



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS



TÍTULO DE LA TESIS

Diseño de un Sistema de Supervisión y Control para
automatizar la Encajonadora de Botellas de la Línea de
Envasado, Planta San Mateo

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

PRESENTADO POR:

Bach. Carranza Alvarado, Mervin Joel

Bach. Flores Gil, Miguel Antonio

LAMBAYEQUE – PERÚ

2018

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



Diseño de un Sistema de Supervisión y Control para
automatizar la Encajonadora de Botellas de la Línea de
Envasado, Planta San Mateo

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

Bach. Carranza Alvarado, Mervin Joel

Bach. Flores Gil, Miguel Antonio

Asesor:

Ing. Romero Cortez, Oscar Uchelly

LAMBAYEQUE – PERÚ

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**

TÍTULO DE LA TESIS

Diseño de un Sistema de Supervisión y Control para automatizar la Encajonadora de Botellas de la Línea de Envasado, Planta San Mateo

Como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico.

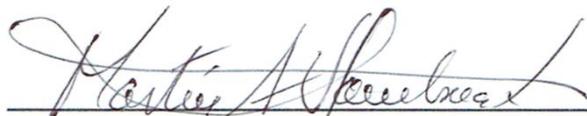
Aceptada por la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.



Ing. Ramírez Castro, Manuel Javier
PRESIDENTE



Ing. Oblitas Vera, Carlos Leonardo
SECRETARIO



Ing. Nombera Lossio, Martín Augusto
VOCAL

LAMBAYEQUE – PERÚ

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**

TÍTULO DE LA TESIS

Diseño de un Sistema de Supervisión y Control para automatizar la
Encajonadora de Botellas de la Línea de Envasado, Planta San Mateo

Como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico.

Sustentada por:



Bach. Carranza Alvarado, Mervin Joel

TESISTA



Bach. Flores Gil, Miguel Antonio

TESISTA

Asesorado por:



Ing. Oscar Ucchelly Romero Cortez

ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ

2018

DEDICATORIA

Le agradecemos a Dios quién supo guiarnos por el buen camino, darnos fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándonos a encarar las adversidades y darnos la fortaleza necesaria para concluir nuestra Tesis.

A nuestros padres por sus consejos, comprensión, amor, y ayuda en los momentos difíciles de nuestra vida. Nos han dado todo lo que somos como persona, valores, principios, empeño, perseverancia y coraje para conseguir nuestros objetivos.

AGRADECIMIENTO

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a todas las personas que nos brindaron su apoyo en el desarrollo de nuestro proyecto, el cual es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital, que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales.

A nuestro Asesor de Tesis, Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez, por su dedicación y apoyo brindado a este proyecto, con sus conocimientos y consejos necesarios para poder desarrollar satisfactoriamente nuestra Tesis.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, por habernos dado los conocimientos necesarios durante nuestra etapa universitaria de esta noble profesión.

A nuestros padres y amigos, porque con ellos compartimos momentos felices, que guardaremos en el recuerdo, por su apoyo moral y humano necesarios en los momentos difíciles, que nos ayudan a poder culminar nuestro Proyecto de Tesis.

RESUMEN

El presente proyecto propone el Diseño de un Sistema de Supervisión y Control para automatizar la Encajonadora de Botellas de la Línea de Envasado, Planta San Mateo.

El Sistema de Control estará basado un Controlador Lógico Programable de la marca Siemens, Modelo S7300-CPU315, para el Sistema de Supervisión se usará una HMI touchscreen a color de la marca Schneider, modelo XBTGT 4330, el cual me permitirá controlar y monitorear el funcionamiento de la Encajonadora.

En el Capítulo I, se plantea el problema, los Objetivos y la Justificación para el Sistema de Supervisión y Control propuesto.

En el Capítulo II, se muestra y/o propone la base teórica necesaria para poder diseñar el Sistema de Supervisión y Control, como por ejemplo teoría acerca de Variadores de Velocidad, Sensores Fotoeléctricos, Sensores Inductivos, Motores AC, Guardamotores, PLC, etc.

En el Capítulo III, se diseña el Sistema de Supervisión y Control, se seleccionan los Variadores de Velocidad, PLC y Módulos de Entrada y Salida Digital, se elaboran Planos de Interconexión de los Módulos del PLC, adicionalmente se muestra la Programación del PLC y los Faceplate del HMI.

En el Capítulo IV, se realiza todo el Sustento Económico del Sistema de Control, Costos de Hardware y Software, Costos de Ingeniería, Costos de Capacitación y el tiempo de recuperación de la inversión realizada.

En el Capítulo V, se muestran las Conclusiones y las Recomendaciones al Sistema de Supervisión y Control.

ABSTRACT

The present project proposes the Design of a Supervision and Control System to Automate the Boxer of Bottles of the Packaging Line, San Mateo Plant.

The Control System will be based on a Programmable Logic Controller of the Siemens brand, Model S7300-CPU315, for the Supervision System a color touchscreen HMI of the Schneider brand will be used, model XBTGT 4330, which will allow me to control and monitor the operation of the Boxer.

In Chapter I, the problem, the Objectives and Justification for the proposed Supervision and Control System is raised.

In Chapter II, the theoretical basis necessary to design the Supervision and Control System is shown and / or proposed, such as theory about Speed Variators, Photoelectric Sensors, Inductive Sensors, AC Motors, Motor Protectors, PLC, etc.

In Chapter III, the Supervision and Control System is designed, Speed Variators, PLCs and Digital Input and Output Modules are selected, Interconnection Plans of the PLC Modules are elaborated, in addition the PLC Programming and the Faceplate of the HMI.

In Chapter IV, all the Economic Support of the Control System, Hardware and Software Costs, Engineering Costs, Training Costs and the time of recovery of the realized investment are realized.

In Chapter V, the Conclusions and Recommendations are shown in the Supervision and Control System.

ÍNDICE

	Pág.
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Resumen	VII
Abstract	VIII
Introducción	1
1. ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.5. HIPOTESIS Y VARIABLES	5
1.5.1. FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS	5
2. BASE TEÓRICA	6
2.1. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA	7
2.1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	7
2.2. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS	10
2.2.1. ¿QUÉ ES UN SISTEMA DE CONTROL?	10
2.2.2. TIPOS SISTEMAS DE CONTROL	11
A. VARIABLES CONSIDERADAS	12
B. ESTRATEGIA DE CONTROL	12
2.3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL	14
2.3.1. SENSORES	14
A. SENSORES INDUCTIVOS	14
B. SENSORES FOTOELECTRICOS	19
2.3.2. GUARDAMOTORES	22
2.3.3. VARIADORES DE VELOCIDAD	22
2.3.4. MOTORES AC	26
2.3.5. AUTÓMATAS PROGRAMABLES (PLC's)	27
A. INTRODUCCIÓN	27
B. CAMPOS DE APLICACIÓN	29
C. VENTAJAS E INCONVENIENTES	30
D. MODO DE FUNCIONAMIENTO	31
2.3.6. HMI	41
2.3.7. FUNCIONAMIENTO DE LA ENCAJONADORA	43
2.4. LOGICA DE CONTROL DE ENCAJONADO	46

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
3.1. LISTA DE EQUIPOS	48
3.1.1. HOJA DE DATOS DE VARIADOR DE VELOCIDAD 2.2 KW	48
3.1.2. HOJA DE DATOS DE VARIADOR DE VELOCIDAD 1.5 KW	49
3.2. ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	51
3.2.1. DIMENSIONAMIENTO DEL PLC	51
A. HOJA DE DATOS DEL CPU	51
B. HOJA DE DATOS DE MODULO DE ENTRADAS	52
C. HOJA DE DATOS DE MODULO DE SALIDAS	53
D. HOJA DE DATOS DEL HMI	54
3.3. DESARROLLO DE ALGORITMOS DE CONTROL	55
3.3.1. CONFIGURACIÓN DEL PLC	55
3.3.2. DIRECCIONAMIENTO DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC	56
3.3.3. PROGRAMA DEL PLC, EN LENGUAJE LADDER	62
3.3.4. INTERFAZ GRAFICA DEL HMI	63
3.4. DISEÑO DE PLANOS ELECTRICOS (VER ANEXO N°1)	67
4. COSTO/BENEFICIO	68
4.1. COSTOS DEL PROYECTO	69
4.1.1. COSTOS DE HARDWARE	69
A. COSTOS DE EQUIPOS	69
B. COSTOS SISTEMA DE CONTROL	69
4.1.2. COSTOS DE INGENIERÍA	70
4.1.3. COSTOS DE CAPACITACIÓN	70
4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	71
4.2.1. BENEFICIOS	71
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
7. ANEXOS	78
7.1. ANEXO N° 1	79
7.2. ANEXO N° 2	80

INDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA N° 01: Listado de Equipos (Variadores de Velocidad)	48
TABLA N° 02: Requerimientos del Variador de Velocidad 2.2 KW	48
TABLA N° 03: Requerimientos del Variador de Velocidad 1.5 KW	49
TABLA N° 04: Requerimientos mínimos del CPU	51
TABLA N° 05: Requerimientos mínimos del Módulo de Entradas	52
TABLA N° 06: Requerimientos mínimos del Módulo de Salidas	53
TABLA N° 07: Requerimientos mínimos del HMI	54
TABLA N° 08: Costos de los Equipos del Proyecto	69
TABLA N° 09: Costos del Sistema de Control	69
TABLA N° 10: Costos de Ingeniería del Proyecto	70
TABLA N° 11: Costos de Capacitación	70
TABLA N° 12: Resumen del Costo Total del Proyecto	71
TABLA N° 13: Comparación del tiempo perdido por fallas de máquina al mes	71
TABLA N° 14: Comparación del tiempo perdido por fallas operativas al mes	72

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA N° 01: Esquema general de un Sistema	10
FIGURA N° 02: Esquema general de un Sistema de Control	11
FIGURA N° 03: Control Lazo Abierto	13
FIGURA N° 04: Control Lazo Cerrado	13
FIGURA N° 05: Como se genera un Campo Magnético	14
FIGURA N° 06: Campo magnético en sensor de proximidad	14
FIGURA N° 07: Guardamotores	22
FIGURA N° 08: Diagrama Electrónico del Variador de Velocidad	23
FIGURA N° 09: Grafica Par – Velocidad	24
FIGURA N° 10: Curva Par – Velocidad	27
FIGURA N° 11: Señales Digitales Binarias	37
FIGURA N° 12: Entrada común positivo	38
FIGURA N° 13: Contacto de salida relé	40
FIGURA N° 14: Contacto de Salida común positivo	40
FIGURA N° 15: Montaje de Módulos de PLC	41
FIGURA N° 16: HMI Schneider XBTGT 4330	43
FIGURA N° 17: Encajonadora de Botellas	44
FIGURA N° 18: Cabezal de Agarre	45
FIGURA N° 19: Variador de Velocidad FC302	50
FIGURA N° 20: CPU 315-2EH14-0AB0	51
FIGURA N° 21: Modulo de Entradas Digitales 322-1BH01-0AA0	52
FIGURA N° 22: Modulo de Salidas Digitales 322-1BH01-0AA0	53
FIGURA N° 23: HMI Schneider XBTGT 4330	54
FIGURA N° 24: Configuración del PLC	55

INTRODUCCIÓN

Las empresas en el mundo, hoy en día deben enfrentarse a situaciones cambiantes que hacen difícil mantenerse como ente económico, por esta razón lo más importante es mejorar continuamente en todos los aspectos que sea posible para reducir costos de Producción, incrementar la utilidad y ser empresas de clase mundial.

En la actualidad, las empresas de la Industria Manufacturera tienen la necesidad de ir a la vanguardia en sus procesos, es por ello que se ha empezado a implementar la Automatización Industrial en todas las líneas de envasado.

En el Perú, la Empresa Cervecera Backus, Planta San Mateo, no es ajena a estos cambios, motivo por el cual nos ha llevado a la investigación y proponer un Diseño de un Sistema de Supervisión y Control para automatizar la Encajonadora de Botellas de su Línea de Envasado, y de esta manera reducir gastos económicos, los cuales se deben a que esta máquina al no estar automatizada ocasiona pérdidas en la producción debido a fallas de máquinas y/o problemas operativos, costos de mantenimiento elevado debido a la rapidez de desgaste de piezas.

CAPITULO I

ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Planta San Mateo posee una máquina que sirve para encajonar las botellas que vienen de la etiquetadora, esta máquina posee 2 fallas (falla operativa y falla de máquina), la falla operativa se refiere cuando el operador ante una pérdida de la secuencia desconoce cómo continuar y/o finalizar la secuencia manualmente, la falla de máquina se refiere cuando se detiene la secuencia de encajonado y la máquina no se mueve ni siquiera manualmente, por ejemplo cuando falla una fotocelda, sensor inductivo, un relé, un guardamotor, etc. El tiempo de cada falla ya sea operativa o de máquina es registrado en el archivo de eficiencias de la línea de envasado, todos los meses se presentan fallas en la Encajonadora, lo cual genera bajas eficiencias de la línea e incumplimiento al plan de producción.

El tiempo empleado para la solución de las fallas operativas o de máquina se podrían minimizar si la Encajonadora estuviera automatizada, es decir si contará con un sistema de supervisión en el cual me muestre una alarma textual de porque se detuvo la máquina, la ubicación de esta falla y una posible solución a esta, adicionalmente si la máquina tuviera un sistema de control reduciríamos notablemente las fallas por relés, contactores, cableado, etc.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo Diseñar un Sistema de Supervisión y Control para automatizar la Encajonadora de Botellas de la Línea de Envasado, Planta San Mateo?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un Sistema de Supervisión y Control para automatizar la Encajonadora de Botellas de la Línea de Envasado, Planta San Mateo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Reducir el tiempo perdido por falla máquina en 30%
2. Reducir el tiempo perdido por falla operativa en 30%
3. Incrementar la producción de línea de envasado debido a la reducción del tiempo perdido por Fallas de Máquina y Operativa

4. Reducir el cableado del tablero de control en 60%
5. Identificar la mejor estructura y estrategia de Automatización y Control para lograr la operación óptima de la Encajonadora de Botellas.
6. Determinar y seleccionar los equipos del Sistema de Supervisión y Control para automatizar la Encajonadora de Botellas.
7. Realizar la Programación del PLC y HMI en base a la Lógica de Control requerida.
8. Diseñar los Planos Eléctricos del Sistema de Control.
9. Ampliar el tiempo de mantenimiento preventivo de los motores de 3 a 6 meses

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN:

Esta investigación es importante para la Planta San Mateo, debido a que al estar automatizada su Encajonadora de Botellas, se reducirán las paradas por falla de máquina y las paradas por operación deficiente. Actualmente el manejo de la Encajonadora lo realiza un operador mediante pulsadores ubicados en un pupitre cercano a la Encajonadora, toda la Lógica de Control de la Encajonadora se realiza mediante relés y contactores, estos dispositivos al poseer partes mecánicas traen como consecuencia fallas de máquina y por ende pérdida de producción, adicionalmente el cableado excesivo en el tablero de control dificulta la resolución de problemas que se puedan presentar.

Además, al ser la Encajonadora una máquina totalmente ciega en el sentido de que no posee un HMI, las paradas de máquina ya sea fallas operativas ó fallas de máquina propiamente dichas, toman demasiado tiempo en ser solucionadas, debido a que no se tiene una ayuda textual y/o visual de la ubicación de la falla, para poder ser solucionada en el menor tiempo posible.

Finalmente, los Motores al poseer solo arranque directo, el costo del mantenimiento preventivo y el consumo de energía es elevado, por tal razón se usará variadores de velocidad para incrementar el tiempo de Rampa de Aceleración y la Velocidad de la Encajonadora.

1.5. HIPOTESIS Y VARIABLES

1.5.1. FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS

¿Con el Diseño de un Sistema de Supervisión y Control para Automatizar la Encajonadora de Botellas, se obtendría una mayor producción y se detectaría fácilmente las fallas durante el proceso, en la Línea de Envasado, Planta San Mateo?

