



UNAP



FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**TEORÍA DE CONTROL Y APLICACIONES A LA INDUSTRIA DE
ALIMENTOS. NEUMÁTICA. CONTROLADORES LÓGICOS
PROGRAMABLES (PLC)**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTADO POR:
KELLY DEL CASTILLO SANTANA**

**ASESOR
Ing. ALBERTO JOSÉ BAZÁN FERRANDO, Msc.**

**IQUITOS, PERÚ
2022**



UNAP

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Escuela Profesional de
Ingeniería en Industrias Alimentarias

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL N° 022-
CGT-FIA-UNAP-2022**

En Iquitos, en las instalaciones del laboratorio de ingeniería, ubicado en la Planta Piloto, sito Av. Freyre N° 610, a los 11 días del mes de mayo de 2022, a horas.....16:00....., se dió inicio a la sustentación pública del informe del examen de suficiencia profesional titulado “**TEORÍA DE CONTROL Y APLICACIONES A LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS. NEUMÁTICA. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC).**” presentado por el (la) Bachiller **KELLY DEL CASTILLO SANTANA**; para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) en Industrias Alimentarias, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal N° 0179-FIA-UNAP-2022 del 02 de mayo de 2022, está integrado por:

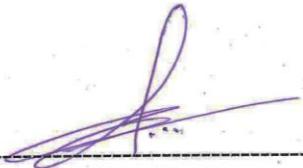
Ing. CARLOS ANTONIO LI LOO KUNG, Dr.
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.
Ing. GIORGIO SERGIO URRO RODRIGUEZ, Mtro.

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: *Sobresatisfactoriamente*

El Jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y el informe del examen de suficiencia profesional, según promedio final, ha sido: *Aprobada* con la calificación *Muy buena*

Estando el (la) bachiller apto (a) para obtener el Título Profesional de Ingeniero(a) en Industrias Alimentarias, Siendo las *12:45* se dió por terminado el acto de sustentación.



Presidente
Ing. CARLOS ANTONIO LI LOO KUNG, Dr.
CIP: 75104



Miembro
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.
CIP: 71113



Miembro
Ing. GIORGIO SERGIO URRO RODRIGUEZ, Mtro.
CIP: 78406



Asesor
Ing. ALBERTO JOSÉ BAZAN FERRANDO, MSc.
CIP: 69126

MIEMBROS DEL JURADO

Examen de suficiencia profesional aprobada en sustentación pública en la ciudad de Iquitos en las instalaciones del laboratorio de ingeniería de alimentos – Planta Piloto de la Universidad de la Amazonia Peruana, llevado a cabo el día 11 de mayo del 2022, siendo 16:00 horas del día Miércoles, siendo los Miembros del Jurado calificador los abajo firmantes.



.....
Ing. CARLOS ANTONIO LI LOO KUNG, Dr.

Presidente



.....
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Msc.

Miembro



.....
Ing. GIORGIO SERGIO URRO RODRIGUEZ, Mtro.

Miembro

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado primeramente a Dios, quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para salir adelante para realizar uno de mis anhelos más importantes.

A mi madre Angela Santana Zarbe, pues sin ella no lo había logrado por darme su amor, confianza infinita para poder realizarme como profesional. Sintiéndome orgullosa de ser su hija por ser una excelente madre

A mi hermano Joshua por estar siempre a mi lado en cada uno de mis desvelos.

A mi padre Jesús Elmer del castillo, aunque no esté a mi lado físicamente, pero sé que desde el cielo me manda sus bendiciones con tanto amor para seguir adelante con mis proyectos para poder superar cada obstáculo que se presenta.

KELLY DEL CASTILLO SANTANA

AGRADECIMIENTO

A Dios por acompañarme en todo momento y culminar mis estudios satisfactoriamente.

A la Universidad Nacional De La Amazonia Peruana (UNAP), a la facultad de industrias alimentarias por abrirme sus puertas para mi formación profesional.

A los docentes que me brindaron sus conocimientos y apoyo en todo momento para ser una gran profesional lo que hoy en día soy.

KELLY DEL CASTILLO SANTANA

INDICE GENERAL

Portada	i
Acta de examen suficiencia profesional	ii
Miembros del Jurado	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice general	vi
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	x
Resumen	xi
Abstract	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: REVISION BIBLIOGRAFICA	2
1. TEORIA DE CONTROL	2
1.1. Elementos del Sistema de control	3
1.2. Representación en diagramas de bloques	3
1.3. CLASIFICACION DE LA TEORÍA DE CONTROL	4
1.3.1. Control de lazo abierto	4
1.3.2. Elementos básicos del control lazo abierto	5
1.3.3. Características del sistema de control de lazo abierto	6
1.3.4. Control de lazo cerrado	6
1.3.6. Características del sistema de control de lazo cerrado	8
2. MÉTODOS DE CONTROL	9
2.1. Métodos de control Clásico	9
2.2. Métodos de control moderno	17
3. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN PROCESOS INDUSTRIALES	19
3.1. Calderas	19
3.2. Secado	21
3.3. Evaporador	23
3.4. Humidificación	24
3.5. Atomización	24
3.6. Ejemplos de aplicación del sistema de control en la industria alimentaria	26
3.7. Instrumentación en un sistema de control	27
3.8. Sistema de control avanzado	28
4. NEUMÁTICA	30
4.1. Elementos básicos de la neumática	30
4.2. Ventajas de la neumática	32

4.3.	Desventajas de la neumática	32
4.4.	Estructura de sistemas neumáticos y flujo de las señales	32
4.5.	Producción de aire comprimido	34
4.6.	Obtención de aire comprimido	34
4.7.	Simbología neumática	36
4.8.	Sistema de consumo de aire	37
4.9.	Compresores neumáticos	37
4.10.	Actuadores Neumáticos	39
4.11.	Válvulas Neumáticas	41
4.12.	Relés	43
4.13.	Sensores	44
4.14.	Automatización Neumática	44
4.15.	Aplicación de la neumática en procesos de la industria alimentaria	
445		
4.15.1.	Equipos que utilizan la neumática en la industria alimentaria	46
4.15.2.	Ejemplos de la aplicación de la neumática en la industria de alimentos	52
5.	CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES	54
5.1.	Tipos de Plc	56
5.2.	Estructura de un Plc	56
5.3.	Entrada y salida digital de un Plc	59
5.4.	Entrada y salida analógica de un Plc	59
5.5.	Fuentes de alimentación	60
5.6.	Procesador	60
5.7.	Memoria	61
5.8.	Ventajas del Plc	61
5.9.	Configuración del Controlador lógico programable	62
5.10.	Criterios de selección	62
5.11.	Tipos de lenguaje de programación Plc	63
5.12.	Funcionamiento del Plc	66
5.13.	Variables Programadas	67
5.14.	Aplicación del Plc en la industria alimentaria	68
5.15.	Ejemplos de aplicación del plc en la industria alimentaria	71
II.	CONCLUSIONES	72
III.	RECOMENDACIONES	73
IV.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	74

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Sistema de control	2
Figura N° 2. Elementos de los diagramas de bloques	4
Figura N° 3. Diagrama esquemático del sistema de control lazo abierto	4
Figura N° 4. Diagrama de bloques del sistema de control lazo abierto	5
Figura N° 5. Diagrama del sistema de control lazo cerrado	6
Figura N° 6 .Diagrama de bloques del sistema de control lazo cerrado	7
Figura N° 7. Diagrama de bloques de realimentación positiva	8
Figura N° 8. Diagrama de bloques de realimentación negativa	9
Figura N° 9. Gráfica del calentamiento del horno	10
Figura N° 10. Sistema de control anticipatorio	17
Figura N° 11. Sistema de control anticipatorio	18
Figura N° 12. Diagrama de realimentación de estados	18
Figura N° 13. Secador de evaporación rápida	22
Figura N° 14. Secador rotativo	22
Figura N° 15. Secador doble cilindro rotativo	23
Figura N° 16. Estructura del sistema de control avanzado	29
Figura N° 17. Elementos de un sistema neumático	31
Figura N° 18. Estructura de los sistemas neumáticos	33
Figura N° 19. Ciclo de obtención y distribución de aire comprimido	35
Figura N° 20. Compresor alternativo o desplazamiento	38
Figura N° 21. Compresores rotativos	39
Figura N° 22. Actuadores lineales	40

Figura N° 23. Cilindro de simple efecto	40
Figura N° 24. Cilindro doble efecto	41
Figura N° 25. Máquina para bañar queso	46
Figura N° 26. Envasadora por nivel	48
Figura N° 27. Envasadora volumétrica	48
Figura N° 28. Enroscador manual de tapas	49
Figura N° 29. Enroscado de tapas compuesta	50
Figura N° 30. Sistema de colocado y enroscado de tapas lineal	51
Figura N° 31. Transportador de banda	51
Figura N° 32. Transporte por placas articuladas	52
Figura N° 33. Diagrama del Plc	54
Figura N° 34. Arquitectura general de un Plc	55
Figura N° 35. Partes del PLC	57
Figura N° 36. Diferentes marcas de PLC	63
Figura N° 37. Diagrama de bloques de funciones	65
Figura N° 38. Lenguaje de SQL	65
Figura N° 39. Estados operativos del CPU	66

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Resumen de características de control clásico	15
Tabla N° 2. Esquema de controladores clásicos	16
Tabla N° 3 sistema de control de nivel	20
Tabla N° 4. Simbología básica de la neumática	36
Tabla N° 5. Simbología de válvulas distribuidoras neumáticas	42
Tabla N° 6. Estructura del plc s7-1200 siemens	58
Tabla N° 7. Principales atributos del PLC siemens S7- 1200	60
Tabla N° 8. Símbolos de diagrama Ladder	64
Tabla N° 9. Variables programadas en el PL	67

RESUMEN

El presente trabajo “**teoría de control y aplicaciones a la industria de alimentos. Neumática. Controladores lógicos programables (PLC)**”, está basado en los conceptos básicos y aplicaciones en la industria alimentaria que son de gran importancia. De tal manera nos permita obtener un procedimiento de fabricación y estándares de calidad, razón por el cual se hizo un estudio bibliográfico acerca de estos temas.

Las empresas dedicadas a la fabricación de los alimentos, bebidas, enlatados u otros. Realizan un control y registro de temperatura. Por lo que se utiliza la teoría de control área de ingeniería encargada de supervisar, analizar y mejorar el comportamiento del sistema. También es necesario tener en cuenta que la neumática es la fuente de energía más importante en la industria alimenticia en el proceso de producción, principalmente sector de bebidas porque permite realizar un tratamiento completo y obtener un producto de buena calidad por la función que realiza el aire comprimido y finalmente se desarrolla la explicación del controlador lógico programable (PLC) que consta de entradas y salidas digitales que trabaja de manera automática.

Palabras claves: neumática, PLC, control y energía

ABSTRACT

The present work “CONTROL THEORY AND APPLICATIONS TO THE FOOD INDUSTRY. PNEUMATICS. PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS (PLC)”, is based on the basic concepts and applications in the food industry that are of great importance. In such a way, it allows us to obtain a manufacturing procedure and quality standards, which is why bibliographic study was made on these topics.

Companies dedicated to the manufacture of food, beverages, canned goods or others. They perform a temperature control and record. Therefore, the control theory is used in the engineering area in charge of supervising, analyzing and improving the behavior of the system. It is also necessary to take into account that pneumatics is the most important source of energy in the food in industry in the production process, mainly in the beverage sector, because it allows a complete treatment be carried out and a good quality product to be obtained due to the function performed by the air. Compressed and finally the explanation of programable logic controller (PLC) that consists of digital inputs and outputs that works automatically is developed.

Keywords: pneumatics, PLC, control and energy

INTRODUCCION

Hoy en día la industria alimentaria realiza el proceso de automatización debido a la gran eficiencia que tiene al llevar a cabo los procesos industriales, ya que anteriormente se utilizaba con bastante intensidad la mano de obra generando algunos inconvenientes en el producto final.

Es por ello que la primera parte de la investigación bibliografía es sobre el sistema de control encargado de comandar, dirigir así mismo o hacia otro sistema, pues este sistema de control se clasifica en dos: teoría de control de lazo abierto y cerrado. Además, se encuentra los métodos de control de acción clásica y moderna, pero el más usado es la acción de control clásico por su aplicación en la industria.

La neumática significa el movimiento de aire comprimido en sus procesos, es por ello que la presión del aire se ha utilizado durante mucho tiempo, cabe señalar que su uso se ha generalizado en la industria desde hace años.(Quispe, 2018) La neumática tiene ventajas y desventajas que es importante saber. También es aplicada en los procesos de embotellado, manipulación de alimentos, conservación e higiene entre otras aplicaciones en la industria alimentaria.

Finalmente, el controlador lógico programable se utiliza para el control y automatización de los procesos industriales a desarrollarse. Por lo que es necesario saber cuáles son sus ventajas, criterios de selección, configuración, tipos de lenguaje, variables, tipos de memoria, etc.

CAPITULO I: REVISION BIBLIOGRAFICA

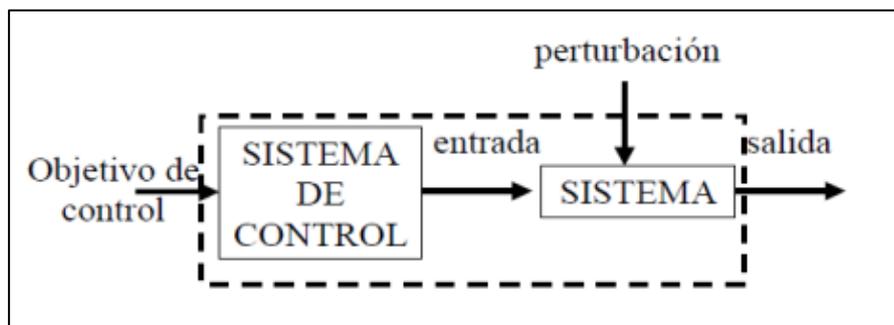
1. TEORIA DE CONTROL

Es el encargado de comparar la variable, o condición a controlar, con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación que se presenta sin que el operario intervenga en lo absoluto.(Creus, 2011)

Sus principales funciones de la teoría de control son la observación del proceso y sus variables a automatizar, el acondicionamiento de las variables y parámetros observados, el procesamiento de la información y su comparación con lo deseado y, además, la acción de corrección de los elementos terminales para obtener lo deseado. La teoría de control se manifiesta desde un sistema muy simple (univariable) hasta altamente complejo (multivariable o multitarea). Pues el grado de complejidad se dará a cabo según el tipo de instrumentación a usar, tipo de procesamiento y alcances que desea dar la automatización. Por ejemplo, la supervisión y control de la producción (integración global de sistema de producción), control de procesos industriales (manejos y regulación de variables) y entre otros sistemas.(Castillo Zapata y Villena Lingan, 2016)

Se muestra en la figura 1, el sistema de control.

Figura N° 1. Sistema de control.



Fuente: Maurizaca Garcés (2015)

1.1. Elementos del Sistema de control

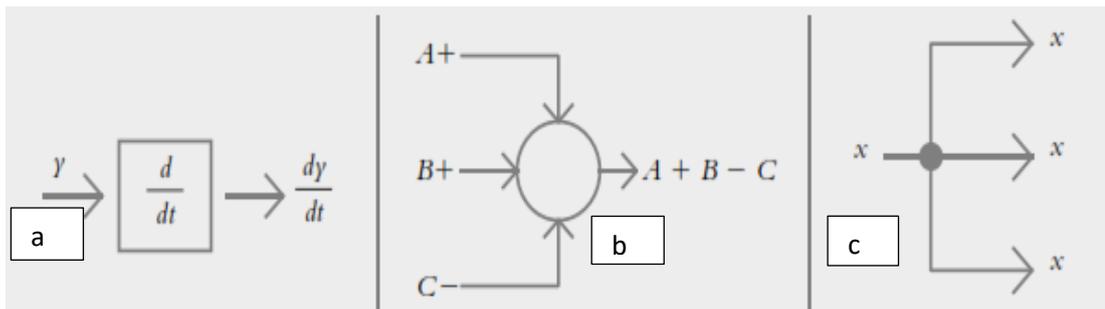
- ✓ Variable de entrada: es un proceso de cambio de magnitud o la ubicación pueden cambiar la posición del sistema.
- ✓ Variable de salida: es un cambio sistemático de tamaño o condición medida.
- ✓ Perturbación: es una señal que afecta el valor de la salida del sistema. Si la perturbación se produce dentro del sistema es denominada interna y la perturbación externa se origina fuera del sistema y es una entrada. (Maurizaca Garcés, 2015)

1.2. Representación en diagramas de bloques

Los diagramas de bloques se utilizan para describir el proceso a realizarse, mediante gráficos, la cual son las partes de un sistema.

Normalmente el diagrama o bloque muestra la derivación, nombre que tiene el elemento o símbolo de la operación matemática correspondiente que se lleva a cabo sobre la entrada $r(t)$ y para producir la salida $y(t)$. La (figura 2a) cuando a un bloque se le aplica dos o más entradas se utiliza un punto de suma (circulo) que sustituye al bloque de salida. luego tenemos (figura 2b) el punto de reparto, representado por un punto, que se utiliza cuando una señal se divide para aplicarse a más de un bloque (figura 2c). (Hernández Gaviño, 2010)

Figura N° 2. Elementos de los diagramas de bloques



Fuente: Hernández Gaviño (2010)

1.3. CLASIFICACION DE LA TEORÍA DE CONTROL

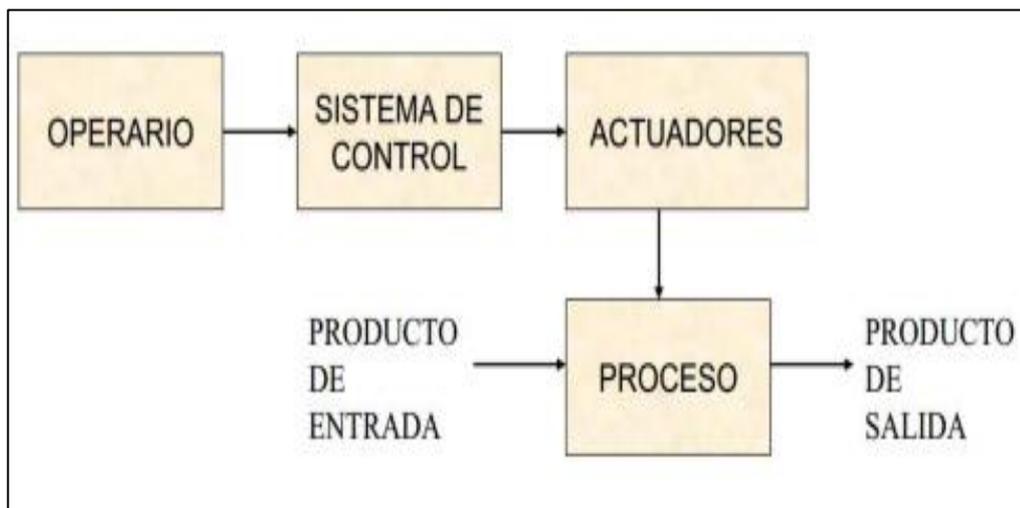
1.3.1. Control de lazo abierto

Son aquellos sistemas de control en donde la salida no tiene efecto sobre la acción de control. Además, el sistema de control de lazo abierto, la salida no se mide tampoco se realimenta para compararla con la entrada.

