlos hacia la caja, una vez colocados los vasos en la caja un motor a pasos mueve la caja una posición

de tal forma que quede alineada para los próximos tres vasos, ya que hay 9 vasos en la caja la base regresa a su posición original, este mecanismo se observa en )

### **Conclusiones.**

Durante la construcción de la máquina se tuvieron algunos problemas de diseño que se tuvieron que ir corrigiendo durante el transcurso de dicha construcción ya que no fue posible imaginar todas las situaciones de falla hasta el momento de tenerlas presentes, sin embargo, al realizar muchas pruebas e intentar hacer que la máquina fallara lograron salir a la luz las problemáticas presentes y así se pudieron corregir para tener una máquina con un funcionamiento robusto. Cabe mencionar que la única intervención del humano es para poner una caja nueva y quitar la que ya contiene los 9 yogurts.

### **Referencias bibliográficas.**

- [1] V. M. Hernández Guzmán, R. Silva Ortigoza y R. V. Carrillo Serrano, Control Automático: Teoría de Diseño, Construcción de Prototipos, Modelado, Identificación y Pruebas Experimentales. Colección CIDETEC del Instituto Politécnico Nacional. México, DF, México, 2013.
- [2] K. Ogata, Ingeniería de control moderna 3ª edición, Prentice-Hall, 2000.
- [3] DiFrank, P.E.G, "Discussion of the various levels of automation". Cement Industry Technical Conference Record, IEEE. 29/04/2007.
- [4] Parasuraman.R, Riley V. A., "Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse," Human Factors, 1997.
- [5] C. Rodríguez Prada, C. Cortes Rocha, MAQUINA AUTOMÁTICA DE LLENADO Y SELLADO DE ENVASE TIPO PET PARA CONDIMENTOS EN POLVO. Bogotá, 2007.
- [6] Carnilac industrial. [En línea] <http://www.carnilac-industrial.com.mx/estado-actual-de-la-produccion-de-lacteos-en-mexico/>. 2018
- [7] Instituto tecnológico agroalimentario, MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES EN LA INDUSTRIA LACTEA. AINIA, 2014.
- [8] German Luna, KEASER COMPRESORES. [En línea] <http://airecomprimidokaeser.com/index.php/2016/01/07/aire-comprimido-limpio/>. 7/01/2016.



El Comité Organizador del 6º Encuentro de Jóvenes  
Investigadores del Estado de Querétaro,  
otorga la presente

# CONSTANCIA

a:

Hernández Solís Emmanuel, José Luis Avendaño  
Juárez, José Gabriel Ríos Moreno y Mario Trejo Perea

Por su valiosa participación con la ponencia, “Desarrollo y  
construcción de máquina envasadora de yogurt basada en  
un controlador lógico programable”

26 de septiembre de 2018

Centro de Negocios Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Aurelio Domínguez González  
Secretario Académico

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Directora de Investigación y Posgrado