CAPITULO II
BASE TEÓRICA

2.1. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

2.1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Titulo	Automatización de un Holding Tank para controlar la Densidad de Pulpa previo al Proceso de Filtrado en la Extracción del Plomo
Autor	Shyla Quiroz Cárdenas
Universidad	Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo
Año	2012
Resumen	<p>El presente proyecto efectúa el diseño técnico y sustento económico de la Automatización de un holding tank, lo cual incluye el monitoreo y control de las variables tales como densidad, flujo y nivel.</p> <p>La Automatización estará basada en un Controlador Lógico Programable que permite un mejor control de todas las variables involucradas en el proceso, una Interfaz de Usuario Hombre-Máquina (HMI) para visualizar datos y el proceso en sí.</p> <p>El Proyecto se encuentra conformado básicamente en la búsqueda, identificación e interpretación del problema definido en esta investigación.</p> <p>El Proyecto concluye con la demostración de que implementando un Holding Tank Automático en una Planta de Extracción de Plomo se consigue optimizar el Proceso de Filtrado.</p>

Titulo	Automatización para el Mejoramiento de la Distribución de agua en la Subestación Repartidor La Puntilla - Distrito de Riego Chancay – Lambayeque
Autor	Marco Antonio Becerra Jiménez Sandra Lisette Aznaran Guevara
Universidad	Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo
Año	2006
Resumen	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de pérdida de materia prima (agua) de un 25% a un 10%; debido a la exactitud del posicionamiento de las compuertas tanto para apertura o cierre de estas. • Se obtiene una reducción de costos de operación y mantenimiento, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento. • Reducción de personal a un 50%. • Recuperación de la inversión empleada en corto tiempo. • Supervisión constante las 24 horas del día y almacenamiento de datos permanentes (en tiempo real). • Mejoramiento de la rentabilidad y ventaja competitiva de la empresa. • Modularidad y la flexibilidad del hardware empleado, lo cual permite extender esta solución a otros proyectos de automatización similares.

Titulo	Diseño y Simulación del Sistema de Automatización y Control del Proceso de Floculación para una Planta de Tratamiento de Agua Potable utilizando Protocolo de Comunicación Can open
Autor	
Universidad	Universidad Tecnológica de Pereira
Año	2012
Resumen	<p>Este trabajo se ha realizado con el objetivo principal de mejorar sustancialmente uno de los procesos más importantes en el campo de la industria como lo son las plantas de tratamiento de agua y en nuestro caso particular la etapa de floculación que es donde se aglutinan las partículas contaminantes del agua mediante un proceso de agitación para posteriormente ser retiradas tras una fase de sedimentación.</p> <p>Gracias a la implementación de la automatización de procesos industriales se diseñará un sistema centralizado en donde se controlarán las condiciones de operación de cada uno de los motores que componen los agitadores y se supervisarán las variables de estado más representativas del proceso a través de una red de comunicación industrial y así lograr una operación óptima del sistema.</p>

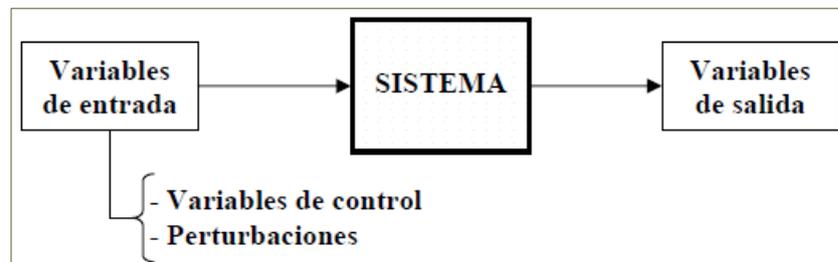
2.2. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS

2.2.1. ¿QUÉ ES UN SISTEMA DE CONTROL?

Puede definirse conceptualmente como un ente que recibe unas acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida.

Las acciones externas al sistema se dividen en dos grupos, variables de control, que se pueden manipular, y perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control. La Figura siguiente ilustra de un modo conceptual el funcionamiento de un sistema en general.

Figura N° 01: Esquema General de un Sistema



Fuente: Internet

Dentro de los sistemas se encuentra el concepto de sistema de control. Un sistema de control es un tipo de sistema que se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados (consigna).

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

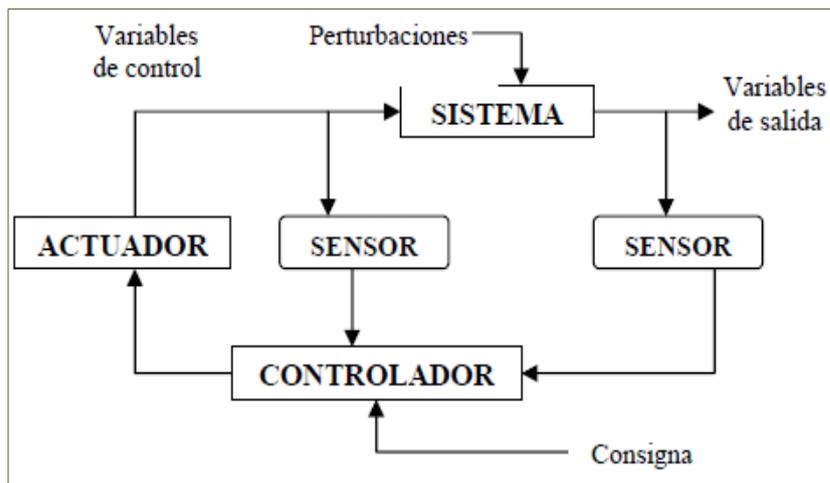
1. Garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.
2. Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.

3. Ser fácilmente implementable y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- **Sensores.** Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.
- **Controlador.** Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- **Actuador.** Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

Figura N° 02: Esquema General de un Sistema de Control



Fuente: Internet

2.2.2. TIPOS SISTEMAS DE CONTROL

Existen múltiples criterios para clasificar los distintos tipos de sistemas de control, los tres criterios esenciales son:

- Las variables consideradas
- La estrategia de control
- Los métodos de diseño

A) VARIABLES CONSIDERADAS

En un sistema de control, se consideran cuatro grupos de variables. Las perturbaciones, las variables controladas, las variables de control y las variables medidas.

LAS PERTURBACIONES:

Son generalmente desconocidas. Normalmente, estas perturbaciones no se pueden medir, pero sus efectos sobre las variables medidas permiten detectar su presencia. La utilización de un sistema de lazo cerrado permite corregir los problemas derivados de la presencia de perturbaciones en el sistema.

LAS VARIABLES CONTROLADAS:

Son aquellas sobre las que se aplican los valores de consigna.

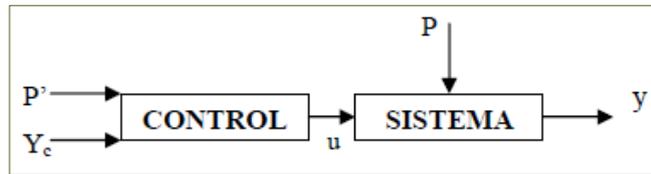
B) ESTRATEGIA DE CONTROL

La estrategia de control hace referencia a la naturaleza y la dirección de los lazos existentes entre las variables medidas y/o controladas y las variables de control. Se distinguen dos tipos de estrategias en función de la naturaleza, lazo abierto y lazo cerrado.

LAZO ABIERTO:

La acción de control se calcula conociendo la dinámica del sistema, las consignas y estimando las perturbaciones. Esta estrategia de control puede compensar los retrasos inherentes del sistema anticipándose a las necesidades del usuario. Sin embargo, el lazo abierto generalmente es insuficiente, debido a los errores del modelo y a los errores en la estimación de las perturbaciones. Por ello, es común la asociación de lazo cerrado-lazo abierto, de modo que el lazo cerrado permite compensar los errores generados por el lazo abierto.

Figura N° 03: Control Lazo Abierto



P:
perturbaciones

P':
perturbaciones
estimadas

y: variable
controlada

Y_c: consigna

u: acción de
control

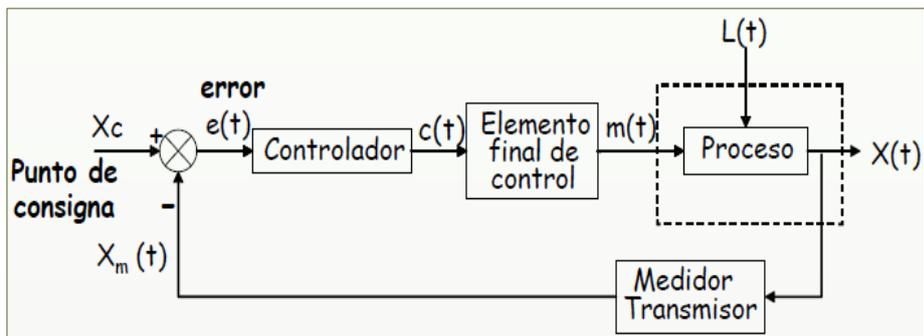
Fuente: Internet

LAZO CERRADO:

La acción de control se calcula en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada. Las perturbaciones, aunque sean desconocidas son consideradas indirectamente mediante sus efectos sobre las variables de salida.

Este tipo de estrategia de control puede aplicarse sea cual sea la variable controlada. La gran mayoría de los sistemas de control que se desarrollan en la actualidad son en lazo cerrado.