(Alberto, Perez y Perez, 2008)

En la figura 3, se muestra el diagrama esquemático de lazo abierto.

Figura N° 3. Diagrama esquemático del sistema de control lazo abierto



Fuente :Torres Capuz y Chanoluisa Martinez (2015)

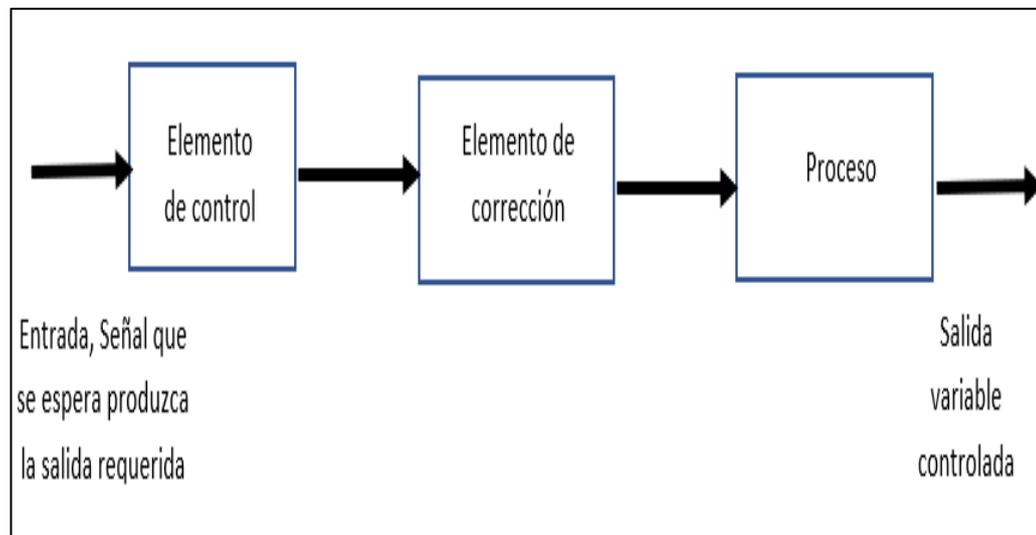
1.3.2. Elementos básicos del control lazo abierto

Según (Atiencia Lozada, 2015) los elementos básicos del lazo abierto son:

1. **Elemento de control:** es el elemento encargado de entregar una señal adecuada en la entrada, para que pueda funcionar el elemento de corrección.
2. **Elemento de corrección:** es el elemento que responde en la entrada del elemento del control, la cual realiza la acción de cambio en la variable controlada al valor requerido.
3. **Proceso:** es la planta o proceso, que permite controlar la variable en el sistema.

En la figura 4, se muestra el diagrama de bloques lazo abierto

Figura N° 4. Diagrama de bloques del sistema de control lazo abierto



Fuente: Alberto, Perez y Perez (2008)

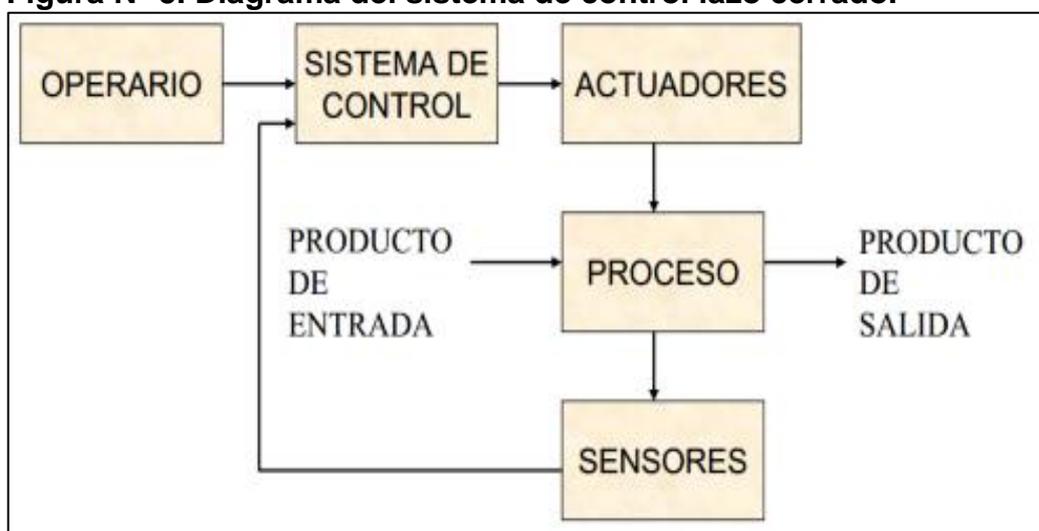
1.3.3. Características del sistema de control de lazo abierto

- La salida del sistema no se compara con el valor de la salida (referencia).
- La exactitud de la salida de este sistema tiene que depender de la calibración.
- Este sistema aparece en aquellos dispositivos de control secuencial, donde no hay regulación de variables. Esto indica que realizan operaciones determinadas. Para ello se utiliza el PCL (controladores lógicos programables).
- Además, por cada entrada de referencia le pertenece una operación fijada. (Torres Capuz y Chanoluisa Martínez, 2015)

1.3.4. Control de lazo cerrado

También son llamados sistemas en realimentación, es aquel sistema donde la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control (ver figura 5) Además, este sistema de control es de realimentación negativa para reducir el error del sistema. (Alberto, Perez y Perez, 2008).

Figura N° 5. Diagrama del sistema de control lazo cerrado.



Fuente: Atiencia Lozada (2015)

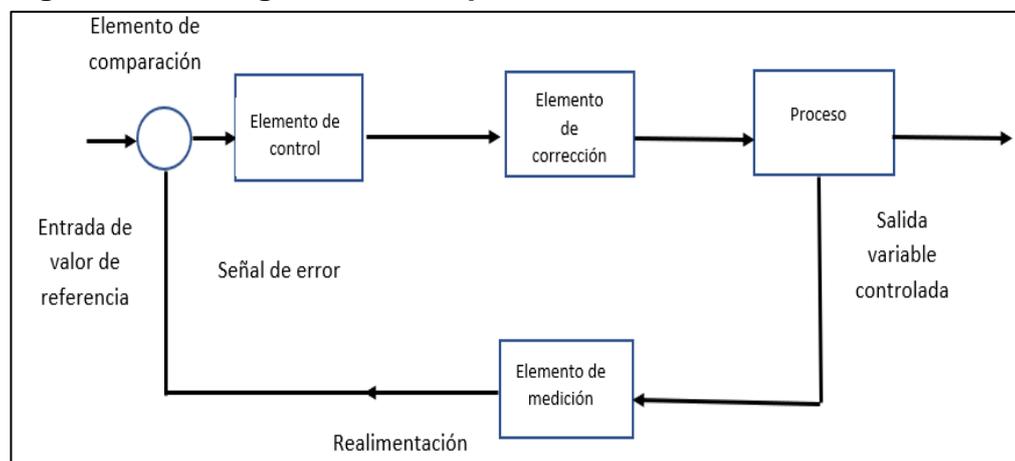
1.3.5. Elementos básicos de control lazo cerrado

Manifiesta (Atiencia Lozada, 2015) los elementos básicos del lazo cerrado:

1. **Elemento de comparación:** es el elemento que compara el valor de referencia para poder controlar con el valor medido, la cual se obtiene a la salida y produce una señal de error que indica una diferencia de ganancias obtenidas en la producción.
2. **Elemento de control:** es el elemento que permite decidir que acción realizar al momento que recibe una señal de error durante el proceso.
3. **Elemento de corrección:** es el elemento que permite generar cambios en el sistema al momento de eliminar el error.
4. **Elemento de proceso:** es la planta o proceso, que permite controlar la variable en el sistema.
4. **Elemento de medición:** produce señal relacionada con la posición del cambio controlado y proporciona un circuito de retroalimentación y un indicador para determinar si hay un error.

En la figura 6, se muestra el diagrama de bloques del lazo cerrado indicando los elementos básicos.

Figura N° 6 .Diagrama de bloques del sistema de control lazo cerrado



Fuente: Alberto, Perez y Perez (2008)

1.3.6. Características del sistema de control de lazo cerrado

- Tiene precisión y exactitud el sistema de control de lazo cerrado.
- Mediante la configuración se puede corregir los efectos de perturbación que se presentan al momento de realizar la acción.
- El sistema de control de lazo cerrado es más complejo.
- En su entrada obtiene la información de salida, es un sistema realimentado.(Torres Capuz y Chanoluisa Martinez, 2015)

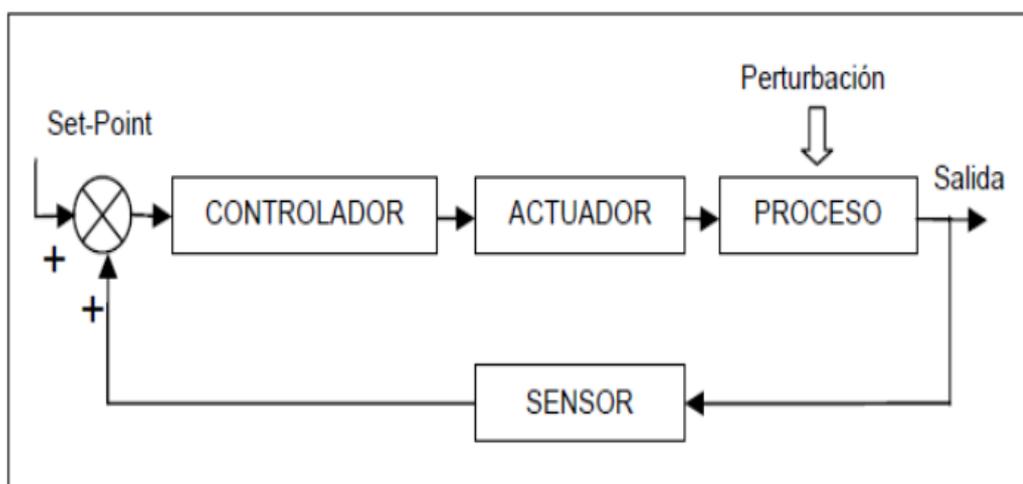
Según (Alverar Ching, 2018) Existen dos tipos de control de lazo cerrado:

a) Realimentación Positiva:

También llamado regenerativa, es la realimentación donde se agrega la señal de entrada. Este tipo de realimentación no está incluida en el control de proceso de producción. Ejemplo: los osciladores

En la figura 7, se aprecia el diagrama de bloques de realimentación positiva.

Figura N° 7. Diagrama de bloques de realimentación positiva



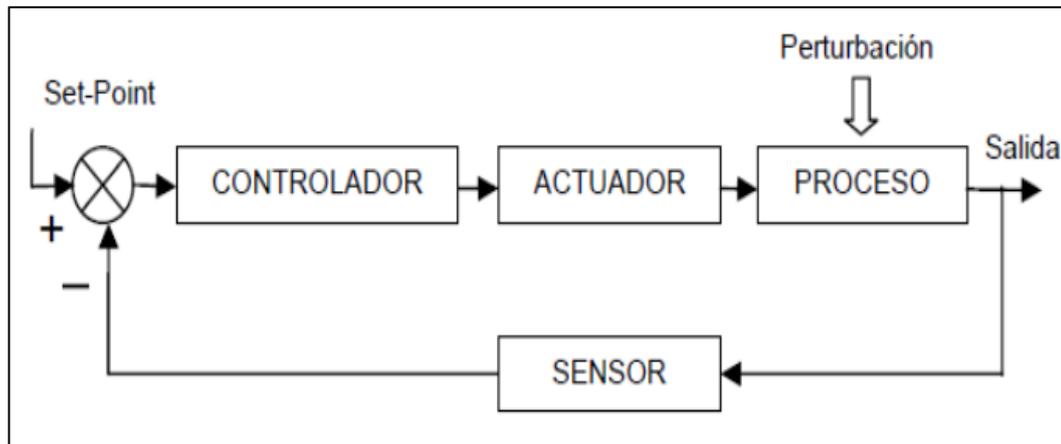
Fuente: Alverar Ching (2018)

b) Realimentación negativa:

Es la señal realimentada negativa que se resta de la señal de entrada, errores que hay que corregirlos. Este sistema se utiliza en la producción industrial.

En la figura 8, se muestra el diagrama de bloques de realimentación negativa.

Figura N° 8. Diagrama de bloques de realimentación negativa



Fuente: Alverar Ching, (2018)

2. MÉTODOS DE CONTROL:

Los métodos para realizar la acción de control son clásicos y modernos que permite al controlador reaccionar enviando una señal correctiva de error. (Mendiburú Diaz, 2003)

2.1. Métodos de control Clásico:

Este método de control clásico espera que se produzca un error para que después realice una acción correctiva. Es decir, el error se presenta debido a la diferencia de lectura entre la variable de salida y la señal de referencia. Este error siempre está presente en todo momento.

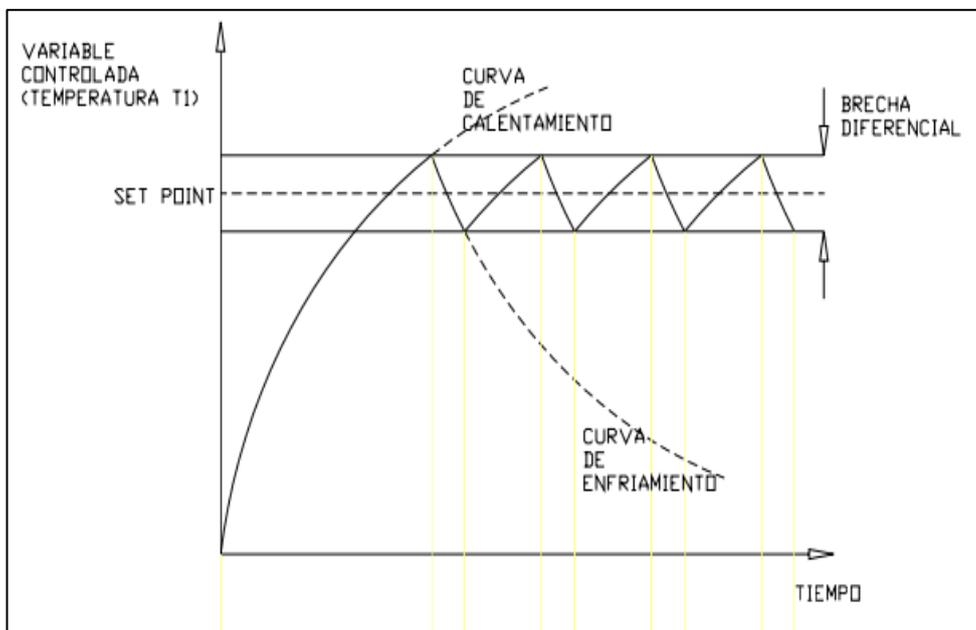
a. Control on-off:

Conocido también como (encendido - apagado), esta acción de control solo permite aceptar dos posiciones para el actuador: encendido al 100% y apagado (0%). Este control es muy simple y barato, por lo que es muy utilizado en las industrias. Unas de las principales características en su funcionamiento, es tener un punto de referencia, si la variable es mayor asume la posición, pero si es menor la variable automáticamente el actuador asume la otra posición. (Alverar Ching, 2018)

Ejemplo: Horno eléctrico

En la figura 9, la temperatura del horno eléctrico aumenta energizando los intercambiadores de calor por medio de un contactor, controlado por un relé dentro del controlador.

Figura N° 9. Gráfica del calentamiento del horno



Fuente: Alverar Ching (2018)

b. Control proporcional (P):

Este controlador proporcional posee un solo parámetro de ajuste, además esta acción de control tiene ganancia aplicada en el sistema. Mediante este control se reduce el tiempo de subida, se incrementa el sobretiro y no permite corregir ni eliminar, solo reduce el estado de error estable. La relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$u(t) = K_p (t) \quad (1)$$

o bien, en cantidades transformadas por el método de Laplace,

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (2)$$

Se representa a través K_p =ganancia de proporcionalidad y esto define la fuerza que el controlador reacciona frente al error.(Ogata, 2013)

Ejemplo: Cuando se cambia posición de una válvula (elemento final) proporcionalmente a la desviación de la temperatura (variable) dirigiéndose al punto de consigna (valor deseado).

c. Control integral (I):

Denominado control de reajuste (**RESET**). Este controlador anula los errores y corrige perturbaciones. Mediante este tipo de controlador puede ser empleado en sistemas de grandes cambios, pero este sistema deberá ser lento para evitar impulsos producidos por el tiempo de instalación.

Este controlador integral tiene un inconveniente al iniciar procesos de bacth, acción integral que provoca errores de impulso antes de llegar al lugar del trabajo.

El valor de la salida del controlador $u(t)$ se cambia a una razón proporcional a la señal de error $e(t)$ es:

$$\frac{du(t)}{dt} = k_i e(t) \quad (3)$$

Donde K_i es constante ajustable. La función de transferencia del controlador integral es :

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{k_i}{s} \quad (4)$$

Ejemplo: Cuando se mueve la valvula (elemento final) a una velocidad proporcional de la desviación dirigiéndose al punto de consigna (variable deseada).(Mendiburú Diaz, 2003)

d. Control derivativo (D)

El controlador derivativo conocido también como **RATE**. Esta acción de control es anticipada, debido a que adelanta la acción de control ante la aparición de una tendencia de error (derivada), este sistema se tiende a estabilizar por los retardos en los controladores ya que esto los estabiliza.

Por otro lado, este controlador sirve para dar rapidez. También necesita una diferencia de tiempo T_d para poder alcanzar la señal de referencia, todo esto se representa mediante este término K_d que significa el coeficiente de acción derivativa y es igual a $1/ T_d$. Además, este controlador no se utiliza solo. (Alverar Ching, 2018)

e. Control proporcional integral (Pi)

El controlador proporcional integral actúa de forma rápida, se recomienda usar acción de control PI cuando se presenta retardos en el proceso que se está realizando. Por otro lado, tiene ganancia y permite corregir el error, no experimenta un offset en estado estacionario. La aplicación más común el control de temperatura. (Alverar Ching, 2018)

La acción de control proporcional integral se define de la siguiente manera.

Donde: k_p = ganancia proporcional y T_i = tiempo integral (Ogata, 2013)

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (5)$$

o la función de transferencia del controlador es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (6)$$

f. Control proporcional derivativo (Pd)

El control proporcional derivativo es estable y muy rápido. Usado para el control de flujo de minerales.(Alverar Ching, 2018).También llamado control de velocidad, que ocurre cuando la magnitud del control de salida igual a la velocidad.