Figura N° 04: Control Lazo Cerrado



Fuente: Internet

2.3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL

2.3.1. SENSORES

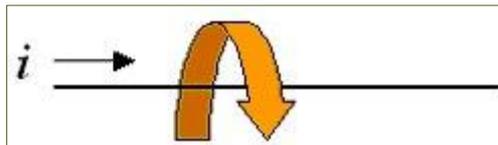
A) SENSORES INDUCTIVOS

Los sensores inductivos son una clase especial de sensores que sirve para detectar materiales ferrosos. Son de gran utilización en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos en un determinado contexto: detección de paso, de atasco, de codificación y de conteo.

CONCEPTOS TEORICOS

Una corriente (i) que circula a través de un hilo conductor, genera un campo magnético que está asociado a ella.

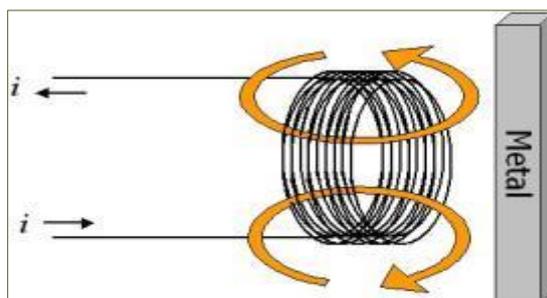
Figura N° 05: Como se genera un campo magnético



Fuente: Internet

Los sensores de proximidad inductivos contienen un devanado interno. Cuando una corriente circula por el mismo, un campo magnético es generado, que tiene la dirección de las flechas anaranjadas. Cuando un metal es acercado al campo magnético generado por el sensor de proximidad, éste es detectado.

Figura N° 06: Campo magnético en sensor de proximidad



Fuente: Internet

La bobina, o devanado, del sensor inductivo induce corrientes de Foucault en el material por detectar. Estas, a su vez, generan un campo magnético que se opone al de la bobina del sensor, causando una reducción en la inductancia de la misma. Esta reducción en la inductancia de la bobina interna del sensor trae aparejado una disminución en la impedancia de ésta.

La inductancia es un valor intrínseco de las bobinas o inductores, que depende del diámetro de las espiras y el número de ellas. En sistemas de corriente alterna, la reactancia inductiva se opone al cambio del sentido de la corriente y se calcula de la siguiente manera:

$$X_L = 2 \pi f L$$

Dónde:

X_L = Reactancia Inductiva, medida en Homs

F = Frecuencia del Sistema, medida en Herz

L = Inductancia, medida en Henrios

El oscilador podrá generar nuevamente el campo magnético con su amplitud normal. Es en este momento en que el circuito detector nuevamente detecta este cambio de impedancia y envía una señal al amplificador de salida para que sea éste quien, nuevamente, restituya el estado de la salida del sensor.

Si el sensor tiene una configuración "Normal Abierta", este activará la salida cuando el metal a detectar ingrese en la zona de detección. Lo opuesto ocurre cuando el sensor tiene una configuración "Normal Cerrada". Estos cambios de estado son evaluados por unidades externas tales como: PLCss, relés, PCs, etc.

ESTADOS DE UN SENSOR INDUCTIVO

En función de la distancia entre el sensor y el objeto, el primero mantendrá una señal de salida:

1.- Objeto a detectar ausente:

Amplitud de oscilación al máximo, sobre el nivel de operación; la salida se mantiene inactiva (OFF).

2.- Objeto a detectar acercándose a la zona de detección:

Se producen corrientes de Foucault, por tanto hay una “transferencia de energía”; el circuito de detección detecta una disminución de la amplitud, la cual cae por debajo del nivel de operación; la salida es activada (ON).

3.- Objeto a detectar se retira de la zona de detección:

Eliminación de corrientes de Foucault; el circuito de detección detecta el incremento de la amplitud de oscilación; como la salida alcanza el nivel de operación, la misma se desactiva (OFF).

SENSORES BLINDADOS

Los blindados tienen un agregado al núcleo y un blindaje metálico que limita el campo magnético al frente del sensor.

Características:

- Enrasables.
- Especiales para posicionamiento.
- Distancias más cortas de detección.
- Sensado limitado al frente del sensor.

SENSORES NO BLINDADOS

Los no blindados no tienen blindaje extra, resultando en un área de sensado mayor.

Características:

- No enrasables.
- Detección de presencia.
- Distancias más grandes de detección.

HISTÉRESIS

Se denomina histéresis, a la diferencia entre la distancia de activación y desactivación. Cuando un objeto metálico se acerca al sensor inductivo, éste lo detecta a la "distancia de detección" o "distancia de sensado".

Cuando el mismo objeto es alejado, el sensor no lo deja de detectar inmediatamente, sino cuando alcanza la "distancia de reset" o "distancia de restablecimiento", que es igual a la "distancia de detección" más la histéresis propia del sensor.

DISTANCIA DE SENSADO

La Distancia de Sensado (S_n), especificada en la hoja de datos de un sensor inductivo está basada en un objeto de estándar con medidas de 1" x 1" de hierro dulce. Este valor variará sensiblemente si se quiere detectar otros tipos de metales, incluso con materiales ferrosos como el acero inoxidable (SS). Para otros no ferrosos, como el aluminio, pueden ser detectados, pero a menores distancias.

CONSIDERACIONES GENERALES

- La superficie del objeto a detectar no debe ser menor que el diámetro del sensor de proximidad (preferentemente 2 veces más grande que el tamaño o diámetro del sensor). Si fuera menor que el 50% del diámetro del sensor, la distancia de detección disminuye sustancialmente.
- Debido a las limitaciones de los campos magnéticos, los sensores inductivos tienen una distancia de detección pequeña comparados con otros tipos de sensores. Esta distancia puede variar, en función del tipo de sensor inductivo, desde fracciones de milímetros hasta 40 mm en promedio.
- Para compensar el limitado rango de detección, existe una extensa variedad de formatos de sensores inductivos: cilíndricos, chatos, rectangulares, etc.
- Los sensores inductivos cilíndricos son los más usuales en las aplicaciones presentes en la industria.
- Posibilidad de montar los sensores tanto enrasados como no enrasados.
- Gracias a no poseer partes móviles los sensores de proximidad no sufren en exceso el desgaste.
- Gracias a las especiales consideraciones en el diseño, y al grado de protección IP67, muchos sensores inductivos pueden trabajar en

ambientes adversos, con fluidos corrosivos, aceites, etc., sin perder operatividad.

TERMINOLOGIA

Alcance Nominal (Sn):

Alcance convencional que sirve para designar el aparato. No tiene en cuenta las dispersiones (fabricación, temperatura, tensión).

Alcance Real (Sr):

El alcance real se mide con la tensión de alimentación asignada (U_n) y a la temperatura ambiente asignada (T_n). Debe estar comprendida entre el 90% y el 110% del alcance real (S_n): $0,9S_n < S_r < 1,1S_n$

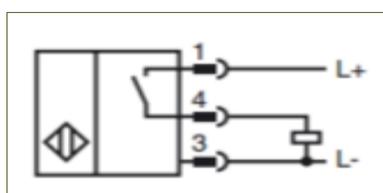
Alcance Útil (Su):

El alcance útil se mide dentro de los límites admisibles de la temperatura ambiente (T_a) y de la tensión de la alimentación (U_b). Debe estar comprendida entre el 90% y el 110% del alcance real: $0,9S_r < S_u < 1,1S_r$

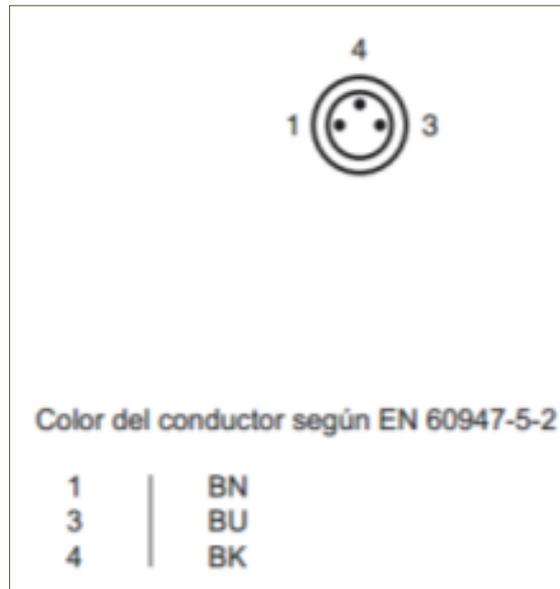
Alcance de Trabajo (Sa):

Es el campo de funcionamiento del aparato. Está comprendido entre el 0 y el 81% del alcance nominal (S_n): $0 < S_a < 0,9 \times 0,9 S_n$

CONEXIÓN ELECTRICA



PINADO



B) sensores FOTOELECTRICOS

Un sensor fotoeléctrico o fotocélula, es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que percibe la luz generada por el emisor. Todos los diferentes modos de sensado se basan en este principio de funcionamiento. Están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas.