El control proporcional derivativo tiene la ventaja de ser de previsión y la desventaja que amplifica las señales de ruido. Pues esto puede provocar efecto de saturación en el actuador y se define de la siguiente forma.(Ogata, 2013)

$$u(t) = k_p e(t) + k_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

y la función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = k_p(1 + T_d s) \quad (8)$$

Donde: T_d = tiempo derivativo

g. Control proporcional integral derivativo (PID)

Este control es más complejo y completo, debido a que tiene la respuesta muy rápida y estable siempre que esté muy sintonizado. Esta acción de control tiene las ventajas de las tres acciones de control individuales. La ecuación de este controlador combinado es la siguiente. (Ogata, 2013)

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + k_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (9)$$

y la función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (10)$$

Donde: k_p = ganancia proporcional, T_i = tiempo integral y T_d = tiempo derivativo

El controlador PID tiene una salida que permite ajustarse al error $e(t)$, que se va sumando a una cantidad proporcional integral del error y derivada del error $e(t)$. Por eso importante saber cuáles son las funciones principales de los diferentes controladores. (Lara Alabazares y Gonzáles Rosales, 2020)

En la tabla 1, se muestra el resumen de las características principales de los controladores clásicos.

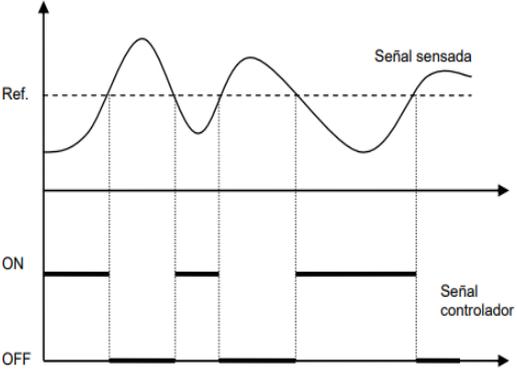
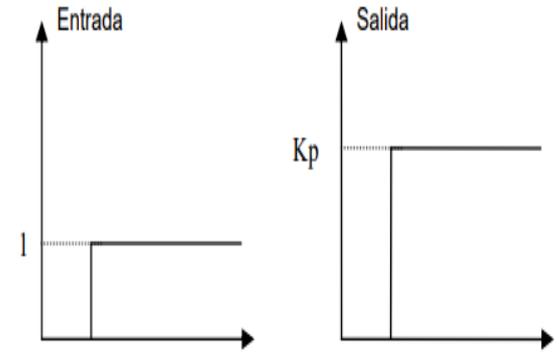
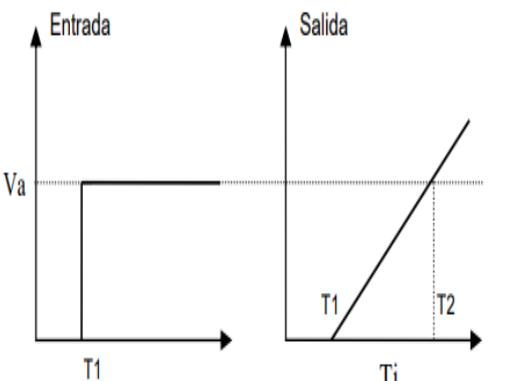
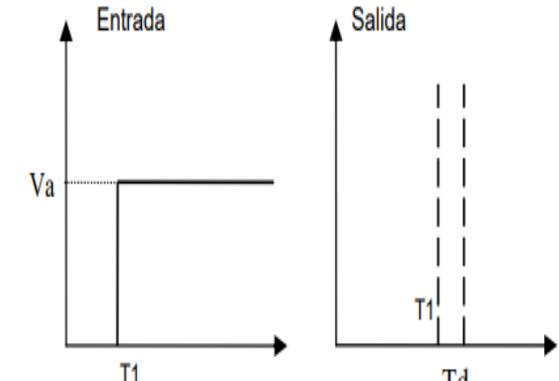
Tabla N° 1. Resumen de características de control clásico

Tiempo de control	Tiempo de salida	Sobre impulso	Tiempo de estabilización	Error en estado estable
Proporcional	Decrece	Crece	Cambio menor	Decrece
P. Integral	Decrece	Crece	Crece	Se elimina
P. Derivativa	Cambio menor	Decrece	Decrece	Cambio menor

Fuente : Ogata (2013)

En la tabla 2 muestra los esquemas de los controladores clásicos, la cual nos brinda mejor explicación.

Tabla N° 2. Esquema de controladores clásicos

Control ON-OFF	Controlador Proporcional (P)
	
Controlador integral (i)	Controlador derivativo ((D)
	

Fuente :Mendiburú Diaz (2003)

2.2. Métodos de control moderno:

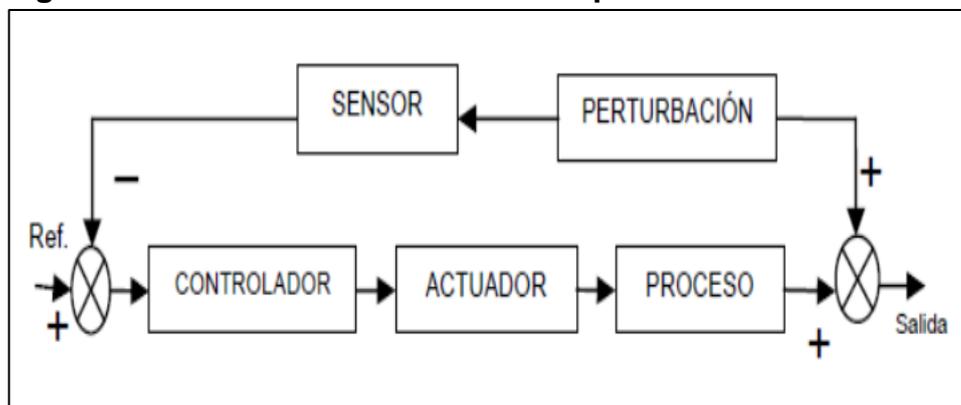
Según (Mendiburú Diaz, 2003) Estos métodos de control moderno son nuevas técnicas que permite eliminar o retribuir el error. Los más utilizados son los siguientes:

a. Control anticipatorio (Feedforward):

El control anticipatorio tiene la función que el controlador analice los datos de entrada y salida, así mismo mediante los algoritmos matemáticos se podrá calcular la próxima salida, de tal manera autoajusta sus parámetros. Este proceso está recomendado para procesos lentos. Tiene la desventaja de ver cambios molestos.

Se aprecia en la figura 10, el sistema de control anticipatorio.

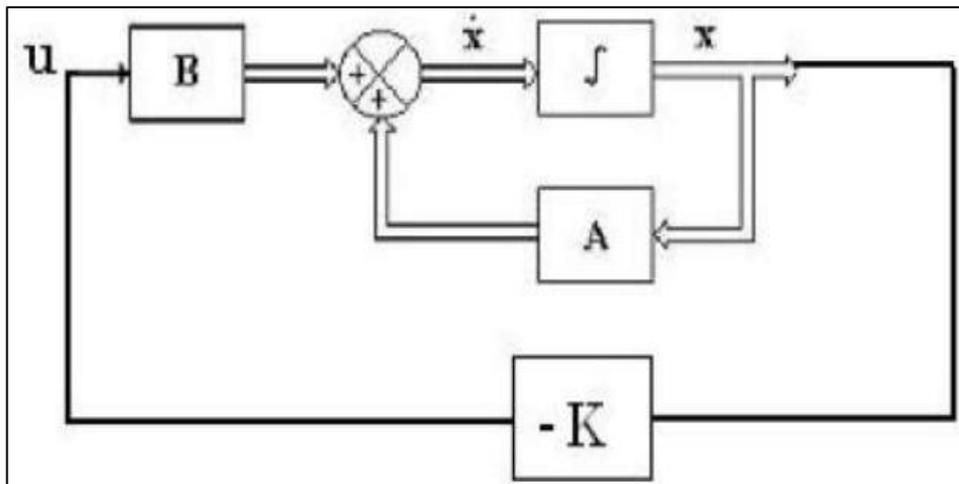
Figura N° 10. Sistema de control anticipatorio



Fuente: Mendiburú Diaz (2003)

Este método se puede mejorar agregando una realimentación a la salida, de manera que el error sea mínimo. Por lo que será corregido en la siguiente medición (ver figura 11).

Figura N° 11. Sistema de control anticipatorio



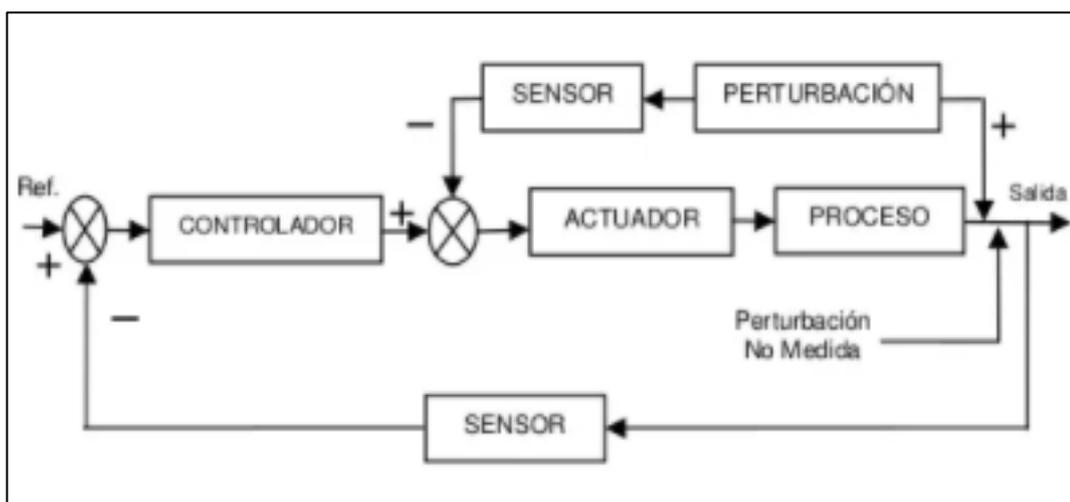
Fuente: Mendiburú Diaz (2003)

b. Realimentación de estados:

El método de realimentación de estados permite ejercer la acción de control mediante el censado de los estados (modelo en espacio estado del sistema), esto atribuye una ganancia a cada uno de los valores leídos, de esta manera el lazo de control es cerrado por medio del controlador de estados.

Se muestra en la figura 12, el diagrama de realimentación de estados.

Figura N° 12. Diagrama de realimentación de estados



Fuente: Mendiburú Diaz (2003)

C. Sistemas de seguimiento:

El sistema de seguimiento conocido como tracking. Este método es el complemento del método anterior, en tal sentido que el control por realimentación de estados se puede llevar a una variable controlada de valor cero (no cuenta con referencia), con este método se puede llevar a la variable de un valor deseado.

3. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN PROCESOS INDUSTRIALES

Manifiesta (Creus, 2011) la aplicación del sistema de control:

3.1. Calderas

La caldera es un proceso industrial muy utilizado debido a que se emplean en varios procesos. Es importante saber que la caldera es el corazón del sistema de vapor porque tiene la capacidad de producir vapor, toneladas/hora, a una presión especificada. Tiene la función de optimizar para lograr una rentabilidad y economía. Por lo que se realiza mediante un control digital y distribuido que optimiza la combustión.

El principio fundamental detrás de una operación de una caldera es sencillo. El agua es calentada hasta su punto de ebullición y produce vapor de cómo se evapora el agua, su nivel baja y se suministra agua al nivel bajo. El nivel del agua puede ser sensible a cambios de aumento de vapor.

3.1.1. Control de nivel

El propósito principal de los sistemas de control es mantener el nivel de agua dentro de los límites superiores e inferiores. Si es demasiado bajo la superficie de calentamiento quedaran expuestas y la caldera se sobrecalentará, pero si el agua es demasiado alta es aspirada junto con el vapor resultado una pobre calidad de vapor y arrastre.

Para realizarse el sistema de control del agua tiene ser de acuerdo a la capacidad de caldera, en la siguiente tabla 3 se observa.

Tabla N° 3 sistema de control de nivel

Tipo	Variables	Capacidad Kg/h	Capacidad Kg/h	Capacidad Kg/h
		< 6.000	6.000 – 15.000	> 15.000
Un elemento	Nivel	Cargas irregulares	Pequeños cambios de carga	Cargas mantenidas
Dos elementos	Nivel caudal de vapor	Cargas irregulares con grandes fluctuaciones	Cambios de carga moderados	Lentos cambios de carga moderados
Tres elementos	Nivel Caudal de vapor Caudal agua			>20.000

Fuente :(Creus, 2011)

3.1.2. Control de combustión

La combustión permite que la presión de vapor en la caldera sea constante, considerándose las variaciones como medida de la diferencia entre la temperatura de la caldera como vapor y como calor suministrado. La transferencia de calor se lleva a cabo mediante radiación y convección. Del mismo modo la difusión de los gases por los tubos de transferencia de calor a través de la convección.

El regulador de la presión de vapor ajusta la válvula de control de combustible. La señal recibida por el caudal del aire es modificada por un relé, mejora la relación entre el aire y combustible, pasa el controlador el cual es comparado con la señal del caudal de combustible. Cuando la proporción no es correcta, automáticamente se emite señal al servomotor de mando del ventilador o válvula de mariposa, de tal manera que el caudal de aire se ajuste hasta que sea correcta la relación de combustible- aire. El funcionamiento que se realiza en la caldera es automático de alto rendimiento y gran producción de vapor.

3.2. Secado

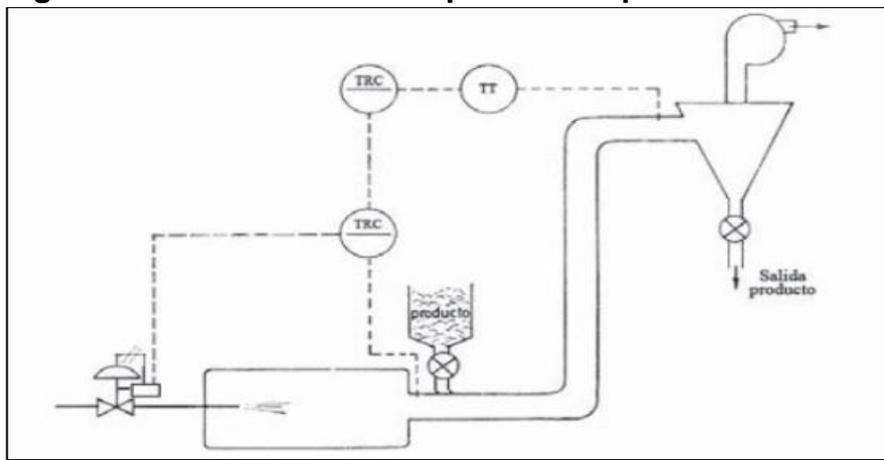
Los secadores se encargan de obtener el producto solido con poca humedad. Hay diversos modelos de secadores entre ellos:

3.2.1. Secador continuo de evaporación rápida (flash):

Este secador transporta el producto en una corriente de aire caliente y disminuye la humedad hasta el valor final en poco tiempo, como no se puede medir la humedad del producto por eso se controla.

En la figura 13 se observa al secador con los instrumentos de control, el producto (polvo húmedo) entra en el circuito después del horno y luego se seca durante el recorrido que hace por el tubo. El control suele ser en cascada, donde la variable primaria de la temperatura de salida y la variable secundaria la temperatura después del horno. En este proceso se utiliza el control de acción PID.

Figura N° 13. Secador de evaporación rápida

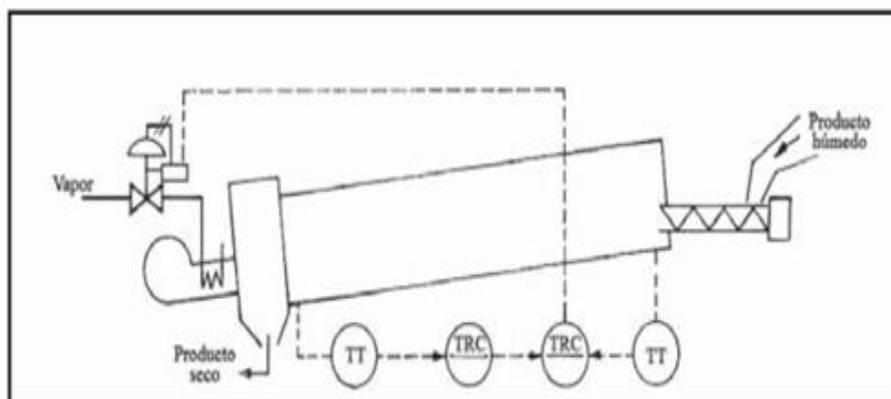


Fuente:(Creus, 2011)

3.2.2. Secador rotativo:

Consiste en un cilindro de gran longitud en su entrada se introduce el producto húmedo y mediante ello circula aire caliente y se utiliza el sistema PID. En la figura 14, se aprecia el secador rotativo.

Figura N° 14. Secador rotativo

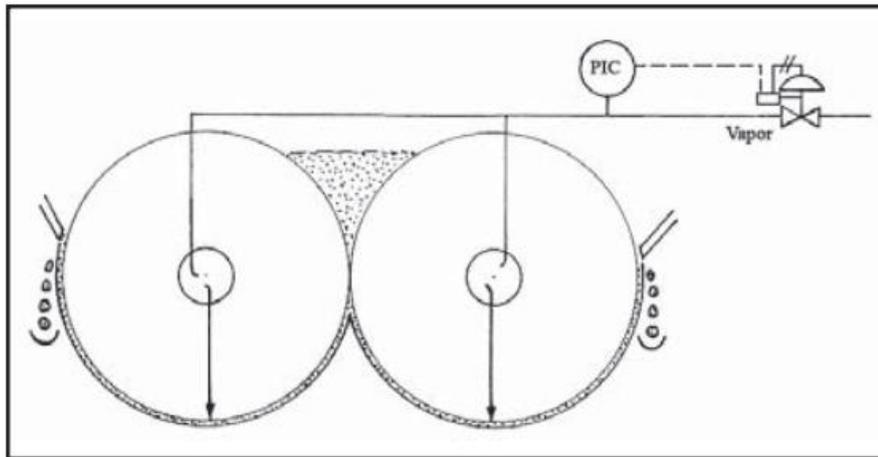


Fuente: (Creus, 2011)

3.2.3. Secador doble cilindro rotativo:

Este secador fue uno de los primeros sistemas que se utiliza para secar. Tiene dos cilindros rotativos, se calienta a vapor que giran en sentidos opuestos hacia adentro poco separado. Estos cilindros cargan con el producto que se seca en el corto espacio (ver figura 15).

Figura N° 15. Secador doble cilindro rotativo



Fuente: (Creus, 2011)

3.3. Evaporador

Según (Creus, 2011). Los evaporadores tienen la función de concentrar el producto en forma líquida al vapor el agua. Existen evaporadores en diferentes tamaños, formas y tipos.

Evaporador discontinuo: Este evaporador tiene producción forzada limitada debido por las operaciones de llenado y vaciado.

Evaporador continuo: La producción es muy regular. Cuando la solución es calentada por el puente de calor varias veces. Dentro de ello se tiene varios tipos de evaporadores: evaporador simple efecto, evaporador doble efecto y evaporador triple efecto. Los evaporadores más comunes son los dos últimos.

3.4. Humidificación

Este proceso es importante porque el sistema que utiliza eleva la presión del agua previamente tratada, así eliminar el mayor contenido de impurezas. Esta operación consiste en aumentar la cantidad de vapor puede aumentar pasando el gas. Esta transferencia hacia el interior del corriente gaseoso tiene lugar por difusión y en la interface muy simultáneamente transferencia de calor y materia. En este proceso se aplica el sistema agua- aire que es de uso frecuente. Una corriente de agua caliente, parte del agua se evapora, donde el seno liquido cede calor a la interface y a su vez el evaporador en la interface se transfiere al aire.(Creus, 2011)

3.5. Atomización

Este proceso de secado por atomización tiene la función principal de transformar una disolución, emulsión, suspensión y dispersión liquido de un producto seco.(Miravet Valero, Alacid Cárceles y Obón de Castro, 2009)

El proceso de atomización es utilizado en los procesos industriales de los sectores alimentario, farmacéutico, cerámico entre otros. Cada proceso y uso del polvo atomizado obtenido requiere diferentes propiedades determinadas para que sean aplicadas. Para controlar la temperatura (T°) en el atomizador se hace mediante los controladores o PLC.(Mondragón et al., 2013)

Manifiesta (Miravet Valero, Alacid Cárceles y Obón de Castro, 2009) el tipo de atomizador no solo determina energía para formar el aerosol, pues también determina el tamaño y distribución de tamaño de las gotas, su trayectoria y velocidad principalmente el tamaño de la partícula final. Es importante tener en cuenta que el tipo de atomizador que se selecciona depende de la

naturaleza, cantidad de la alimentación y las características que se desea al obtener nuestro producto secado. Se sabe también si la energía de la dispersión es alta, las gotitas generadas son más pequeñas.

En la industria alimentaria los atomizadores más usados son: ruedas giratorias, boquillas a presión de un fluido y boquillas a presión de dos fluidos.

El proceso se realiza de la siguiente manera. Primero se introduce el líquido en el equipo mediante una bomba luego se atomiza. Después elimina el disolvente mediante el aire caliente. Finalmente, estos equipos que se utilizan en la industria presentan comportamientos de deposición para ser recogidos en un recipiente.

3.5.1. Principales variables del proceso atomización

- **Caudal del líquido de entrada:** el caudal de entrada se regula mediante una bomba peristáltica.
- **Caudal de aire de atomización:** el aire es suministrado por un compresor y el caudal se regula atendiendo la lectura de un rotámetro que indica el caudal de aire utilizado para el atomizado.
- **Temperatura y humedad del aire de entrada al cilindro de atomización (T_{inlet}):** la temperatura se controla por la resistencia eléctrica del equipo.
- **Caudal de aire de secado:** tiene la función de indicar el aire que esta entrado el cilindro de pulverización para realzar el proceso de secado. Además, el caudal real depende de la perdida de presión.

3.6. Ejemplos de aplicación del sistema de control en la industria alimentaria

- **Herrera Paria (2019).**En su trabajo de investigación titulada “diseño de un sistema automático de control y registro de temperatura para el proceso de pasteurización en la industria alimentaria”, concluye que este diseño permite optimizar los procesos de producción para cumplir los estándares de comercialización, también ver el comportamiento de pasteurización en tiempo real. De tal manera que toda la producción que se encuentre fuera de los límites configurados, regrese al primer tanque de almacenamiento, para luego volver a pasteurizarse correctamente.
- **Herrera Calvopiña (2011).**En su estudio “implementación de un sistema automatizado de control en un elevador de carga para disminuir accidentes laborales y cumplir estándares en BPM de carnicos en la empresa don jorge en la ciudad de Latacunga”, manifiesta que el sistema de control mejora las condiciones de trabajo del personal, ya que disminuye los trabajos forzados e incrementa la seguridad, para que se reduzca los accidentes, utilizando la programación en estado de lazo abierto, que actúa el proceso sobre la señal de entrada, sin retroalimentación hacia el controlador.
- **Lara Alabazares y Gonzáles Rosales (2020).** En su trabajo “control de temperatura de un túnel de secado de limón persa”, afirma que la aplicación de la teoría de control es un proceso que permite regular la temperatura de un túnel de secado, mejorando la calidad del secado

del producto y reduciendo pérdidas del producto no conforme. Sobre todo aumentando la vida útil de la fruta en anaquel.

3.7. Instrumentación en un sistema de control

La instrumentación cumple un rol fundamental en el sistema de control, pues la calidad que tiene en sus elementos para lograr un proceso eficaz. Ya que muchas veces el manejo es manual en algunas empresas, es por ello que se debe utilizar la tecnología de automatización que son los sensores, actuadores y control.

Manifiesta (Gutiérrez Hinestroza y Iturralde Kure, 2017) los instrumentos en un sistema de control pueden ser simples o complejas.

- **Controladores:** Son aquellos instrumentos que tiene la función de comparar el valor obtenido con el valor que se desea obtener. Mediante ello se calcula el error y así poder corregir el error que se presenta.
- **Transmisor:** es un equipo que transmite señal y código mediante un sensor que está conectado a los conductores eléctricos.
- **Indicadores:** tiene la función de mostrar la equivalencia de datos al operario durante el proceso mediante los instrumentos de medición como: tensiómetros, manómetros, etc.
- **Transductores:** recibe una señal de entrada en función de uno o más cantidades físicas para luego transformarlo en una señal de salida.
- **Rango:** es un intervalo de valor menor y mayor que permite medir o transmitir.
- **Linealidad:** esto permite saber si se encuentra cerca la curva de calibración a la línea recta.

- **Precisión:** tiene la función de entregar el mismo valor para una magnitud que fue medida.
- **Amortiguador:** es un dispositivo que absorbe las energías producidas por golpes, de tal manera estas oscilaciones que se realiza disminuyan.
- **Señal:** es la muestra física que es medida mediante la variable.
- **Sistema de medición:** elementos que conforman un instrumento, puede convertir la variable física en una señal.
- **Instrumentación:** conjunto de ciencias y tecnologías que miden las cantidades físicas o químicas.
- **Exactitud:** instrumento que tenga la capacidad de dar indicación sobre los valores de magnitud media.
- **PLCs:** Instrumento que se usa de manera digital, pues este equipo tiene una memoria que le permite almacenar todas las instrucciones que se va a realizar durante el proceso industrial. (Alverar Ching, 2018)

3.8. Sistema de control avanzado

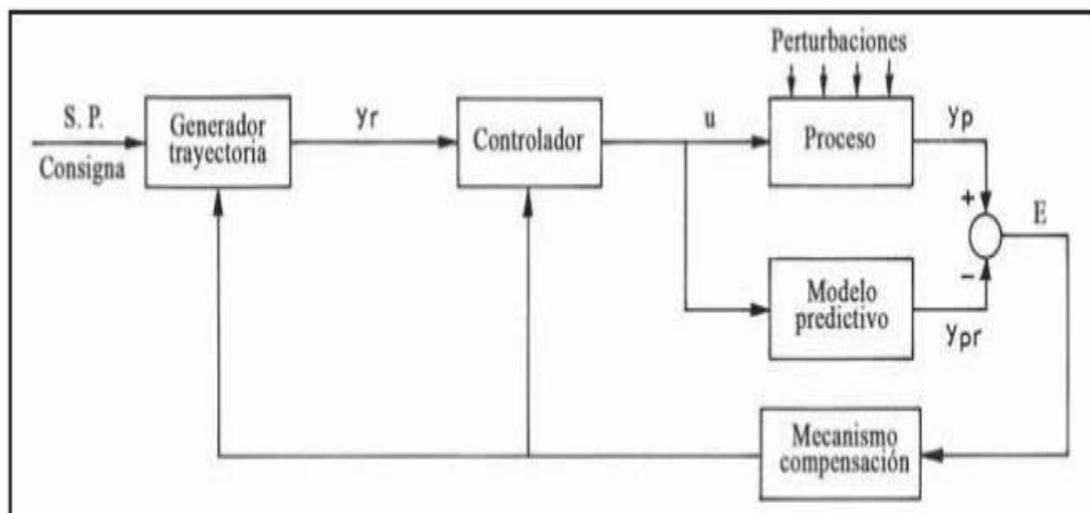
Determina (Creus, 2011) es un sistema complejo donde interviene la ingeniería de control, procesamiento de estadística, señales, inteligencia artificial y también la ingeniera de software y hardware (ver figura 16).

Algunos sistemas de control avanzando:

- **Control robusto,** tiene la capacidad de tolerar el controlador en los cambios que pueda ocurrir durante el proceso.
- **Control estadístico,** este control trabaja en tiempo real usando las leyes de probabilidad.

- **Control adaptivo**, este sistema ajusta los parámetros de manera automática, cuando haya cambios en los procesos.
- **Control por lógica difusa**, funciona para describir mediante reglas el sistema, de tal manera el control sea normal.
- **Control experto**, permite asistir al operario en la detección y solución en procesos que se encuentran en problemas.
- **Control multivariable**, se encuentran las diversas entradas y salidas.
- **Control optimo**, sistema que utiliza la ley de control y lo cumple tal cual está establecido.

Figura N° 16. Estructura del sistema de control avanzado



Fuente:(Creus, 2011)

4. NEUMÁTICA

Es una rama de la tecnología que utiliza gas (aire comprimido) para transferir energía necesaria para el funcionamiento y mover los mecanismos. El aire es un gas que al aplicarlo una fuerza se comprime, mantiene esta compresión y devuelve la energía acumulada cuando se lo permita. (Tejeda Alvarado, 2013)

El aire comprimido se produce en el compresor, bomba de aire comprimido adicionado por un motor eléctrico, el aire comprimido se almacena en el receptor. Mediante ello, el aire es transportado a través de válvulas a cilindros, ya que son los componentes encargados de realizar el trabajo. De manera que el aire cuando se encuentre en el interior del cilindro aumenta la presión y se desplaza a un embolo en su interior. (Saed Martínez, 2005)

4.1. Elementos básicos de la neumática

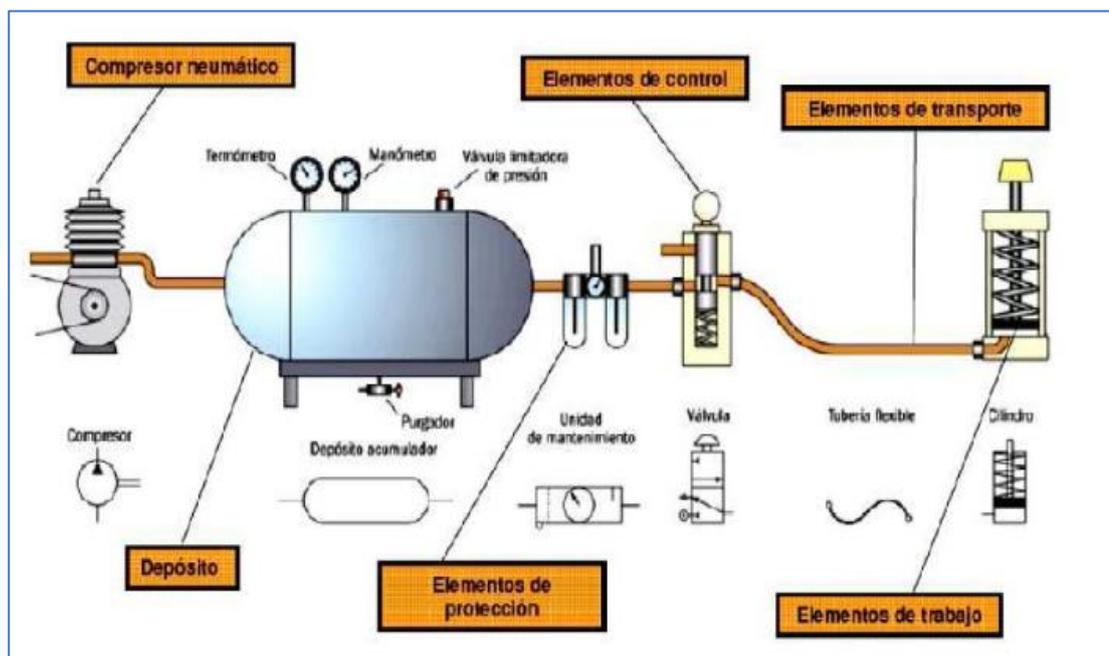
Según (Cervantes Moreno y Vega Párraga, 2018) los elementos básicos de un sistema básico son :

- **Compresor neumático:** dispositivo que comprime el aire de la atmosfera hasta que alcanza la presión de funcionamiento de la instalación.
- **Elementos de control:** son las válvulas que se encargan de controlar el funcionamiento del circuito neumático, permitiendo, interrumpiendo o desviando el paso del aire comprimido.

- **Elementos de transporte:** son las tuberías o conductos que canalizan el aire para que llegue el aire a los distintos elementos del circuito
- **Elementos de protección:** son los encargados de acondicionar aire comprimido, protegiendo el circuito para que la instalación neumática pueda funcionar sin problemas durante mucho tiempo.
- **Elementos de trabajo:** son los cilindros y motores neumáticos, encargados de utilizar aire comprimido, transformando la presión del aire en trabajo útil.
- **Deposito:** es un tanque donde se almacena el aire para su posterior utilización.

En la figura 17 se aprecia los elementos básicos de un sistema neumático.

Figura N° 17. Elementos de un sistema neumático.



Fuente: Cervantes Moreno y Vega Párraga (2018)

4.2. Ventajas de la neumática

Según (Centeno Valencia y Jiménez Herrera, 2010) las ventajas de la neumática son:

- ✓ El aire es abundante.
- ✓ El aire comprimido se puede almacenar en acumuladores o depósitos, donde se da energía al sistema.
- ✓ El aire comprimido es limpio.
- ✓ Tiene gran resistencia en ambientes hostiles.
- ✓ Trabajar con aire comprimido es seguro.
- ✓ No hay riesgos en una explosión o incendios, es totalmente antideflagrante.
- ✓ Se puede construir máquinas y herramientas livianas, la cual no pierde su potencia.

4.3. Desventajas de la neumática

- ✓ Los circuitos extensos tienen pérdida de cargas, ocasionando ruidos por la descarga de aire hacia la atmosfera.
- ✓ No permite aplicar grandes fuerzas.
- ✓ No cuenta con mucha potencia y exactitud en sus operaciones.

4.4. Estructura de sistemas neumáticos y flujo de las señales

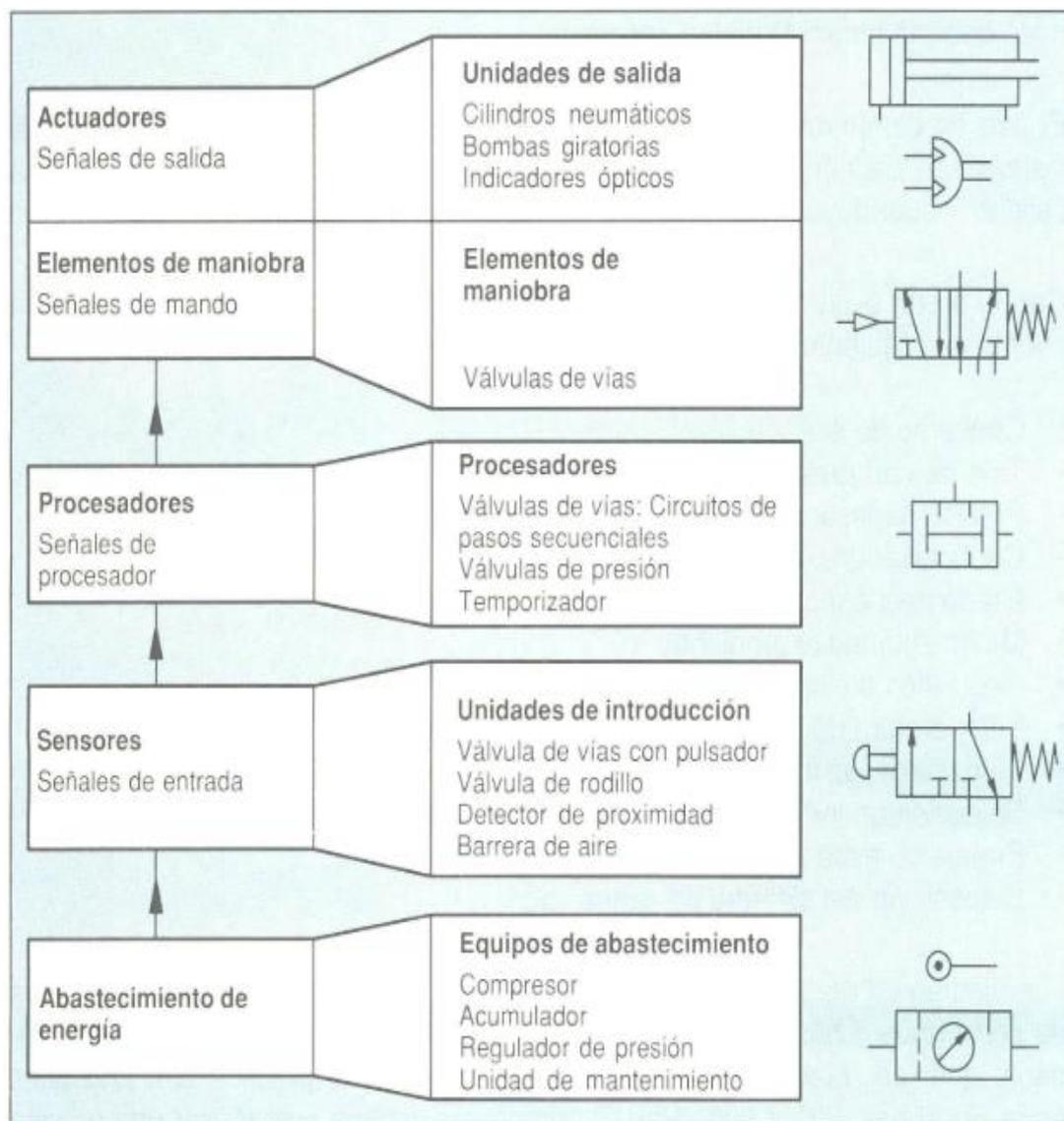
Manifiesta (Croser, 1990) el sistema neumático está compuesto por los siguientes elementos.

- ✓ Abastecimiento de energía
- ✓ Sensores

- ✓ Procesadores
- ✓ Elementos de maniobra y actuadores

Los elementos del sistema neumático están representados por los símbolos, mediante su diseño explica la función que tiene cada uno en el esquema de distribución. En la figura 18, se aprecia la estructura de los sistemas neumáticos y flujo de las señales.

Figura N° 18. Estructura de los sistemas neumáticos.