Los sensores de luz se usan para detectar el nivel de luz y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Un sensor de luz incluye un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica y puede incluir electrónica para condicionamiento de la señal, compensación y formateo de la señal de salida.

El sensor de luz más común es el LDR -Light Dependant Resistor o Resistor dependiente de la luz-. Un LDR es básicamente un resistor que cambia su resistencia cuando cambia la intensidad de la luz. Existen tres tipos de sensores fotoeléctricos, los sensores por barrera de luz, reflexión sobre espejo o reflexión sobre objetos.

CONCEPTOS TEORICOS

Espectro Electromagnético. Atendiendo a su longitud de onda, la radiación electromagnética recibe diferentes nombres. Desde los energéticos rayos gamma (con una longitud de onda del orden de picómetros) hasta las ondas de radio (longitudes de onda del orden de varios kilómetros) pasando por la luz visible cuya longitud de onda está en el rango de las décimas de micra. El rango completo de longitudes de onda forma el espectro electromagnético, del cual la luz visible no es más que un minúsculo intervalo que va desde la longitud de onda correspondiente al violeta (380 nm) hasta la longitud de onda del rojo (780 nm). Los colores del espectro se ordenan como en el arco iris, formando el llamado espectro visible. Si hablamos de luz en sentido estricto nos referimos a radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda es capaz de captar el ojo humano, pero técnicamente, el ultravioleta, las ondas de radio o las microondas también son luz, pues la única diferencia con la luz visible es que su longitud de onda queda fuera del rango que podemos detectar con nuestros ojos; simplemente son "colores" que nos resultan invisibles, pero podemos detectarlos mediante instrumentos específicos.

Hoy en día la mayoría de los sensores fotoeléctricos utilizan ledes como fuentes de luz. Un led es un semiconductor, eléctricamente similar a un diodo, pero con la característica de que emite luz cuando una corriente circula por él en forma directa. Los ledes pueden ser construidos para que emitan en verde, azul, amarillo, rojo, infrarrojo, etc. Los colores más comúnmente usados en aplicaciones de detección son rojo e infrarrojo, pero en aplicaciones donde se necesite detectar contraste, la elección del color de emisión es fundamental, siendo el color más utilizado el verde.

Los fototransistores son los componentes más ampliamente usados como receptores de luz, debido a que ofrecen la mejor relación entre la sensibilidad a la luz y la velocidad de respuesta, comparado con los componentes fotorresistivos, además responden bien ante luz visible e infrarroja. Las fotocélulas son usadas cuando no es necesaria una gran sensibilidad, y se utiliza una fuente de luz visible. Por otra parte los fotodiodos donde se requiere una extrema velocidad de respuesta.

TIPOS DE SENSORES FOTOELECTRICOS

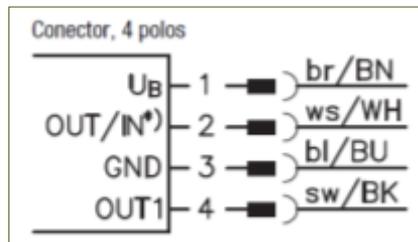
1. REFLEXIÓN SOBRE ESPEJO

Tienen el componente emisor y el componente receptor en un solo cuerpo, el haz de luz se establece mediante la utilización de un reflector catadi-óptico. El objeto es detectado cuando el haz formado entre el componente emisor, el reflector y el componente receptor es interrumpido. Debido a esto, la detección no es afectada por el color del mismo. La ventaja de las barreras réflex es que el cableado es en un solo lado, a diferencia de las barreras emisor-receptor que es en ambos lados.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

Las fotocélulas de reflexión sobre objeto se componen únicamente de un emisor y un receptor montados bajo una misma carcasa, por lo que el montaje es sencillo y rápido. En estas fotocélulas el haz de luz recorre dos veces la distancia de detección y además el objeto puede ser de reflectividad baja, por lo que sólo se consiguen distancias de detección pequeñas (por lo general menos de un metro).

CONEXIÓN ELECTRICA



2.3.2. GUARDAMOTORES

Un guardamotor es un interruptor magnetotérmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos. Este diseño especial proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobrintensidades transitorias típicas de los arranques de los motores. El disparo magnético es equivalente al de otros interruptores automáticos pero el disparo térmico se produce con una intensidad y tiempo mayores. Su curva característica se denomina D o K. Las características principales de los guardamotores, son la capacidad de ruptura, la intensidad nominal o calibre y la curva de disparo.

Proporciona protección frente a sobrecargas del motor y cortocircuitos, así como, en algunos casos, frente a falta de fase, los guardamotores son regulables.

Figura N° 07: Guardamotores



Fuente: Internet

2.3.3. VARIADORES DE VELOCIDAD

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive), es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

Un Variador de Frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de velocidad son dispositivos electrónicos que permiten

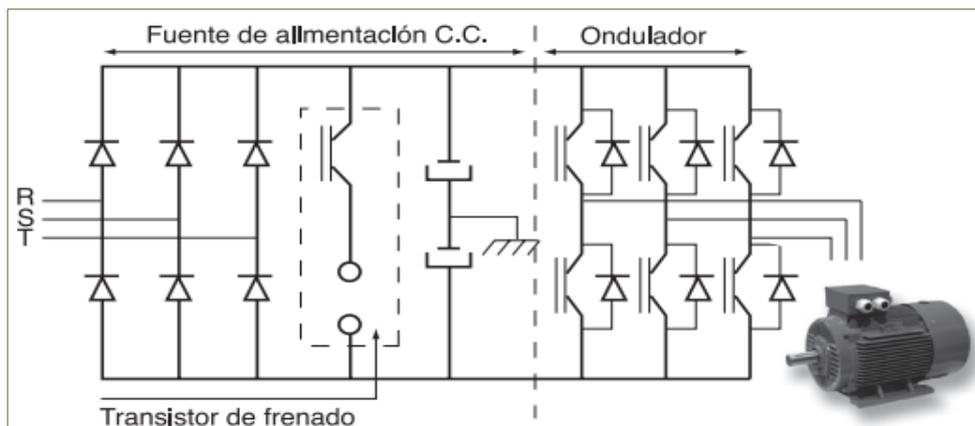
variar la velocidad y la cupla de los motores asincrónicos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

- Dominio de par y la velocidad
- Regulación sin golpes mecánicos
- Movimientos complejos
- Mecánica delicada

Los Variadores de Velocidad que rectifican la tensión alterna de red (monofásica o trifásica), y por medio de seis transistores trabajando en modulación de ancho de pulso generan una corriente trifásica de frecuencia y tensión variable. Un transistor más, llamado de frenado, permite direccionar la energía que devuelve el motor (durante el frenado regenerativo) hacia una resistencia exterior.

A continuación, se muestra un Diagrama Electrónico Típico:

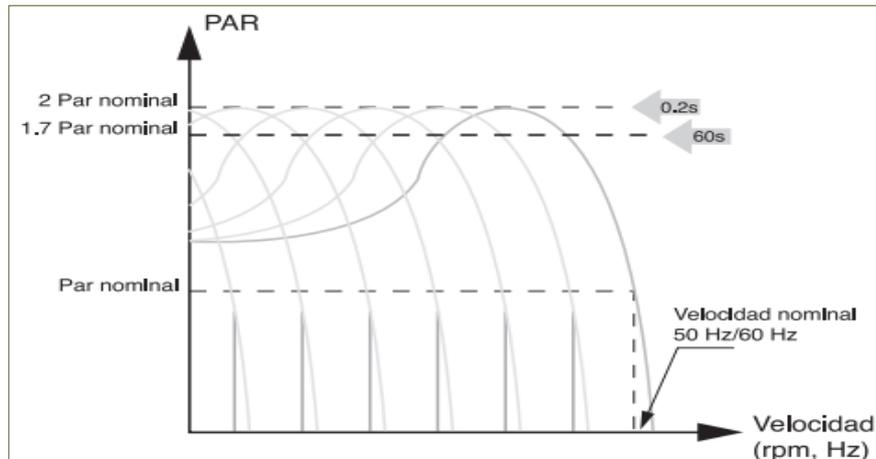
Figura N° 08: Diagrama Electrónico del Variador de Velocidad.