Fuente:(Croser, 1990)

4.5. Producción de aire comprimido

El aire comprimido tiene impurezas muchas veces, causan averías en las instalaciones y elementos neumáticos. Las impurezas que contiene el aire comprimido son mayormente polvo, oxido, cascarillas, residuos de aceite y entre otros similares. En la preparación del aire comprimido se aumenta la duración de los elementos. Esto permite que los tiempos de avería de mandos y reparación de elementos se pueda reducir. (Lopez Rueda, 2017)

4.6. Obtención de aire comprimido

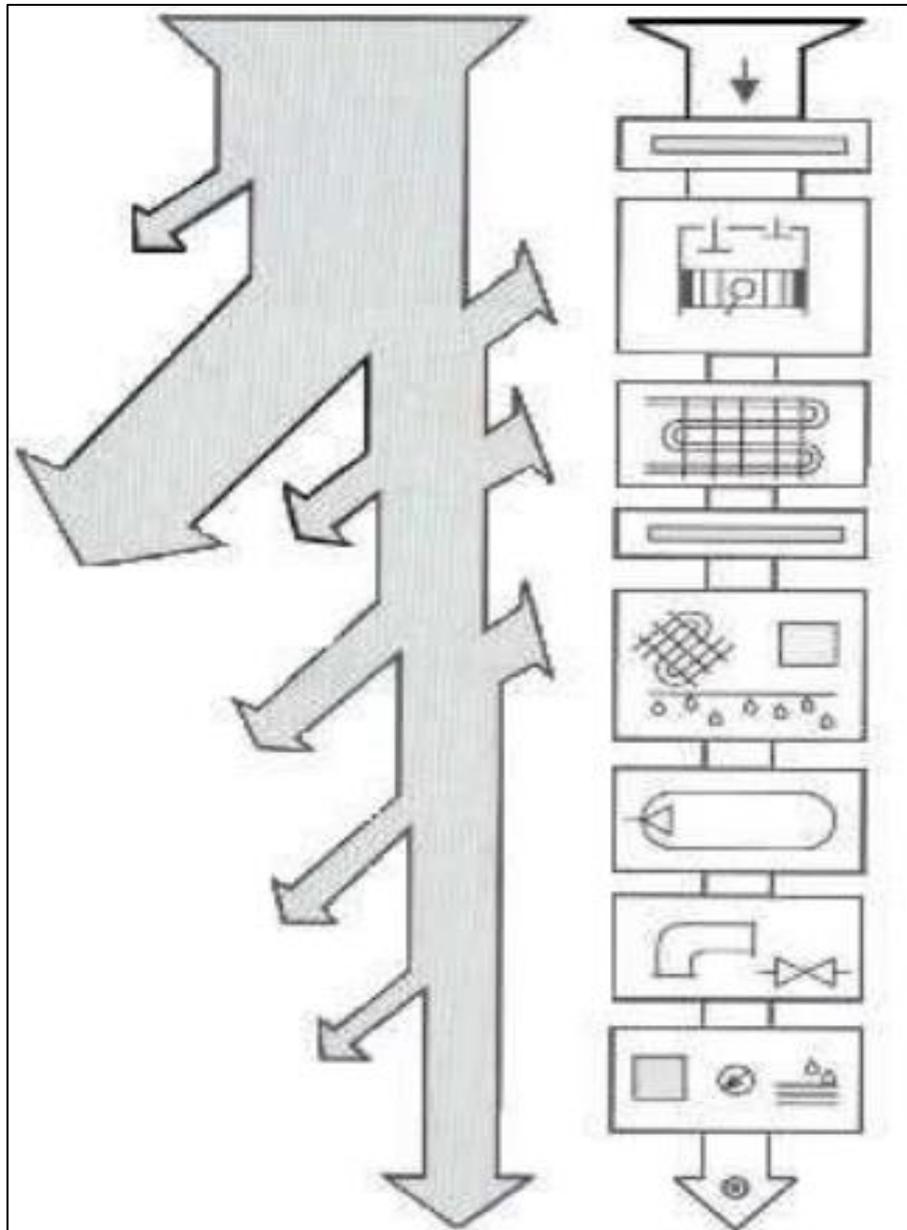
El aire comprimido utiliza los compresores para que permita elevar la presión del aire al valor. En el sistema de obtención de aire comprimido se distingue en estaciones de tratamiento de aire:

- Filtrado
- Enfriado
- Secado
- Separación de impurezas sólidas, líquidas o vapor de agua.

Para la producción y obtención del aire comprimido depende especialmente de los requisitos de la calidad del aire comprimido de manera que cumpla con el trabajo realizado. (Centeno valencia y Jiménez Herrera, 2010)

En la figura 19, se aprecia el ciclo de obtención y distribución de aire comprimido.

Figura N° 19. Ciclo de obtención y distribución de aire comprimido.

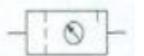
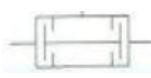
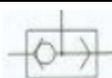
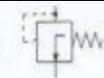
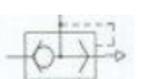
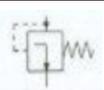
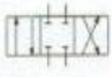


Fuente:Quishpe Rosero (2018)

4.7. Simbología neumática

La simbología neumática se utiliza en los circuitos neumáticos y para ello se puede observar en la siguiente tabla 4.

Tabla N° 4. Simbología básica de la neumática

Simbología neumática			
Fuente de presión		Escape de aire	
Cruce de conducciones		Filtro	
Unidad de mantenimiento		Compresor	
Depósito de aire comprimido		Lubricador	
Separador de agua		Válvula antirretorno	
Llave de paso		Regulador unidireccional	
Regulador de caudal		Válvula simultaneidad	
Válvula selectora de circuito		Válvula secuencial	
Válvula de escape rápido		Válvula reguladora de presión sin escape	
Válvula reguladora de presión con escape		Válvula 3/2	
Válvula 2/2 NC		Válvula 5/2	
Válvula 4/2		Electroválvula	
Cilindro de simple efecto		Temporizador neumático NC	
Cilindro de doble efecto		Válvula 4/3	
Conducción de mando		Unión entre conductores	

Fuente: Quishpe Rosero (2018)

4.8. Sistema de consumo de aire

Manifiesta (Alvarado pico y Ramirez Perez, 2013) los elementos en el sistema de consumo de aire:

- ✓ **Purga del aire:** el aire es obtenido de la tubería (parte superior) para que la condensación se encuentre de manera estable en la tubería principal.
- ✓ **Purga automática:** tiene la ventaja de impedir que el agua quede en el tubo, cuando haya inconvenientes en la purga manual.
- ✓ **Unidad de acondicionamiento del aire:** Proporciona presión y termina en dos puertas de cilindro, para controlar la dirección del movimiento.
- ✓ **Válvula direccional:** se utiliza aire comprimido para proporcionar aire limpio a una presión óptima y, a veces, agregar lubricante para prolongar la vida útil del sistema neumático.
- ✓ **Actuador:** cambia la energía potencial en la energía mecánica.
- ✓ **Controladores de velocidad:** tiene la función de regular la velocidad del actuador de forma práctico.

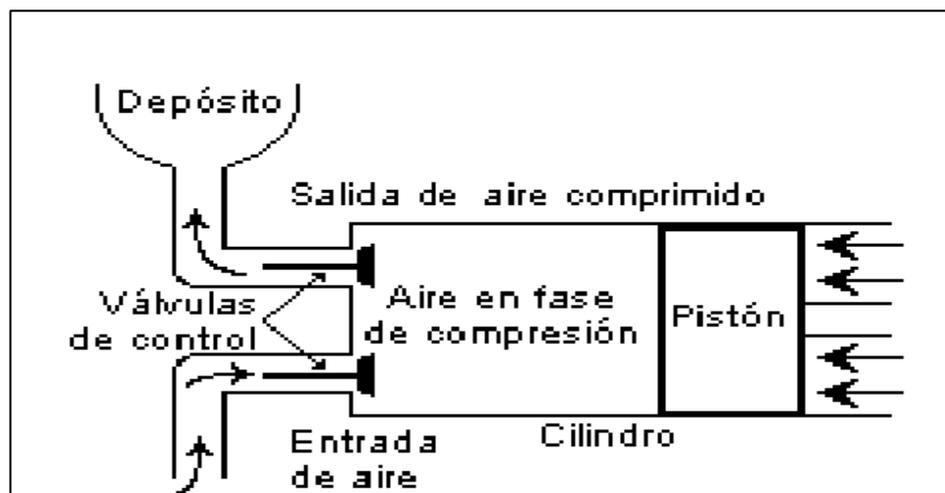
4.9. Compresores neumáticos

Llamado también bomba de aire, máquina de fluido que está diseñada para aumentar la presión, disminuir el volumen de una determinada cantidad de aire y así desplazar fluidos comprensibles.(Centeno valencia y Jiménez Herrera, 2010).

Manifiesta (Saed Martínez, 2005). Es el aire comprimido posee una gran potencia ya que si eliminamos la energía exterior, se expande demasiado rápido. Los compresores comunes son:

- **Compresores alternativos:** también llamado desplazamiento, este compresor se utiliza para generar presiones altas mediante cilindros y pistones. Cuando el pistón se mueve a la derecha, el aire entra al cilindro por la válvula de admisión y cuando se mueve a la izquierda, el aire se comprime y automáticamente pasa a un depósito por el conducto fino (ver figura 20).

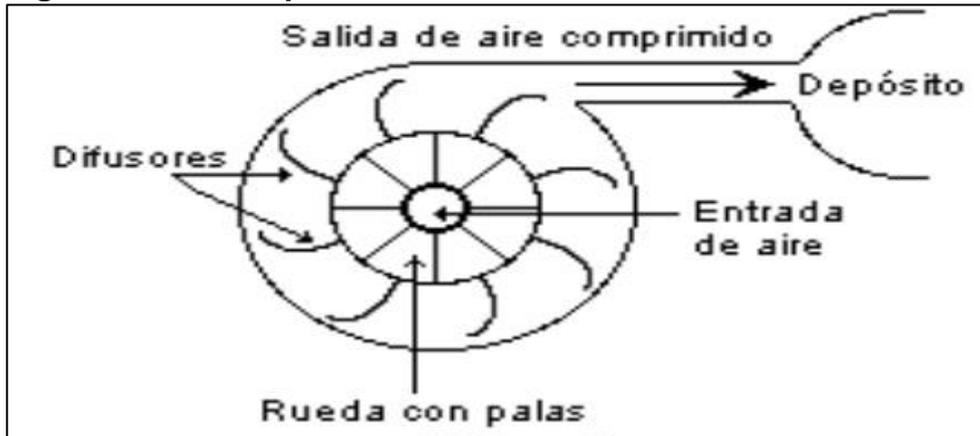
Figura N° 20. Compresor alternativo o desplazamiento



Fuente: Saed Martínez (2005)

- **Compresores rotativos:** este compresor produce presiones medias y bajas. Además, están compuestas por una rueda con palas que le permite girar en el interior de un recinto circular cerrado. Cuando el aire ingresa por el centro de la rueda y es acelerado por la fuerza centrífuga que se produce al girar las palas (ver figura 21).

Figura N° 21. Compresores rotativos



Fuente: Saed Martínez (2005)

4.10. Actuadores Neumáticos

Son elementos que permiten la transformación de la energía de presión en la energía mecánica.(Vega Buenche, 2010) Se denomina actuadores neumáticos cuando se convierte la energía del comprimido en trabajo, además su rango de compresión es mayor.(Tejeda Alvarado, 2013)

4.10.1. Clasificación de los actuadores

- **Actuadores lineales:** también llamados cilindros neumáticos, estos cilindros producen trabajo, donde transforman la energía neumática en trabajo mecánico de movimiento rectilíneo, que tiene carrera de avance y retroceso. Este cilindro está constituido por un tubo circular cerrado en los extremos por dos tapas, se desliza un embolo que separa dos cámaras, el embolo que va unido a un vástago que sale mediante una o vambas tapas, utiliza la fuerza(Quishpe Rosero, 2018)

Como se muestra en la figura 22 un actuador lineal y sus partes.

Figura N° 22. Actuadores lineales

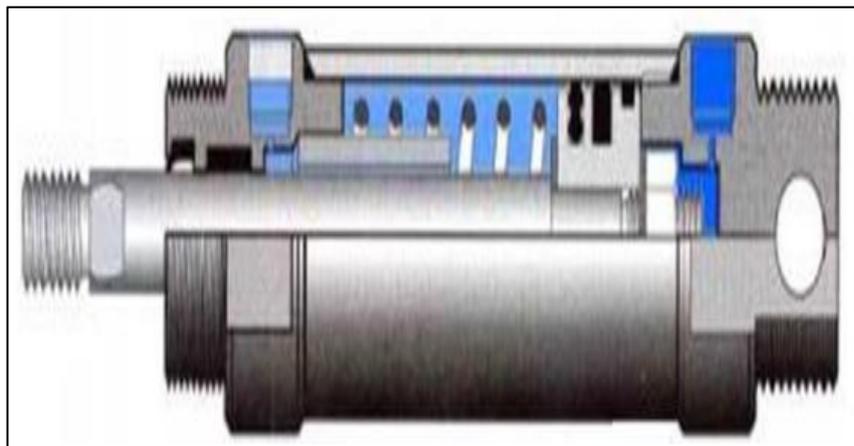


Fuente: Quishpe Rosero (2018)

Los actuadores neumáticos se dividen en dos grupos muy importantes:

- **Cilindros simple efecto:** este cilindro realiza el esfuerzo en un solo sentido, ya que el otro se realiza por un resorte (ver figura 23). (Centeno valencia y Jiménez Herrera, 2010)

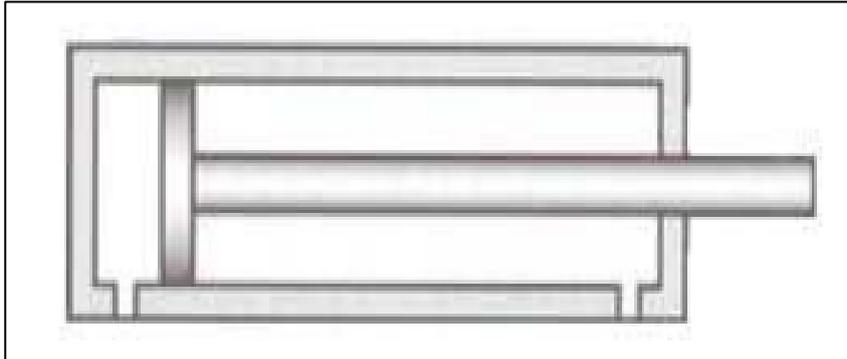
Figura N° 23. Cilindro de simple efecto



Fuente: Quishpe Rosero (2018)

- **Cilindros doble efecto:** este cilindro trabaja mediante dos maneras uno salida y el otro retroceso. Pues la presión del aire es aplicada a los lados opuestos del embolo (ver figura 24).(Villareal Lozano, 2001)

Figura N° 24. Cilindro doble efecto



Fuente: Centeno valencia y Jiménez Herrera (2010)

- **Actuadores de giro:** Mediante estos elementos se transforma la energía neumática en giro mecánico. Estos actuadores de giro tienen la misma función que los cilindros de giro.(Centeno valencia y Jiménez Herrera, 2010)

4.11. Válvulas Neumáticas

Llamados también distribuidoras son elementos de regulación, control de la presión y caudal del aire a presión. Su principal función es distribuir aire comprimido en varias vías de arranques, parada y el cambio de sentido del movimiento del pistón.(Reyes Romo, 2011)

En la tabla 5, se muestra la simbología de las válvulas distribuidoras neumáticas.

Tabla N° 5. Simbología de válvulas distribuidoras neumáticas

ISO 1219 Alfabética	CETOP Numérica	Función
P	1	Conexión del aire comprimido (alimentación)
A, B, C	2, 4, 6	Tuberías o vías de trabajo
R, S, T	3,5,7	Orificios de purga o escape
X, Y, Z	12,14,16	Tuberías de control, pilotaje
L	9	Fuga

Fuente :Centeno valencia y Jiménez Herrera (2010)

4.11.1. Elementos de mando: válvulas

Las válvulas comandan y también influyen sobre el flujo presurizado. La función que tiene es guiar el medio y el trabajo correcto que realizan los componentes. (Centeno valencia y Jiménez Herrera, 2010)

Las válvulas se clasifican según su función:

- **Válvulas Direccionales:** función de controlar el inicio, la parada y dirección del medio.
- **Válvulas de bloqueo:** esta válvula bloquea el flujo y libera ambos en sentidos contrarios.
- **Válvulas de caudal:** interviene sobre el caudal del medio donde está fluyendo.

- **Válvulas de presión:** interviene sobre la presión del medio presurizado o se pueden controlar.

4.11.2. Válvulas de bloqueo, flujo y presión

Son válvulas que permite el pase al medio presurizado en un solo sentido y cerrando el flujo en otro sentido.

Las válvulas de bloqueo son:

- Válvula de retención
- Válvula “O”
- Válvula “Y”
- Válvula de escape rápido

4.12. Relés

Son una corriente eléctrica, cuyo cambio de corriente en un circuito hace que el agua fluya o fluya hacia otro circuito.

Esto funciona de manera que cuando la corriente fluye a través de un solenoide, se crea un orificio magnético que atrae la armadura de metal que le permite fluir a medida que fluye, abre luces, cierra aberturas. Los relés se usan comúnmente en sistemas de control; la salida del controlador es tan pequeña que se requiere una gran cantidad para encender o apagar el elemento final.

Los relés son inductores que pueden generar un voltaje de retorno cuando el suministro deja de fluir. Por otro lado, los relés de tiempo están controlados por los relés que lo fabrican y, por lo general, el tiempo del relé comienza cuando la Corriente pasa través del aire del relé.(Tejeda Alvarado, 2013)

4.13. Sensores

Los sensores son aquellos dispositivos que tiene la función de conseguir la magnitud física que se mide en el proceso.(Lorenzo Lledó, 2009)

Además, es un elemento importante, por lo que sus propiedades son tipo eléctrico, magnético, químico, etc. Produciendo una señal asociada a un número medido, donde las señales que se obtienen de un sensor son pequeñas y deben tratarse en los aspectos filtrado y amplificación.(Paz Pintado, 2018)

4.14. Automatización Neumática

La neumática se utiliza para el control, donde principalmente interviene aire a presión como fuente de energía, cilindros, válvulas elementos de lógica de control, etc. Permite conectarse a través de una tubería y conectores. Además, la neumática pura cuando llega a sus límites de aplicación y necesita soluciones, la automatización tiene la función de brindar caminos viables y posibilidades.

Cada vez son más las empresas manufactureras que se dedican a la automatización de sus máquinas mediante equipos neumáticos, lo que en muchos casos supone una inversión relativamente baja. Los elementos neumáticos se pueden aplicar lógicamente para el control de la pieza de trabajo, posiblemente el área de aplicación. La función de movimiento, se simplificarán una serie de elementos diferentes para lograr movimiento lineales y giratorios.(Quishpe Rosero, 2018)

4.15. Aplicación de la neumática en procesos de la industria alimentaria

La neumática es muy importante en la industria alimentaria debido a que cumple muchas funciones en los procesos relacionados en la cadena alimentaria.(Quishpe Rosero, 2018)

La neumática es aplicada en los siguientes procesos:

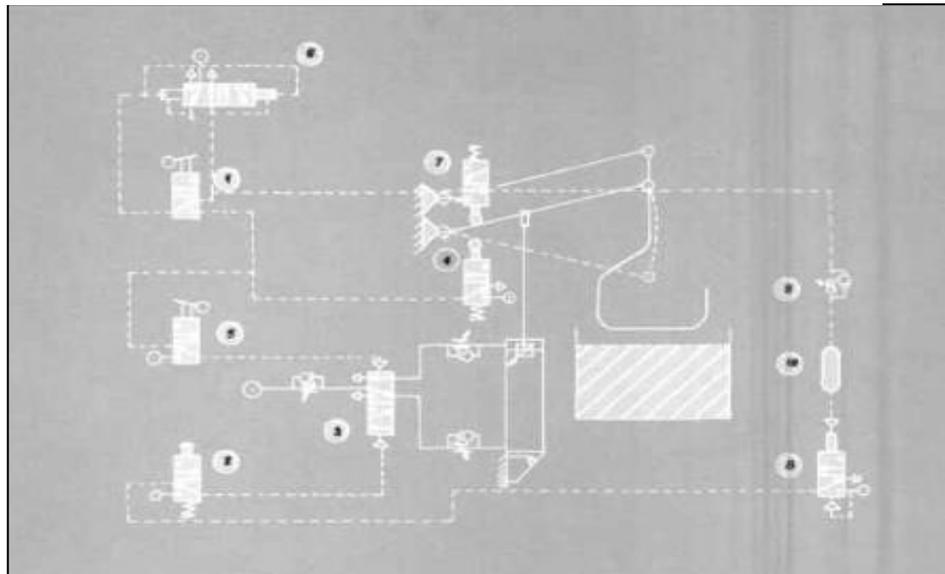
- 1. Tratamiento y procesamiento de los alimentos y bebidas:** con el uso de la neumática (aire comprimido), el proceso de producción de los productos es rápido debido a los instrumentos que se utiliza para llevar a cabo la labor. Funciona como tratamiento fiable de aves de corral o de lácteos. Además, sirve como cortadores (con cuchillo de aire), secado, humificación u otros.
- 2. Conservación e higienización:** en este proceso se hace uso de los compresores, la cual garantiza el cumplimiento de las normas sanitarias durante la producción. Para realizar los procesos de esterilización y humidificación se debe usar compresores libres de aceites y también generadores de nitrógeno.
- 3. Manipulación de alimentos:** el aire comprimido es importante para llevar a cabo el proceso de recolectar, colocar y el transporte neumático. De esta manera se lleva a cabo una manipulación segura y limpia que se garantiza por la automatización neumática en la industria.
- 4. Envasado y conservación:** el uso de la neumática permite asegurar la preservación de los alimentos es fundamental al momento de envasar, con eso se obtiene buenos resultados limpios y sanos.

5. **Embotellado (bebidas):** para realizar este proceso la herramienta principal es el aire comprimido para rellenado y embotellado de los productos líquidos. La función principal es ayudar a evacuar el aire, llenar las botellas y sellar los contenedores.

4.15.1. Equipos que utilizan la neumática en la industria alimentaria

- **Máquina para bañar quesos:** utilizado en la producción de quesos, sumergiéndolo dentro de un baño de parafina caliente para protegerlo y así evitar que se quemem. En la figura 25, el cilindro neumático que eleva y desciende la bandeja, ahí se depositan los quesos, también con las válvulas integrantes.(Guillen, 2018)

Figura N° 25. Máquina para bañar queso



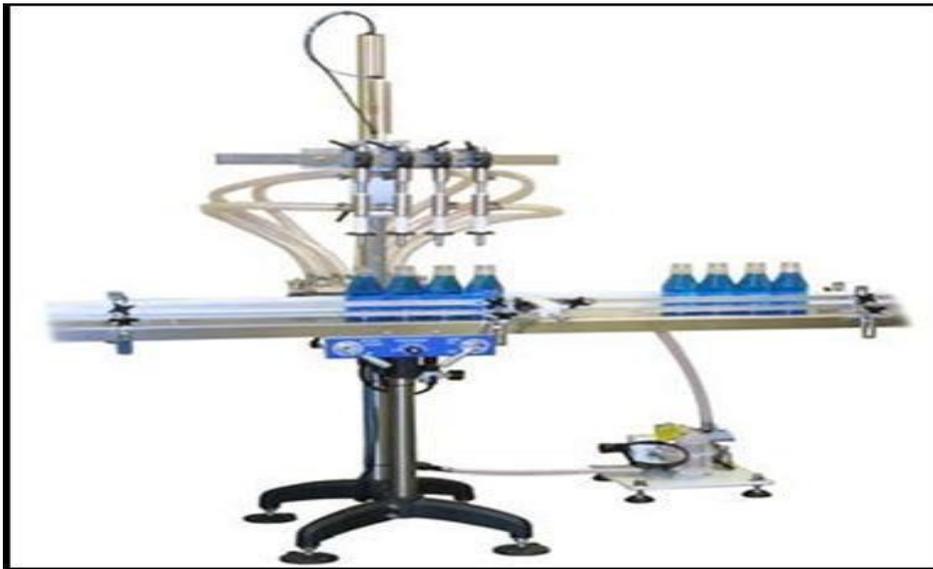
Fuente: Guillen (2018)

- **Maquina envasadora:** su función principal es combinar el material de envase y el producto a envasar. Se utiliza este tipo de máquina para evitar tener desperdicios del producto y además para que el producto envasado este protegido y tenga mejor presentación. Existen diferentes maquinas envasadoras, las más utilizados son tres.(Atiencia Lozada, 2015)
- **Envasadora de baja capacidad:** máquina usada en las microempresas para pequeños lotes de producción y así mejorar sus procesos con equipos sencillos, económicos y pequeños. Tiene la ventaja de ser práctico en la limpieza, económica y sobre todo confiable.
- **Envasadora por nivel:** esta envasadora tiene una bomba pequeña donde lo primordial son las mangueras con líquido, de manera que al momento de abrirse las válvulas se realice el llenado rápido. La cual las botellas son colocadas en la parte inferior de boquillas y al abrirse la válvula de manera manual el líquido es introducido en las botellas.

Luego se procede con el tapado y enroscado sobre las botellas este procedimiento se hace con un turbe neumático. Las válvulas utilizadas dependen de la cantidad de botellas a envasar.

Se muestra en la figura 26, la envasadora por nivel.

Figura N° 26. Envasadora por nivel



Fuente: Atiencia Lozada (2015)

- **Envasadora volumétrica:** esta máquina se utiliza para pequeñas producciones de líquido de baja, mediana o alta viscosidad (no espumosos). Su principal funcionamiento está en un pistón volumétrico d carrera controlada, por lo que succiona del reservorio una cantidad determinada de producto y se inyecta al envase midiendo la cantidad del producto (ver figura 2

Figura N° 27. Envasadora volumétrica



Fuente: Atiencia Lozada (2015)

- **Equipos de tapado y enroscado:** Los equipos más utilizados son tres en la industria.(Mamani Huanacuni, 2021)
- **Equipo de sistema enroscador manual de tapas:** este enroscador manual tiene cabezal de enroscado manual de trabajo, la operación que realiza es neumática, ya sea con lubricación o sin lubricación y es además ajustable (ver figura 28). Este equipo tiene un rotativo de montaje que es conectado al equipo de pedestal para conectar a transportadores. Este equipo tiene equilibrio mecanismo.

Figura N° 28. Enroscador manual de tapas



Fuente: Mamani Huanacuni (2021)

- **Equipo de sistema de enroscado de tapas compacto:** esta máquina tiene un cabezal de servicio pesado, ya sea con lubricación o no, esta máquina tiene montado un actuador con una trampa para coger el envase con la tapa presentada y así enroscar con el par de torsión (ver figura 29). La única función del operado es colocar las tapas de los envases en la parte superior. De manera que cuando entra el enroscado al sistema, el sensor automáticamente detecta y empieza a

cerras con dos trampas, uno para prevenir el envase hilado y el otro envase cuello, así evitar colapso que se realiza por la fuerza.

Figura N° 29. Enroscado de tapas compuesta



Fuente: Mamani Huanacuni (2021)

- **Equipo de sistema de colocado y enroscado de tapas lineal:** este equipo tiene un sistema de bandas la cual une el revestimiento y este guiado mediante el sistema de encintado. Esta máquina es flexible debido a que se ajusta a diferentes estilos de vasos de cintas. Además, esta máquina se aclimata al transportador de extensión.

En la figura 30, se muestra el equipo de colocado y enroscado de tapa lineal.

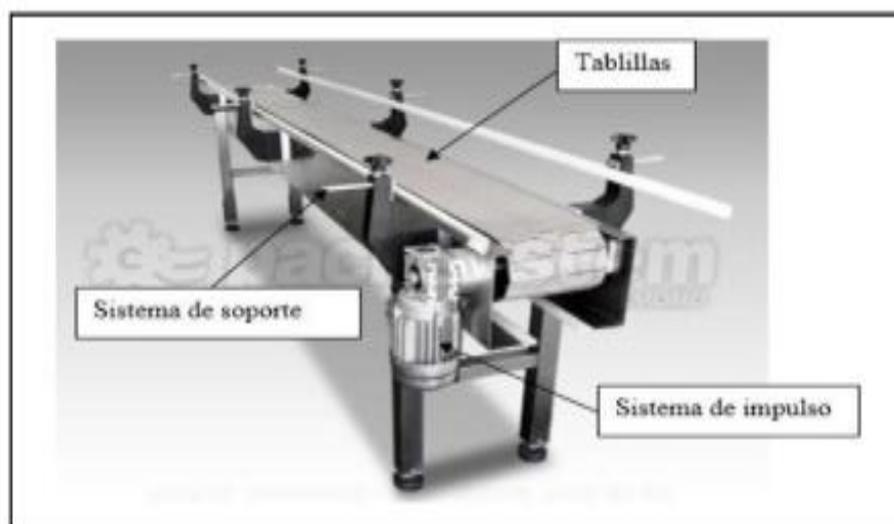
Figura N° 30. Sistema de colocado y enroscado de tapas lineal



Fuente: Mamani Huanacuni (2021)

- **Transportador de banda:** este transportador es usado durante la fabricación de proceso, por otro lado, tiene control del panel que automatiza el movimiento del producto entre ellos esta las latas o botellas de plástico (ver figura 31).

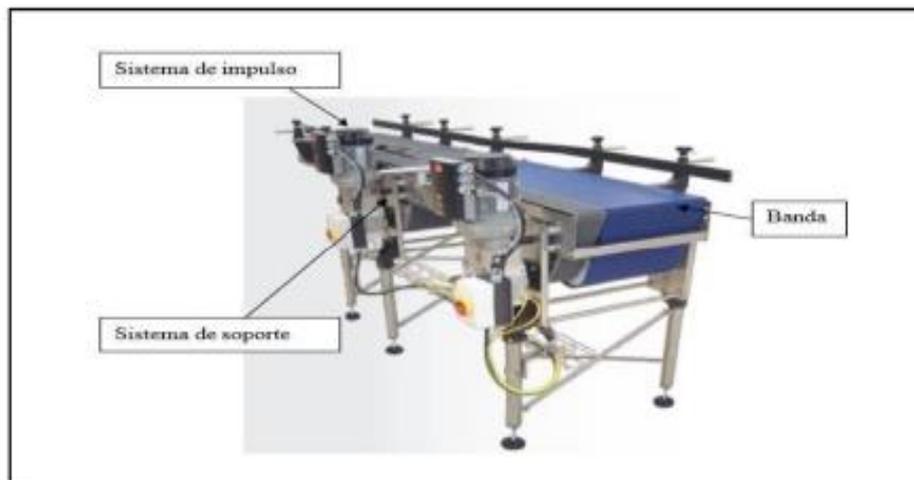
Figura N° 31. Transportador de banda



Fuente: Mamani Huanacuni (2021)

- **Transporte por placas articuladas:** este transportador tiene la superficie uniforme, permite el traslado de productos y se utiliza solo para los envases de vidrio y plástico (ver la imagen 32). La función que tiene es transportar el producto desde una ubicación a otra, ya sea dentro la misma instalación. Así evitamos el contacto del operador con el producto. Las placas de esta transportadora están hechas de metal o plástico.

Figura N° 32. Transporte por placas articuladas.



Fuente: Mamani Huanacuni (2021)

4.15.2. Ejemplos de la aplicación de la neumática en la industria de alimentos

- **Alvarado pico y Ramirez Perez (2013).** En su trabajo máquina estibadora de cajas neumática, afirma que este equipo utilizando el aire comprimido tiene beneficios, ya que su costo de mantenimiento es bajo. La cual permite a las empresas adquirir un equipo rentable y neumático, por lo que requiere energía eléctrica para generar aire y funcionar de tal manera que no utilice una instalación compleja.

- **Saed Martínez (2005).** En su investigación envasado y automatizado de productos lácteos, concluye que la neumática es una herramienta muy importante en el proceso de automatización y también por ser eficiente en sus costos de mantenimientos bajos. Además, la automatización que se obtiene pocas veces va hacer eléctrico o neumático, al contrario, es una asociación de componentes neumáticos y eléctricos para mando y potencia en el proceso que resulta una herramienta fuerte para automatizar cualquier proceso de manera eficiente.
- **Atiencia Lozada (2015).** En su estudio de los sistemas de envasado de mermeladas de frutas en frascos de vidrio para incrementar la producción en la fábrica Carlita, manifiesta que los equipos que utilizaron en el sistema de envasado son los adecuados para que el funcionamiento sea eficiente en la parte eléctrica y en el sistema neumático. Además, en las pruebas de funcionamiento que se realizó, es importante determinar el tiempo necesario para que el cilindro absorba la cantidad de mermelada destinada para cada presentación del envase.

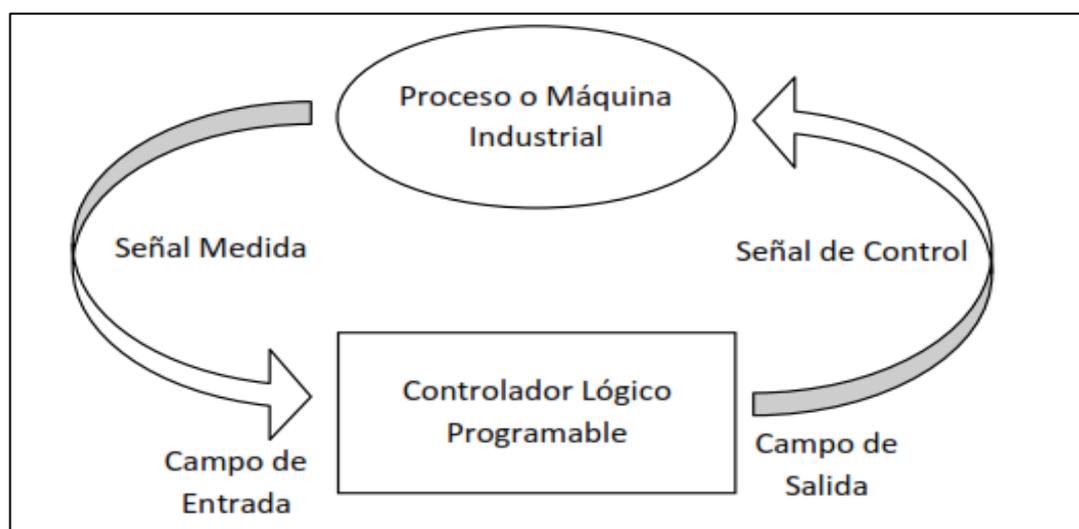
5. CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES

El PLC en inglés significa (Programmable logic controller). Son dispositivos electrónicos que se utiliza en la programación automatizada industrial. Este computador tiene memoria para almacenar instrucciones para desarrollar las funciones lógicas, operación temporizadas, aritmética, manipulación de datos, conteo y entre otras funciones. Manera que permite el control de los procesos de fabricación.

Estos dispositivos eléctricos son utilizados en los procesos industriales, para el control de monitoreo de las tareas secuenciales.(Herrera Paria, 2019)

La figura 33, muestra el diagrama del controlador lógico programable.

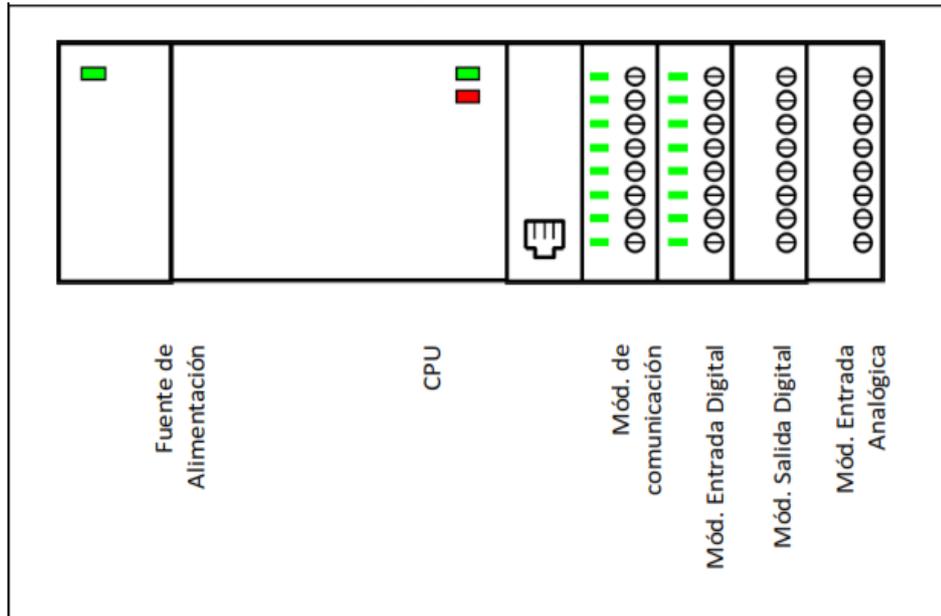
Figura N° 33. Diagrama del Plc



Fuente: Pizarro Valdez (2010)

La arquitectura general de un PLC está constituida por la unidad central de procesos (CPU), módulo de entrada, módulo de salida, unidad de comunicación y la fuente de alimentación. En la figura 34, se muestra la arquitectura general del PLC.

Figura N° 34. Arquitectura general de un Plc



Fuente: Pizarro Valdez (2010)

- **CPU:** encargado de recibir las órdenes del operario mediante la consola de programación y módulo de entradas.
- **Módulo de entrada:** unión de los captadores. Recibe la información y la envía al CPU para procesarla de acuerdo a la programación. Los captadores de entrada son dos: pasivos y activos.
- **Módulo de salida:** tiene la función de activar y desactivar los actuadores. Cuando la información esta enviada al CPU inmediatamente se envía a la unidad de salida para ser activadas. Los módulos de salidas son tres: relés, triac y transistores.
- **Fuente de alimentación:** cambia la tensión de la red, es utilizado como tensión de trabajo en los circuitos electrónicos.