Fuente: <http://www.schneider-electric.com.ar>

La estrategia de disparo de los transistores del ondulator es realizada por un microprocesador que, para lograr el máximo desempeño del motor dentro de todo el rango de velocidad, utiliza un algoritmo de control vectorial de flujo. Este algoritmo por medio del conocimiento de los parámetros del motor y las variables de funcionamiento (tensión, corriente, frecuencia, etc.), realiza un control preciso del flujo magnético en el motor manteniéndolo constante independientemente de la frecuencia de trabajo. Al ser el flujo constante, el par provisto por el motor también lo será.

Figura N° 09: Grafica Par - Velocidad.



Fuente: <http://www.schneider-electric.com.ar>

En el gráfico se observa que desde 1Hz hasta los 50 Hz el par nominal del motor está disponible para uso permanente, el 170% del par nominal está disponible durante 60 segundos y el 200% del par nominal está disponible durante 0,2 seg.

A. SELECCIÓN DEL VARIADORES DE VELOCIDAD

Para definir el equipo más adecuado para resolver una aplicación de variación de velocidad, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- **Tipo de Carga:** Par constante, par variable, potencia constante, cargas por impulsos.
- **Tipo de Motor:** De inducción rotor jaula de ardilla o bobinado, corriente y potencia nominal, factor de servicio, rango de voltaje.
- **Rangos de Funcionamiento:** Velocidades máximas y mínimas. Verificar necesidad de ventilación forzada del motor.
- **Par en el Arranque:** Verificar que no supere los permitidos por el variador. Si supera el 170% del par nominal es conveniente sobredimensionar al variador.
- **Frenado Regenerativo:** Cargas de gran inercia, ciclos rápidos y movimientos verticales requieren de resistencia de frenado exterior.

- Condiciones Ambientales: Temperatura ambiente, humedad, altura, tipo de gabinete y ventilación.
- Consideraciones de la Red: Micro interrupciones, fluctuaciones de tensión, armónicas, factor de potencia, corriente de línea disponible, transformadores de aislamiento.
- Consideraciones de la Aplicación: Protección del motor por sobre temperatura y/o sobrecarga, contactor de aislamiento, bypass, re arranque automático, control automático de la velocidad.
- Aplicaciones Especiales: Compatibilidad electromagnética, ruido audible del motor, bombeo, ventiladores y sopladores, izaje, motores en paralelo, etc.

B. RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN

- Cableado:
 - En los cables de control, utilizar cable trenzado y blindado para los circuitos de consigna.
 - Debe haber una separación física entre los circuitos de potencia y los circuitos de señales de bajo nivel.
 - Cables con la menor longitud posible.
 - El variador debe estar lo más cerca posible del motor.
- Gabinete:
 - Metálico o al menos en una bandeja metálica conectada a la barra de tierra. En los manuales de uso de los variadores se hacen las recomendaciones en cuanto al tamaño.
- Ventilación:
 - Debe estar de acuerdo al calor disipado por el equipo a potencia nominal. Se proveen, como opcionales, ventiladores adicionales y kits de montaje de ventilación que garantizan una protección IP4 sin perder la posibilidad de una buena disipación.

- Puesta a tierra:
 - La tierra debe ser de buena calidad y con conexiones de baja impedancia. Se deberá realizar la conexión a tierra de todas las masas de la instalación, así como las carcasas de los motores eléctricos.

C. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de AC suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$RPM = 120 \frac{f}{p}$$

Dónde:

f : Frecuencia del Suministro AC

p : Numero de polos

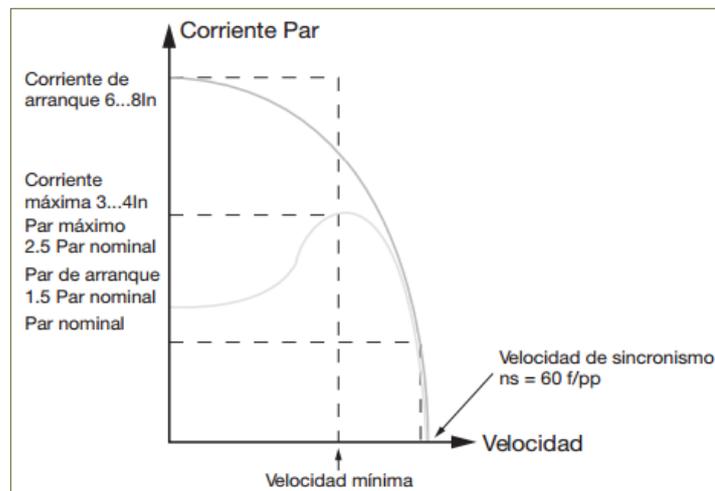
Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en Motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada, resultarían en 3600 RPM, 1800 RPM, 1200 RPM y 900 RPM respectivamente para motores sincrónicos únicamente, y a la frecuencia de 60 Hz.

2.3.4. MOTORES AC

Los Variadores de Velocidad están preparados para trabajar con motores trifásicos asincrónicos de rotor jaula. La tensión de alimentación del motor no podrá ser mayor que la tensión de red.

A tensión y frecuencia de placa del motor se comporta de acuerdo al gráfico siguiente:

Figura N° 10: Curva Par - Velocidad.



Fuente: <http://www.schneider-electric.com.ar>

2.3.5. AUTÓMATAS PROGRAMABLES (PLC's)

A) INTRODUCCIÓN

El Controlador Lógico Programable (PLC), nació como solución al control de circuitos complejos de automatización. Por lo tanto, se puede decir que un PLC no es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos.

A él se conectan los captadores (finales de carrera, pulsadores, etc.) por una parte, y los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, pequeños receptores, etc.) por otra.

Los PLC se introdujeron por primera vez en la industria en 1960 aproximadamente. La razón principal de tal hecho fue la necesidad de eliminar el gran costo que se producía al reemplazar el complejo sistema de control basado en relees y contactores.

Bedford Associates propuso algo denominado Controlador Digital Modular (MODICON, Modular Digital Controller) a un gran fabricante de coches. Otras compañías propusieron a la vez esquemas basados en ordenador, uno de los cuales estaba basado en el PDP-8. El MODICON 084 (Schneider) resultó ser el primer PLC del mundo en ser producido comercialmente.

El problema de los relés era que cuando los requerimientos de producción cambiaban también lo hacía el sistema de control. Esto

comenzó a resultar bastante caro cuando los cambios fueron frecuentes. Dado que los relés son dispositivos mecánicos y poseen una vida limitada se requería un estricto mantenimiento planificado. Por otra parte, a veces se debían realizar conexiones entre cientos o miles de relés, lo que implicaba un enorme esfuerzo de diseño y mantenimiento.

Los "nuevos controladores" debían ser fácilmente programables por ingenieros de planta o personal de mantenimiento. El tiempo de vida debía ser largo y los cambios en el programa tenían que realizarse de forma sencilla. Finalmente se imponía que trabajaran sin problemas en entornos industriales adversos. La solución fue el empleo de una técnica de programación familiar y reemplazar los relés mecánicos por relés de estado sólido.

Las habilidades de comunicación comenzaron a aparecer en 1973 aproximadamente. El primer sistema fue el bus Modicon (Modbus). El PLC podía ahora dialogar con otros PLC y en conjunto podían estar aislados de las máquinas que controlaban. También podían enviar y recibir señales de tensión variables, entrando en el mundo analógico. Desafortunadamente, la falta de un estándar acompañado con un continuo cambio tecnológico ha hecho que la comunicación de PLC sea un maremagnum de sistemas físicos y protocolos incompatibles entre sí. No obstante, fue una gran década para los PLC.

En los 80 se produjo un intento de estandarización de las comunicaciones con el protocolo MAP (Manufacturing Automation Protocol) de General Motor's. También fue un tiempo en el que se redujeron las dimensiones del PLC y se pasó a programar con programación simbólica a través de ordenadores personales en vez de los clásicos terminales de programación. Hoy día el PLC más pequeño es del tamaño de un simple rele.

Los 90 han mostrado una gradual reducción en el número de nuevos protocolos, y en la modernización de las capas físicas de los protocolos más populares que sobrevivieron a los 80. El último estándar (IEC 1131-3) intenta unificar el sistema de programación de todos los PLC en un único estándar internacional. Ahora disponemos de PLC's que pueden ser programados en diagramas de bloques, lista de instrucciones y texto estructurado al mismo tiempo.