- **Terminal de programación:** permite comunicarse con el operario. Sus funciones principales, transferencia y modificar el sistema, verificar la programación y la información del proceso.
- **Periféricos:** no intervienen en el trabajo directamente. Por otro lado, facilita el trabajo del operario.(Herrera Calvopiña, 2011)

5.1. Tipos de Plc

Hay diferentes tipos de plc, entre ellos están los de diferentes niveles, procesos y utilización. Cada plc es importante en los procesos de producción de un producto. Por ejemplo, el PLC S7-1200 CPU1214C marca Siemens. Este plc es utilizado para el control y registro en la etapa de la pasteurización de la pulpa de fruta.(Herrera Paria, 2019)

- PLC COMPACTO
- PLC MODULAR
- PLC RACK
- PLC(OPLC)

5.2. Estructura de un Plc

Según (Quishpe Rosero, 2018) Los PLC aplican la estructura de las computadoras convencionales que son hardware, firmware y software, porque están basados en la lógica de un microprocesador.

El hardware, son las partes físicas del dispositivo que son los circuitos integrados, el cableado, la batería y las demás partes de un plc. El firmware son los programas que están instalados como software permanentemente en

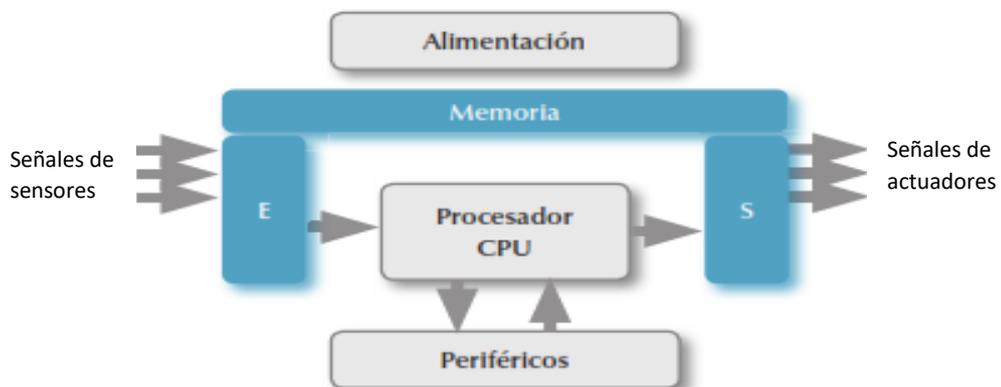
el PLC y suministrado por el fabricante del PLC. También incluye las rutinas del sistema para que el procesador pueda aplicaren una tensión.

Los controladores lógicos programables están almacenados en la memoria ROM de lectura. Por otro lado, el software es el programa de usuario del plc, estos programas se instalan en la memoria RAM y el hardware está basado en el sistema de buses, donde este sistema tiene números de líneas que están divididas en direcciones, datos y control. Cada uno de estas líneas tiene una función, por ejemplo, la línea de dirección es para seleccionar la dirección del elemento, la línea de datos es para pasar la información y la línea de control es para habilitar el dispositivo.

Los módulos de entradas y salidas están conectados a un simple bus o bus externo de E/S. Para programar la conexión del PLC se utiliza una computadora, mediante una plataforma de interface en serie.

Se muestra en la figura 35, las partes del programador lógico programable.

Figura N° 35. Partes del PLC



Fuente: Moncayo (2021)

En la tabla 6, se compara las estructuras de los PLC *s7-1200 siemens*.

Tabla N° 6. Estructura del plc s7-1200 siemens

Función	CPU 1211C	CPU 112C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (m)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario <ul style="list-style-type: none"> • Memoria de trabajo • Memoria de carga • Memoria remanente 	<ul style="list-style-type: none"> • 25 KB • 1 MB • 2 KB 		<ul style="list-style-type: none"> • 50 KB • 2 MB • 2 KB
E/S integradas locales <ul style="list-style-type: none"> • Digitales • analógicas 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 entradas /4 salidas • 2 entradas 	<ul style="list-style-type: none"> • 8 entradas /6 salidas • 2 entradas 	<ul style="list-style-type: none"> • 14 entradas /10 salidas • 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Area de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	ninguna	2	8
Signal board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Controladores rápidos <ul style="list-style-type: none"> • Fase simple • Fase en cuadratura 	3 <ul style="list-style-type: none"> • 3 a 100 kHz • 3 a 80 kHz 	4 <ul style="list-style-type: none"> • 3 a 100 kHz • 1 a 30 kHz • 3 a 80 kHz • 1 a 20 kHz 	6 <ul style="list-style-type: none"> • 3 a 100 kHz • 3 a 30 kHz • 3 a 80 kHz • 3 a 20kHz
Salidas de impulsos	2		
Memory card	SIMATIC Memory card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típica: 10 días /mínimo: 6 días a40° C		
PROFINET	1 puerto de comunicación		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs / instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs / instrucción		

Fuente: (Herrera Paria, 2019)

5.3. Entrada y salida digital de un Plc

Los módulos de entrada y salida digital están conectados al tipo de sensor de salida en el PLC. Debido a que el cable del sensor está conectado al canal de entrada del módulo. El módulo para traducir la señal ingresa al canal para ser una señal cero o una de las más pequeñas de la memoria del módulo. En cada circuito del autómata, el centro lee las piezas del módulo y vierte su valor en el lenguaje del autómata llamado entrada digital. La entrada digital al módulo de salida funciona como una señal de voltaje. (Alverar Ching, 2018)

5.4. Entrada y salida analógica de un Plc

Los módulos de entradas analógicas permiten una gestión lógica programable para trabajar con actuadores de control analógico que leen señales de tipo analógico. Estos módulos son una interfaz para PLC para controlar procesos continuos como temperatura, flujo, etc.

Un módulo de salida analógica se utiliza para convertir el valor en un convertidor digital interno de PLC en voltaje o corriente. Este voltaje o corriente se puede usar como puntos de control para controladores analógicos compatibles, controladores de temperatura, control de agua, unidades de velocidad, etc. La cual permite que el PLC proporcione control y control de corriente continua. (Alverar Ching, 2018)

5.5. Fuentes de alimentación

El regulador de tensión es necesario para el correcto funcionamiento del PLC. En este caso, la tensión necesaria para el PLC utilizado es de otros 220 voltios. Por ejemplo, los atributos principales de un PLC siemens S7-1200 se muestra en la siguiente tabla 7.(Herrera Paria, 2019)

Tabla N° 7. Principales atributos del PLC siemens S7- 1200

Integrated I/O	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Integrad digital I/O	6/4 salidas	8 entradas / 6 salidas	14 entradas /10 salidas
Integrated analog I/O	2 entradas	2 entradas	2 entradas
Max. Local I/O - digital	14	82	284
Max. Local I/O - digital	3	19	67
Tamaño de imagen de proceso	104 bytes for entradas/1024 Bytes for salidas		

Fuente : Herrera Paria (2019)

5.6. Procesador

Es responsable de llevar a cabo las instrucciones creadas por el usuario. Aquí es donde toda la información se almacena y procesa para realizar la funcionalidad recomendada a través de entrada y salida. Además, aquí se maneja la comunicación entre dispositivos interactivos en un solo sistema y una sola red de producción.(Herrera Paria, 2019)

5.7. Memoria

(Herrera Paria, 2019) Los PLC tienen memoria que almacena los datos del proceso entre ellos las señales de entradas y salidas, las variables constantes, internas y datos alfa numéricos. También las instrucciones programadas entre otros.

5.7.1. Tipos de memoria

- **Memoria de instrucciones programadas:**

Se encarga de almacenar la lógica diseñada para dar inicio al sistema.

- **Memoria de tablas:**

Se registran las etiquetas o marcas, temporizadores, etc.

- **Memoria del sistema:**

Se almacena la información del sistema automático y propio del PLC.

- **Memoria externa:**

Encargado de almacenar las instrucciones programadas y tablas de datos.

5.8. Ventajas del Plc

El PLC es utilizado para resolver problemas de sistemas y fabricación, maquinaria, confiabilidad de equipos y reducir los costos de mantenimiento.

Al implementar el controlador lógico programable permite optimizar cualquier sistema, reduciendo el costo de la empresa y sobre todo aumenta la eficiencia del elemento de forma automática. Por eso es importante conocer todo lo que el PLC puede hacer en el proceso. (Quishpe Rosero, 2018)

5.9. Configuración del Controlador lógico programable

Según (Pizarro Valdez, 2010) El PLC tiene dos configuraciones para la unidad de control:

- ✓ **Control centralizado:** el CPU tiene la función de soportar los módulos de entrada/ salida cada uno con sus interfaces. Por lo que los módulos no pueden operar de manera autónoma.

- ✓ **Control distribuido:** En este control existen varios módulos cada uno tiene su propia unidad de proceso. Pues estos módulos se conectan a la unidad maestra para gestionar todos los datos y ser intercambiados entre los módulos y las unidades de proceso.

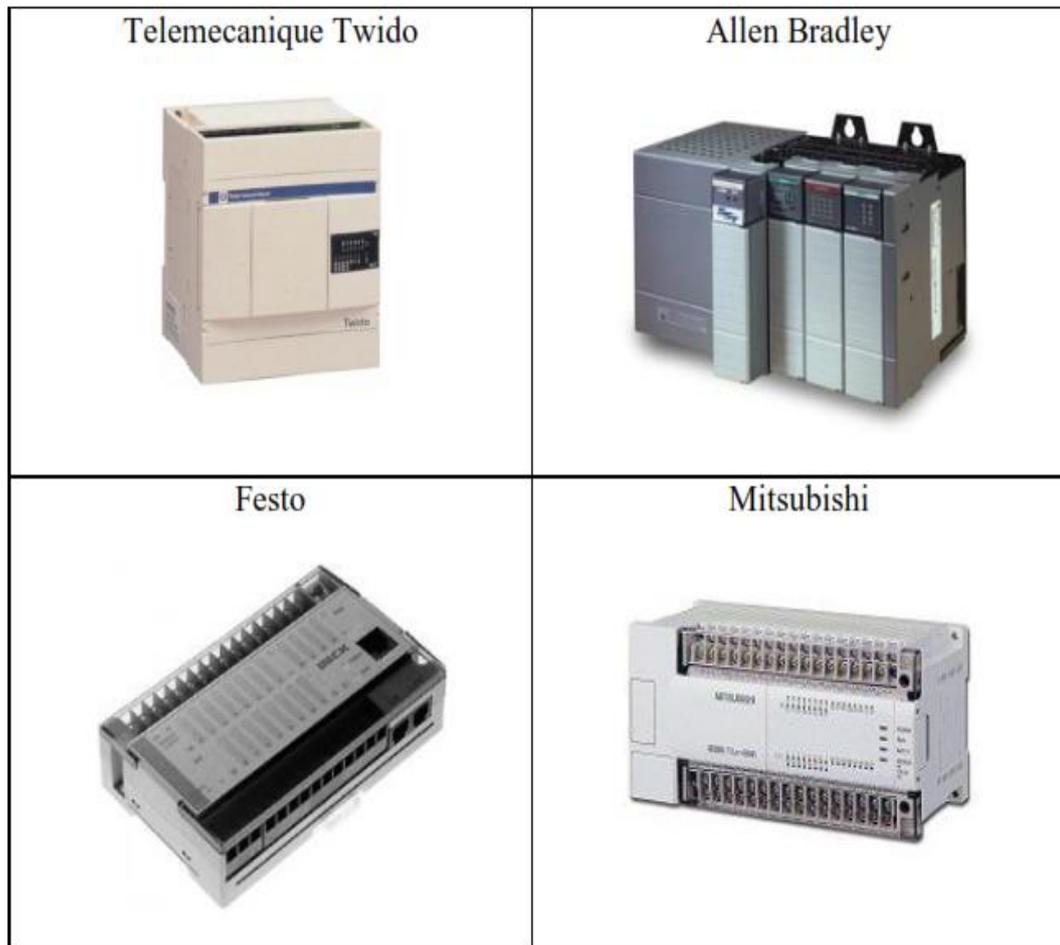
5.10. Criterios de selección

- ✓ Tener disponibilidad en los equipos, repuestos y asistencia técnica. Mediante esto se sabrá que marca a utilizar dentro de la gama disponible entre ellos: Siemens, festo, Mitsubishi, etc.

- ✓ Tener en cuenta la cantidad de memoria que se va a requerir, las cantidades y tipos de entradas y salidas, las funciones y la comunicación. Además, en cada marca de PLC hay diferentes modelos.(Pizarro Valdez, 2010)

En la figura 36, se muestra algunos controladores lógicos programables según la marca.

Figura N° 36. Diferentes marcas de PLC



Fuente: Pizarro Valdez (2010)

5.11. Tipos de lenguaje de programación Plc

Manifestó (Mamani Huanacuni, 2021) hay tres tipos de lenguaje de programación.

- **Lenguaje de diagrama Ladder (KOP)**

También conocido como esquema de contactos. Lenguaje muy utilizado en la programación de los PLC, baso en los esquemas de control básico.

En la tabla 8, se muestra los símbolos de diagrama Ladder.

Tabla N° 8. Símbolos de diagrama Ladder

Simbología	Nombre	Descripción
	Contacto NO	Se activa cuando hay una entrada, variable en sistema
	Contacto NC	Tiene función similar al del contacto N. la diferencia que tiene se activa cuando hay un cero lógico
	Bobina NA	Se llega a activar cuando la combinación en su entrada un lógico. A veces representa elementos de salida
	Bobina NC	Se llega a activar cuando la combinación en su entrada es cero lógicos.
	Bobina RESET	No puede desactivar cuando esta activada. Tiene la función de memorizar bits a lado e la bina RESET que tiene potencia.
	Bobina SET	Desactiva la bobina SET que esta activada

Fuente: Mamani Huanacuni (2021)

- **Lenguaje de diagrama de funciones**

Está basado en las lógicas de gráficos. Además, estos símbolos son utilizados en booleana algebra. Se muestra en la figura 37, el diagrama de bloques de funciones.

Figura N° 37. Diagrama de bloques de funciones

```

1 IF #req THEN
2
3   #temp_media := ((#var1 + #var2 + #var3) / 3);
4
5   IF #temp_media > #Lim_Val THEN
6     #Error := true;
7     #result := -99.9;
8   ELSE
9     #result := #temp_media;
10    #Error := false;
11  END_IF;
12 (*comentario 1
13 comentario 2
14 comentario 3*)
15
16
17
18 END_IF;

```

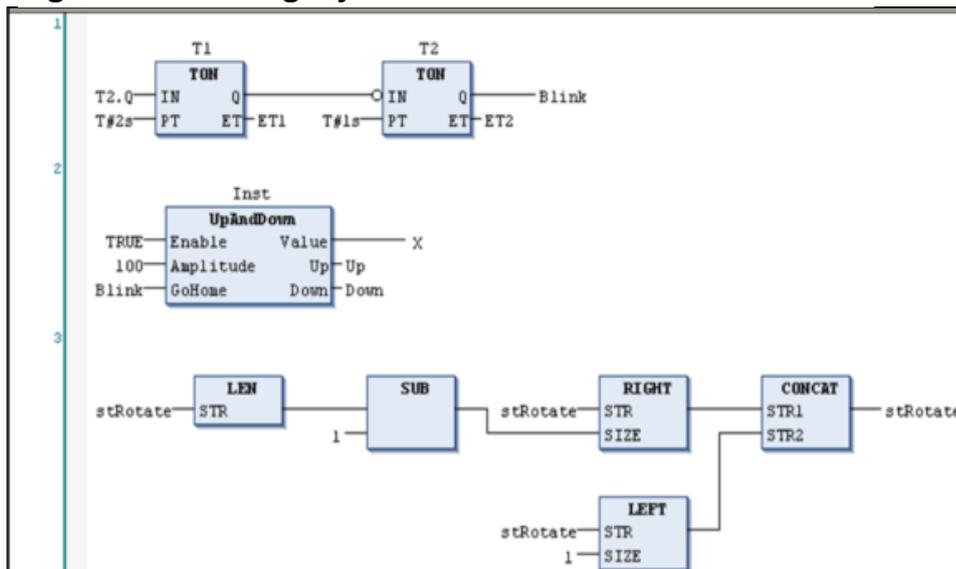
Fuente: Mamani Huanacuni (2021)

- **Lenguaje de consulta estructurada (SQL):**

Basado en alto nivel de programación de texto. En la manipulación de datos y control de datos.

En la figura 38, se muestra el lenguaje de SQL.

Figura N° 38. Lenguaje de SQL



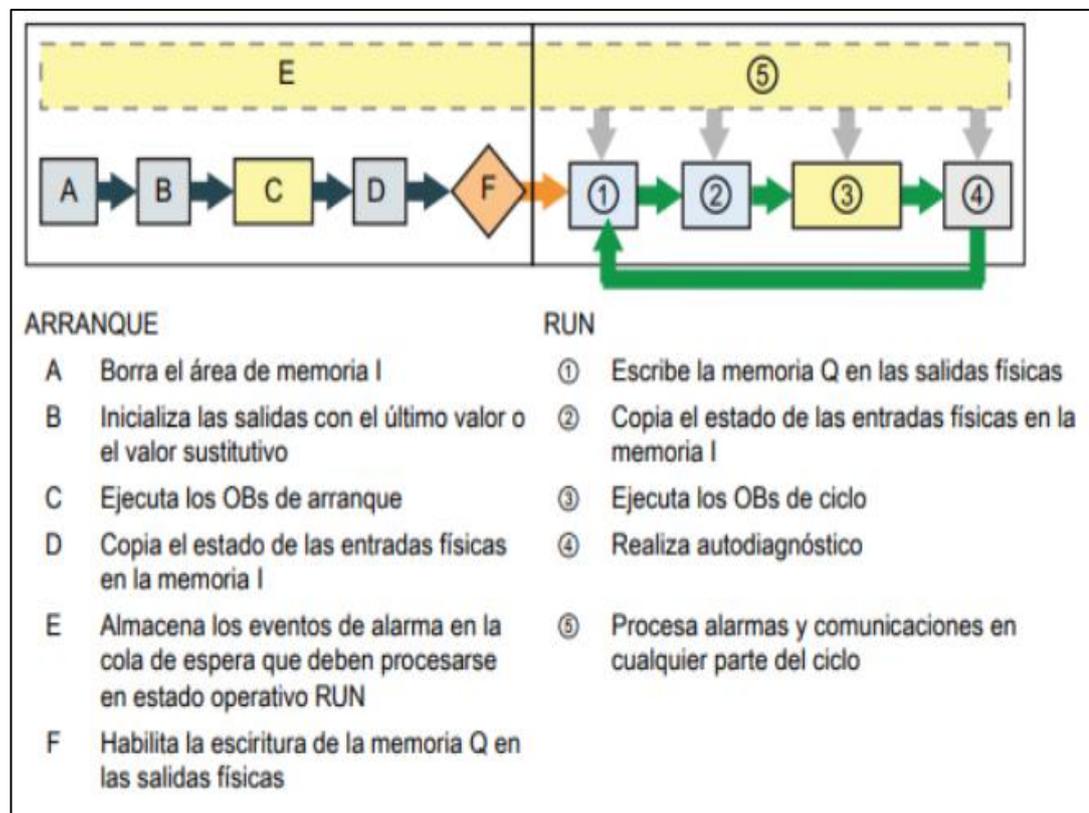
Fuente: Mamani Huanacuni (2021)

5.12. Funcionamiento del Plc

La función de los autómatas es cíclica y sistemática, es decir, las instrucciones anteriores se realizan individualmente, teniendo en cuenta conceptos estructurados. Para ello, existe un tiempo de procesamiento instrucciones, denominado: tiempo de barrido o SCAN TIME, estos son los tiempos que el PLC necesita para hacer un círculo.(Herrera Paria, 2019)

Se muestra en la figura 39, los estados operativos de la CPU del PLC.

Figura N° 39. Estados operativos del CPU



Fuente: Herrera Paria (2019)

5.13. Variables Programadas

En la siguiente tabla 9, se observa las variables programadas de un PLC, importantes para realizar un proceso determinado según su función.

Tabla N° 9. Variables programadas en el PL

N°	TAG	T. DATO	DIRECCION	DESCRIPCION
1	SS_110_I PROCESO	Bool	%10.0	Entrada Física De Marcha
2	SS_101_PARO	Bool	%10.1	Entrada Física De Paro
3	SS_102_P. EMERGENCIA	Bool	%10.2	Entrada Física De Paro De Emergencia
4	SS_103_M. MANUAL	Bool	%10.3	Entrada Física De Modo Manual
5	SS_104_M. AUTO	Bool	%10.4	Entrada Física De Modo Auto
6	SS_105_M. VALVULA	Bool	%10.5	Entrada Física De Jog Bomba
7	SS_106_M. BOMBA	Bool	%10.6	Sensor Flotador De T1
8	LH_100_T1	Bool	%10.7	Status Abierto De Válvula
9	STATUS_100_VAL_ABIERTO	Bool	%11.0	Status Cerrado De Válvula
10	STATUS_101_VAL_CERRADO	Bool	%11.1	Sensor Nivel Alto T2
11	LH_101_T2	Bool	%11.2	Sensor Nivel Bajo T2
12	LL_101_T2	Bool	%11.3	Señal Dee Transmisor De Nivel T1
13	LC_100_SN_ANALOG	Int	%IW 64	On/Off De Válvula De Control
14	VA_100_KM	Bool	%Q0.1	Luz Piloto Marcha
15	HH_100_I. PROCESO	Bool	%Q0.2	Luz Piloto Paro Emergencia
16	HH_101_P. EMERGENCIA	Bool	%Q0.3	Luz Piloto Marcha
17	HH_102_LH T2	Bool	%Q0.4	Luz Piloto Paro Emergencia
18	HH_103_LL T2	Bool	%Q0.5	Luz Pilotos Lht2
19	HH_103_LH T1	Bool	%Q0.6	Luz Pilotos Ll. T2
20	HH_105_BOMBA_AUTO	Bool	%Q0.7	Luz Pilotos Lh T1
21	BD_100_ANALG	Bool	%QW.80	Señal Analógica De Vdf Bd
22	BD_100_KM	Int	%Q0.0	On/Off De Bomba Dosificadora
23	P. BOMBA_MANUAL	Bool	%M30.0	Marca Para Activacion Luz Piloto De Bomba Activa
24	P. VALVULA_MANUAL	Bool	%M30.1	Marca Para Activación De Luz Piloto De Valv. Activa
25	SET POINT	Real	%MD8	Valor De Ingreso De Set Point Para PID
26	INICIO_PROCESO (1)	Bool	%M30.2	Marca de Confirmación De Inicio De programa
27	M. MANU_ACTIVIVO	Bool	%M30.3	Marca De Confirmación De Modo Manual
28	M. AUTO_ACTIVIVO	Bool	%M30.4	Marca De Confirmación De Modo Automático

Fuente : Torres Capuz y Chanoluisa Martinez (2015)

5.14. Aplicación del Plc en la industria alimentaria

Según (Gonzalez Monroy, 2008) .Los PLC son aplicados en la industria alimentaria en los siguientes procesos:

➤ **Sistema de llenado de botellas:** el proceso de llenado de las botellas empieza por dos procesos: el primero por el lavado de las botellas donde se procede a realizar el lavado y esterilización correcta y el segundo el llenado de las botellas que se lleva a cabo por el sistema de boquillas que llena la botella con el producto, la cual se reparte por las tuberías y válvulas.

• **Lavado de botellas:** las botellas ingresan a la máquina lavadora, esta máquina es accionada por un operador en la mesa de carga y dos operadores en la descarga. Las botellas ingresan a la máquina de manera automática, esta máquina lavadora de botella tiene un tanque pequeño con sosa cáustica al 3.5% y el otro con 2.5%. En este tanque se sumerge las botellas para eliminar toda la suciedad que contengan, su temperatura del tanque es 65°C aproximadamente.

Después las botellas pasan por varios enjuagues, en donde se recircula el agua por medio de bombas y al final tiene un enjuague con agua fresca, donde se utilizan las boquillas individuales para cada botella. Finalmente, el agua se escurre y la botella sale a la mesa de descarga completamente limpia.

• **Llenado de botellas:** las botellas lavadas son conducidas por una cinta transportadora hacia el equipo de llenado del producto. Las botellas ingresan a este proceso, secas por dentro, pero un poco húmedas por fuera. Antes de ingresar a la máquina llenadora existe un sistema

detector infrarrojo, que permite retirar las botellas que contienen impurezas en su interior. Las botellas ingresan a la maquina llenadora, donde realizan un recorrido circular. El proceso de llenado se realiza mediante un sistema de boquillas que llenan la botella con el producto que previamente ha ingresado a una tolva alimentadora, desde donde se reparte por un juego de tuberías y válvulas hacia las boquillas. Una vez terminado el proceso de llenado de las botellas, estas salen a un sistema mecánico de colocación de la tapa.

Las botellas llenas y selladas son conducidas por la banda transportadora hacia el proceso de colocación en las jabs, pero antes de eso pasan por una cámara de lavado por aspersion para limpiar el exterior de las mismas y a continuación se secan con chorros de aire a presión.

- **Sistema de etiquetado:** las etiquetas de los productos son impresas principalmente con técnicas de impresión tradicionales como: tipografía UV, flexo grafía, serigrafía, offset, huecograbado, UV-flexo e impresión digital. El etiquetado de los alimentos es el final diverso del proceso esto quiere decir, el etiquetado abarca el proceso del producto, fecha de expiración a las etiquetas. Dentro ello también esta las leyes y normas sobre la seguridad alimentaria.

Es importante precisar que las etiquetas en la industria alimentaria tienen que tener resistencia al aceite y deben mantener las propiedades de adhesión a bajas temperaturas. El etiquetado de las botellas en la industria se lleva a cabo de diferentes maneras, pueden

usarse sistemas de etiquetados envolvente, sistema para etiquetado frente y dorso, sistema de etiquetado superior/ inferior, sistema de etiquetado múltiple, sistema de etiquetado en tres caras y envolvente.

Los etiquetados varían según el tipo de producto ya sea bebidas, alimentos, farmacéuticos, hogar, industrial y químico, etc.

Los envases ingresan a la maquina etiquetadora mediante un sistema transportador controlado por un variador de frecuencia que funciona a diferentes velocidades según el proceso a realizarse. Las etiquetas son colocadas en los envases mediante una placa que separa la etiqueta de la cinta protectora que son accionados por un motor eléctrico y controlado por un variador de frecuencia para regular la velocidad de salida de las etiquetas.(Maurizaca Garcés, 2015)

- **Método de empaquetado:** En el empaquetado de los alimentos se debe extraer el aire para evitar deterioro del producto y así poder llegar hasta la fecha de expiración o vencimiento marcado en el envase. Identificar el contenido y composición con etiquetas y dibujos que sean explicados. Indicando el modo de uso y advertencias sobre el peligro si es necesario. Para llevar a cabo el funcionamiento de una empaquetadora es necesario utilizar el plc, que permite controlar el proceso automáticamente. Este proceso se lleva a cabo al final del proceso, la cual son colocadas los productos en las cajas limpias que son transportadas por la banda transportadora, realizando su función durante el empaquetado con la configuración del plc. (Maurizaca Garcés, 2015)

5.15. Ejemplos de aplicación del plc en la industria alimentaria

- **Mamani Huanacuni (2021).** En su trabajo de investigación diseño e implementación de prototipo para automatizar el proceso de embotellado de yogurt en la planta lechera de Tacna, concluye que al utilizar un plc Simatic S7 1200 de Siemens como unidad de control en el prototipo de sistema de envasado, funciona correctamente controlando los procesos. De tal manera que implemento un sistema de supervisión control con una pantalla HMI para el prototipo de embotellado, logrando obtener un buen funcionamiento en el proceso.
- **Silva Díaz et al., (2017).** En su trabajo de investigación titulada diseño de un sistema de automatización para la planta de alimento ensilado Héctor molina, afirma que la implementación de diseño automatizado utilizando el plc, sensores de PH, entre otros instrumentos brinda un interfaz de confianza al operador de la planta para realizar el control y la monitorización del proceso. teniendo ventajas en la producción industrial como el aumento de eficiencia y calidad del ensilado, reduciendo el esfuerzo físico de los operadores.
- **Pizarro Valdez (2010).** En su trabajo de investigación “automatización de máquinas empaquetadoras mediante la utilización de controladores lógicos programables”, concluye que las máquinas empaquetadoras hayssen y transwrap de ecuasal han sido mejoradas y actualizadas debido a la automatización con el plc. Solucionando los problemas del sistema antiguo.

II. CONCLUSIONES

- En la industria alimentaria la teoría de control es una tecnología que cada vez se viene implementado con la finalidad de optimizar los procesos industriales, garantizar la calidad de los productos, reducir costos de producción, ser más competitivos en el mercado y sobre todo tener mínimo impacto en el medio ambiente.
- La neumática es una tecnología limpia que se adapta muy bien a la industria de los alimentos porque utiliza aire comprimido como fuente de energía. Además, es segura y puede trabajar en ambientes hostiles donde existe bastante humedad y sustancias corrosivas (sal).
- El PLC apoya la automatización del proceso de producción para controlar el seguimiento de las tareas secuenciales. Es un computador que se utiliza en todo tipo de empresas de alimentos por la memoria que tiene al almacenar las instrucciones. Además, es económico y fácil de instalar a comparación de otros equipos.
- Finalmente, mediante este trabajo nos damos cuenta la gran importancia que tienen estos sistemas al momento de realizar un proceso industrial ya que hoy en día las empresas lo utilizan para obtener buenos resultados.

III. RECOMENDACIONES

- Se recomienda desarrollar trabajos de investigación de la optimización de procesos industriales en los cuales se utilice el plc y la neumática. A fin de que se pueda ofrecer una propuesta a la pequeña industria nacional.

- Se debe implementar en las universidades laboratorios de control de procesos industriales (maquinarias), donde se enseñe y se pueda aprender el uso del plc y la neumática.

- Se recomienda a los egresados de la facultad de industrias alimentarias que se enfoquen a desarrollar tesis en esta tecnología de control con plc y neumática.

IV. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ALBERTO, M., PEREZ, A. y PEREZ, E., 2008. *“Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo.”* S.l.: s.n. ISBN 9786074428421.

ALVARADO PICO, Juan A. y RAMIREZ PEREZ, P., 2013. *Maquina estibadora de cajas neumática* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12065/ANALISISACERO.pdf?sequence=1>.

ALVERAR CHING, E.D., 2018. *Diseño de un sistema automatizado para mejorar la productividad en la etapa de laminado en la fabricación de la pasta wantan en la Empresa yuc* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12423/1687%0A>Fecha: 2018.

ATIENCIA LOZADA, D.F., 2015. *Estudio de los sistemas de envasado de mermeladas de frutas en frascos de vidrio para incrementar la producción en la fábrica carlita, cantón guaranda, provincia de bolívar.* S.l.: s.n.

CASTILLO ZAPATA, R. y VILLENA LINGAN, L., 2016. *Estudio y análisis de la etapa de dosificación y mezclado para mejorar la medición de la cantidad de insumos y el tiempo de mezclado en el proceso de alimentos balanceados de pollos en la empresa el rocío S.A. en el periodo marzo-junio 2016.* S.l.: s.n.

CENTENO VALENCIA, J.D. y JIMÉNEZ HERRERA, V.E., 2010. *Manual consultivo de control neumático y electroneumático utilizando el software Festo FluidSIM* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://bit.ly/2Tshkfc>.

CERVANTES MORENO, J.D. y VEGA PÁRRAGA, G. V., 2018. *Diseño e implementación de un sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre en la empresa polivalente servicios industriales EIRL* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2468>.

CREUS, A., 2011. *instrumentación industrial.* 8° edición. Mexico: s.n. ISBN 9786077070429.

CROSER, P., 1990. *Neumatica manual de estudio- nivel básico* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 3812730286. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11404/730>.

GONZALEZ MONROY, J.G., 2008. Sistema Automatizado para el Control de Embotellado. , pp. 135.

GUILLEN, A., 2018. *Aplicacions industrials de la neumatica*. barcelona: s.n. ISBN 9780815385660.

GUTIÉRREZ HINESTROZA, M. y ITURRALDE KURE, S.A., 2017. *Fundamentos básicos de instrumentación y control* [en línea]. ECUADOR: s.n. ISBN 9789942860378. Disponible en: [https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4228/1/Fundamentos de Instrumentacion y Control.pdf](https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4228/1/Fundamentos%20de%20Instrumentacion%20y%20Control.pdf).

HERNÁNDEZ GAVIÑO, R., 2010. *Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicación y simulación con MATLAB*. [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9788578110796. Disponible en: https://dlscrib.com/download/introduccion-a-los-sistemas-de-control-conceptos-aplicaciones-y-simulacion-con-matlab-ricardo-hernandez-gavinillo_58a76d906454a7d052b1e929_pdf.

HERRERA CALVOPIÑA, D., 2011. Implementacion de un sistema automatizado de control en un elevador de carga para disminuir accidentes laborales y cumplir estandares en BPM de carnicos en la empresa «Don Jorge» en la ciudad de Latacunga. [en línea], no. 1, pp. 130. ISSN 2215-3535. Disponible en: <https://bit.ly/2EKJCRw>.

HERRERA PARIÁ, P.A., 2019. *Diseño de un sistema automático de control y registro de temperatura para el proceso de pasteurización en la industria alimentaria* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/2970>.

LARA ALABAZARES, D. y GONZÁLES ROSALES, P., 2020. Control de Temperatura de un túnel de secado de limón persa. , vol. 12, no. May, pp. 60-685.

LOPEZ RUEDA, I., 2017. *Automatización del proceso industrial de envasado de yogurt*. S.l.: s.n.

LORENZO LLEDÓ, G., 2009. *Automatización de una planta industrial* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10056/1/Suficiencia_Gonzalo.pdf.

MAMANI HUANACUNI, G., 2021. *Diseño e implementación de un prototipo para automatizar el proceso de embotellado de yogurt en la planta lechera tacna* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>.

MAURIZACA GARCÉS, F., 2015. *Comunicación opc para optimizar el proceso de embotellado, envasado y etiquetado de botellas cilíndricasen el laboratorio de control de la carrera de ingeniería mecánica de la facultad de ingeniería civil y mecánica de la universidad técnica de ambato*. S.l.: s.n.

MENDIBURÚ DIAZ, H.A., 2003. *Automatización medioambiental* [en línea]. Perú: s.n. Disponible en: [file:///C:/Users/pc/Downloads/automatizacion medioambiental elementos de automatizacion.pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/automatizacion%20medioambiental%20elementos%20de%20automatizacion.pdf).

MIRAVET VALERO, G.M., ALACID CÁRCELES, M. y OBÓN DE CASTRO, J.M., 2009. *Secado por atomización de zumo de granada*. S.l.: Universidad politécnica de Cartagena.

MONCAYO, G., 2021. *Procesos integrados en la industria alimentaria*. Madrid: s.n. ISBN 9788490225370.

MONDRAGÓN, R., JULIA, E., BARBA, A. y JARQUE, J., 2013. El proceso de secado por atomización: Formación de gránulos y cinética de secado de gotas. *Boletín de la Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio* [en línea], vol. 52, no. 4, pp. 159-168. ISSN 03663175. DOI 10.3989/cyv.212013. Disponible en: <https://doi.org/10.3989/cyv.212013>.

OGATA, K., 2013. *Ingenieria de Control Moderna*. 5° edicion. S.l.: s.n. ISBN 9788578110796.

PAZ PINTADO, N., 2018. Diseño de un sistema automatizado para mejorar la productividad de la etapa de paletizado en la empresa jayanca fruits S.a.C. [en línea], pp. 176. Disponible en: <http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12423/2501>.

PIZARRO VALDEZ, francisco J., 2010. *Automatización de máquinas empaquetadoras mediante la utilización de controladores lógicos programables* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14428/4/Elaboración de Pan Artesanal.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14428/4/Elaboración%20de%20Pan%20Artesanal.pdf).

QUISHPE ROSERO, D., 2018. *Estudio de la neumática y sus aplicaciones en diferentes campos de la industria* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: [file:///D:/RESPALDO 11-08-2020/Documents/JORDI/jordi/libros/tesis universidad central naumatica.pdf](file:///D:/RESPALDO%2011-08-2020/Documents/JORDI/jordi/libros/tesis%20universidad%20central%20naumatica.pdf).

REYES ROMO, A.S., 2011. *Estudio de automatización de un brazo neumático para facilitar procesos de aprendizaje en el laboratorio de neumática de la carrera de ingeniería mecánica de la universidad tecnica de ambato* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1301>.

SAED MARTÍNEZ, J.A., 2005. *Envasado y automatizado de productos lacteos*. S.l.: s.n.

SILVA DÍAZ, L., HERNÁNDEZ LOPEZ, Y., VÁZQUEZ PEÑA, A., PÉREZ ACOSTA, O. y PÉREZ TORRES, D., 2017. Diseño de un sistema de automatización para la planta de alimento ensilado "Héctor Molina". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [en línea], vol. 26, no. 4, pp. 109-120. ISSN 2071-0054. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542017000400010&nrm=iso.

TEJEDA ALVARADO, C., 2013. *Guía para el laboratorio del curso de instalaciones mecánicas de la escuela de ingeniería mecánica* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://doi.org/10.1190/segam2013-0137.1>.

TORRES CAPUZ, J. y CHANOLUISA MARTINEZ, S., 2015. *Diseño e implementación de un sistema de control en una planta* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10414/1/UPS-GT001470.pdf>.

VEGA BUENCHE, A.J., 2010. *Teoría, diseño y simulación de componentes y circuitos para la docencia interactiva vía web* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: file:///C:/Users/56933/Downloads/PFC-NEUMATICA_Alejandro_Buenache.pdf.

VILLAREAL LOZANO, J., 2001. *Investigación, análisis y desarrollo de un manual para el diseño de un sistema neumático* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/6422/1/1080111862.PDF>.