B) CAMPOS DE APLICACIÓN

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc. Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.
- Ejemplos de aplicaciones generales:
 - Maniobra de máquinas
 - Maquinaria industrial de plástico
 - Máquinas transfer
 - Maquinaria de embalajes
 - Maniobra de instalaciones: instalación de aire acondicionado, calefacción
 - Instalaciones de seguridad
 - Señalización y control

Tal y como dijimos anteriormente, esto se refiere a los Controlador Lógico Programable industriales, dejando de lado los pequeños PLC para uso más personal (que se pueden emplear, incluso, para automatizar procesos en el hogar, como la puerta de una cochera o las luces de la casa).

C) VENTAJAS E INCONVENIENTES

Sabemos que no todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones obligan a referirse a las ventajas que proporciona un autómata de tipo medio.

VENTAJAS

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos, debido a que no es necesario dibujar previamente el esquema de contactos, es preciso simplificar las ecuaciones lógicas, ya que por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio del tablero donde se instala el autómata programable.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

INCONVENIENTES

- Como inconvenientes podríamos hablar, en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido. Esta capacitación puede ser tomada en distintos cursos, inclusive en universidades.
- El costo inicial.

D) MODO DE FUNCIONAMIENTO

Los Controladores Lógicos Programables son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la planta (aplicación): al detectarse cambios en las señales, el autómata reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias.

Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

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

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

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

La Estructura Básica de un PLC está compuesta por:

- La CPU.
- Las Interfaces de Entradas.
- Las Interfaces de Salidas.

ESTRUCTURA EXTERNA

El término estructura externa o configuración externa de un Controlador Lógico programable industrial se refiere al aspecto físico exterior del mismo, bloques o elementos en que está dividido. Actualmente son tres las estructuras más significativas que existen en el mercado:

- Estructura Compacta.
- Estructura Semimodular. (Estructura Americana).
- Estructura Modular. (Estructura Europea).

Estructura Compacta

Este tipo de Controlador Lógico Programable se distingue por presentar en un solo bloque todos sus elementos, esto es, fuente de alimentación, CPU, memorias, entradas/salidas, etc. Son los PLC de gama baja o Nanoautómatas los que suelen tener una Estructura Compacta. Su potencia de proceso suele ser muy limitada dedicándose a controlar máquinas muy pequeñas o cuadros de mando.

Estructura Semimodular

Se caracteriza por separar las E/S del resto del Controlador Lógico Programable, de tal forma que en un bloque compacto están reunidas las CPU, memoria de usuario o de programa y fuente de alimentación y separadamente las unidades de E/S.

Son los Controlador Lógico Programable de gama media los que suelen tener una Estructura Semimodular (Americana).

Estructura Modular

Su característica principal es la de que existe un módulo para cada uno de los diferentes elementos que componen el PLC como puede ser una fuente de alimentación, CPU, E/S, etc. La sujeción de los mismos se hace por riel DIN, placa perforada o sobre RACK, en donde van alojado el BUS externo de unión de los distintos módulos que lo componen. Son los PLC de gama alta los que suelen tener una Estructura Modular, que permiten una gran flexibilidad en su constitución.

UNIDAD DE PROGRAMACIÓN

Es el conjunto de medios, hardware y software mediante los cuales el programador introduce y depura sobre las secuencias de instrucciones (en uno u otro lenguaje) que constituyen el programa a ejecutar. Esta puede

estar constituida por un teclado pequeño adosable al controlador, donde cada tecla responderá a un elemento del circuito/programa a desarrollar.

FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema. La alimentación a la CPU puede ser de continua a 24 Vcc, tensión muy frecuente en cuadros de distribución, o en alterna a 110 / 220 Vca. En cualquier caso, es la propia CPU la que alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno. La alimentación a los circuitos E/S puede realizarse, según tipos, en alterna a 48/110/220 Vca o en continua a 12/24/48 Vcc.

La fuente de alimentación del Controlador Lógico Programable puede incorporar una batería de reserva, que se utiliza para el mantenimiento de algunas posiciones internas y del programa usuario en memoria RAM, o cuando falla la alimentación o se apaga el Controlador Lógico Programable.

UNIDAD CENTRAL DE PROCESO

La CPU (Central Processing Unit) es la parte inteligente del sistema. Interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las entradas. Dependiendo de dichos estados y del programa, ordena la activación de las salidas deseadas. La CPU está constituida por los siguientes elementos:

- Procesador
- Memoria monitor del sistema
- Circuitos auxiliares

Procesador

Está constituido por el microprocesador, el reloj (generador de onda cuadrada) y algún chip auxiliar. El Microprocesador es un circuito integrado (chip), que realiza una gran cantidad de operaciones, que podemos agrupar en:

- Operaciones de tipo lógico
- Operaciones de tipo aritmético.
- Operación de lectura y modificación de datos.
- Operaciones de entrada - salida
- Operaciones de control de la transferencia de la información dentro del autómeta.

INTERFACES

En el control de un proceso automatizado, es imprescindible un dialogo entre operador-máquina junto con una comunicación entre la máquina y el Controlador Lógico Programable, estas comunicaciones se establecerán por medio del conjunto de entradas y salidas del citado elemento.

Todas las señales provenientes del campo son informadas a la CPU, luego de ser tomadas por los captore de entradas, y a su vez, las órdenes generadas por la CPU son comunicadas a los elementos del proceso bajo control por medio de las interfaces de salida. Los Controlador Lógico Programable son capaces de manejar tensiones y corrientes de nivel industrial, gracias a que disponen un bloque de circuitos de interfaz de E/S muy potente, que les permite conectarse directamente con los sensores y accionamientos del proceso.

En los controladores más sencillos, las interfaces de entrada se encargan de convertir la tensión o la corriente que reciben de los sensores, límites de carrera, pulsadores, llaves, etc., en niveles apropiados para la operación de la CPU. De la misma manera las interfaces de salida permiten partiendo de las señales de baja tensión originadas en la CPU, comandar contactores, solenoides de válvulas, arrancadores de motores, valiéndose de diacs, triacs, reles etc. Las señales digitales o discretas como los interruptores, son simplemente una señal de 1 ó 0, Verdadero o Falso, respectivamente. Los interruptores son ejemplos de dispositivos que proporcionan una señal discreta, que son enviadas usando la tensión o la intensidad, donde un rango específico corresponderá al On y otro rango al Off. Un PLC puede utilizar 24V de corriente continua en la E/S donde valores superiores a 22V representan un On, y valores inferiores a 2V representan Off.

Inicialmente los PLC solo tenían E/S discretas. A medida que la complejidad de los PLC aumenta, es necesario contar con otro tipo de interfaces que puedan interpretar señales analógicas provenientes del proceso y emitirlas como salidas. Las señales analógicas son como controles de volúmenes, con un rango de valores entre 0 y el tope de escala. Esto es normalmente interpretado con valores enteros por el PLC, con varios rangos de precisión dependiendo del dispositivo o del número de bits disponibles para almacenar los datos. Presión, temperatura, flujo, y peso son normalmente representados por señales analógicas.

Las señales analógicas pueden usar tensión o intensidad con una magnitud proporcional al valor de la señal que procesamos. A medida que los requerimientos de control se hacen más complicados, aparecen los sistemas inteligentes, periféricos cuentan con un microprocesador propio, que descargan en parte el trabajo de la CPU, para hacer más rápida la ejecución del programa del usuario. Estas interfaces inteligentes pueden manipular datos, resolver ecuaciones aritméticas, comparaciones, conteos de alta velocidad. Las interfaces especiales del primer grupo se caracterizan por no influir en las variables de estado del proceso de automatización. Únicamente se encargan de adecuar las E/S, para que puedan ser inteligibles por la CPU, si son entradas, o para que puedan ser interpretadas correctamente por actuadores (motores, cilindros, etc.), en el caso de las salidas. Las del segundo grupo admiten múltiples modos de configuración, por medio de unas combinaciones binarias situadas en la misma tarjeta. De esta forma se descarga de trabajo a la unidad central, con las ventajas que conlleva.

ENTRADAS - SALIDAS

La Sección de Entradas mediante el interfaz, adapta y codifica de forma comprensible para la CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captadores.

Hay dos tipos de entradas:

- Entradas Digitales
- Entradas Analógicas

La Sección de Salida también mediante interfaz trabaja de forma inversa a las entradas, es decir, decodifica las señales procedentes de la CPU, y las amplifica y manda con ellas los dispositivos de salida o actuadores como lámparas, relees... aquí también existen unos interfaces de adaptación a las salidas de protección de circuitos internos.

Hay dos tipos de Salidas:

- Salidas Digitales
- Salidas Analógicas

ENTRADAS Y SALIDAS DISCRETAS

Estas interfaces tienen la simple función de informar a la CPU, de la presencia o ausencia de señal, tensión o corriente, en un circuito, apertura o cierre de un contacto, pulsador, límite de carrera, etc. En el caso de las salidas estas conectan o desconectan al circuito de actuación de un solenoide, contactor, lámpara, etc. Las interfaces discretas abarcan un rango muy amplio de opciones de operación. Un contacto externo al controlador puede estar conectado a distintos voltajes, según la máquina o proceso lo mismo para otro tipo de captor.

Existen entonces interfaces para corriente alterna, corriente continua y a su vez para distintos niveles y tipos de tensiones que van desde los cinco voltios hasta niveles industriales. Las interfaces de entrada-salida suelen estar construidas de forma de módulos que se alojan en bases de montaje, controladores modulares, o bien formando parte del controlador, compactos.

Tanto las entradas como las salidas pueden contener un borne común, para varias de ellas o bien estar dispuestas en forma individual aisladas entre sí. Los módulos de entrada digitales permiten conectar al Controlador Lógico Programable de tipo todo o nada como finales de carrera pulsadores, llaves, etc. Los módulos de entrada digitales trabajan con señales de tensión, por ejemplo, cuando por una vía llegan 24 voltios se interpreta como un "1" y cuando llegan cero voltios se interpreta como un "0"

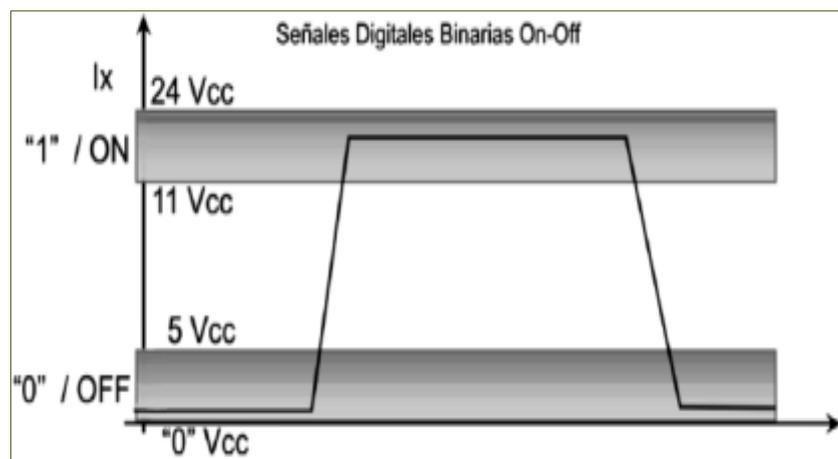
- El proceso de adquisición de la señal digital consta de varias etapas.
- Protección contra sobre tensiones

- Filtrado
- Puesta en forma de la onda
- Aislamiento galvánico o por opto acoplador.

ENTRADAS DISCRETAS

También llamadas binarias u “on-off”, son las que pueden tomar sólo dos estados: encendido o apagado, estado lógico 1 ó 0. Los módulos de entradas digitales trabajan con señales de tensión. Cuando por un borne de entrada llega tensión, se interpreta como “1” y cuando llega cero tensiones se interpreta como “0”. Existen módulos o interfaces de entradas de corriente continua para tensiones de 5, 12, 24 ó 48 Vcc y otros para tensión de 110 ó 220 Vca.

Figura N° 11: Señales Digitales Binarias

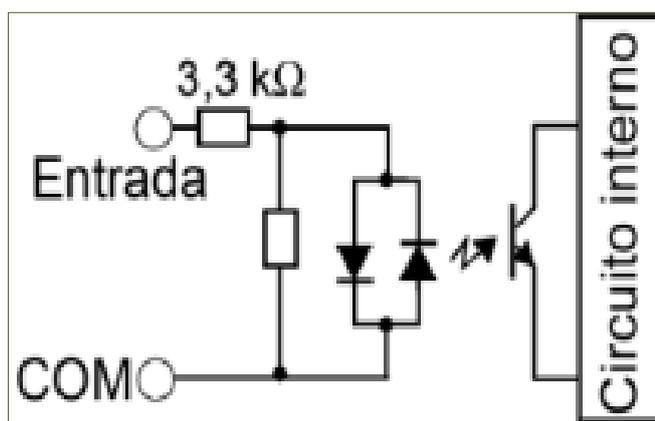


Fuente: Internet

Los PLC modernos tienen módulos de entrada que permiten conectar dispositivos con salida PNP o NPN en forma indistinta.

La diferencia entre dispositivos con salida PNP o NPN es como la carga (en este caso la carga es la entrada del PLC) está conectada con respecto al neutro o al positivo.

Figura N° 12: Entrada de común positivo o negativo estándar



Fuente: Internet

SALIDAS DISCRETAS

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

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

En los Módulos Estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relees internos al módulo. Los módulos de salidas estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre elementos que trabajan todos a la misma tensión, en cambio los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas.

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

- Puesta en forma
- Aislamiento
- Circuito de mando (rele interno)
- Protección electrónica
- Tratamiento cortocircuitos

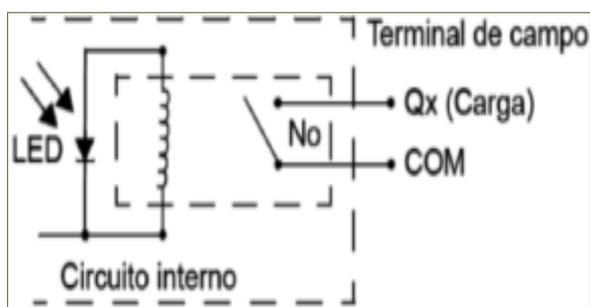
Las Interfaces de Salida Discretas son similares, la señal de activación originada por la CPU, es pasada por una optoaislación, seguida por un circuito que se encarga de disparar el elemento final de salida, reles, triacs, bobina, transistor de potencia, etc., existe además un elemento de protección contra sobrecargas o cortocircuitos. La detección del nivel de umbral de entrada causa una demora que varía según el fabricante y se estima en un valor promedio de 10 milisegundos, esta demora no es igual cuando se trata de conexión que de desconexión, siendo las salidas discretas que trabajan con corriente continua son más veloces que las de corriente alterna. También, como en las entradas, el estado activado – desactivado de cada salida se guarda en tablas de memorias imagen o en registros de imagen, para que una vez por cada barrido del programa del usuario informen su estado a la CPU y luego se vuelven a actualizar.

Los Módulos de Salida Digital permiten al autómatas programable actuar sobre elementos que admitan órdenes de tipo prendido - apagado, todo o nada u “on - off”. El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relé interno del autómatas, en el caso de módulos de salidas a relé. Existe una gran cantidad de módulos de salida discreta, todos ellos con la misma estructura que se presenta a continuación.

SALIDA A RELÉ:

Es una de las más usuales. Con ellos es posible conectar tanto cargas de corriente alterna como continua. Suelen soportar hasta 2A de corriente. Una buena práctica en la instalación es verificar que la corriente máxima que consume la carga esté dentro de las especificaciones de la salida del PLC. Los tiempos de conmutación de estos tipos de salidas llegan a los 10 mseg. Tanto para la conexión como para la desconexión. Algunas cargas son muy problemáticas, por ejemplo, las cargas inductivas, que tienen la tendencia a devolver corriente al circuito cuando son conectadas. Siendo la corriente estimada en unas 30 veces a la corriente de consumo nominal. Esto genera picos de voltaje que pueden dañar la salida a la que está conectada la carga. Para minimizar estos riesgos se utilizan comúnmente diodos, varistores u otros circuitos de protección.

Figura N° 13: Contacto de salida relé



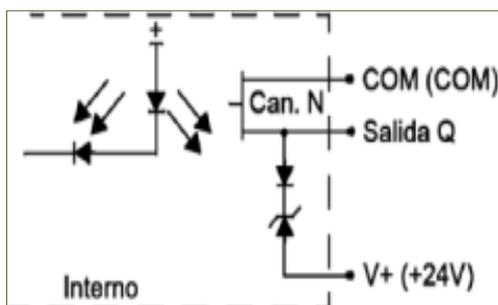
Fuente: Internet

Los relés son internos al PLC. El circuito típico es el que se muestra en la figura de arriba. Cuando el programa active una salida, el PLC aplicará internamente tensión a la bobina del relé. Esta tensión hará que se cierren los contactos de dicho relé. En ese momento una corriente externa pasará a través de esos contactos y así se alimentará la carga. Cuando el programa desactiva una salida, el PLC desactiva la bobina abriendo así los contactos.

SALIDAS A TRANSISTOR:

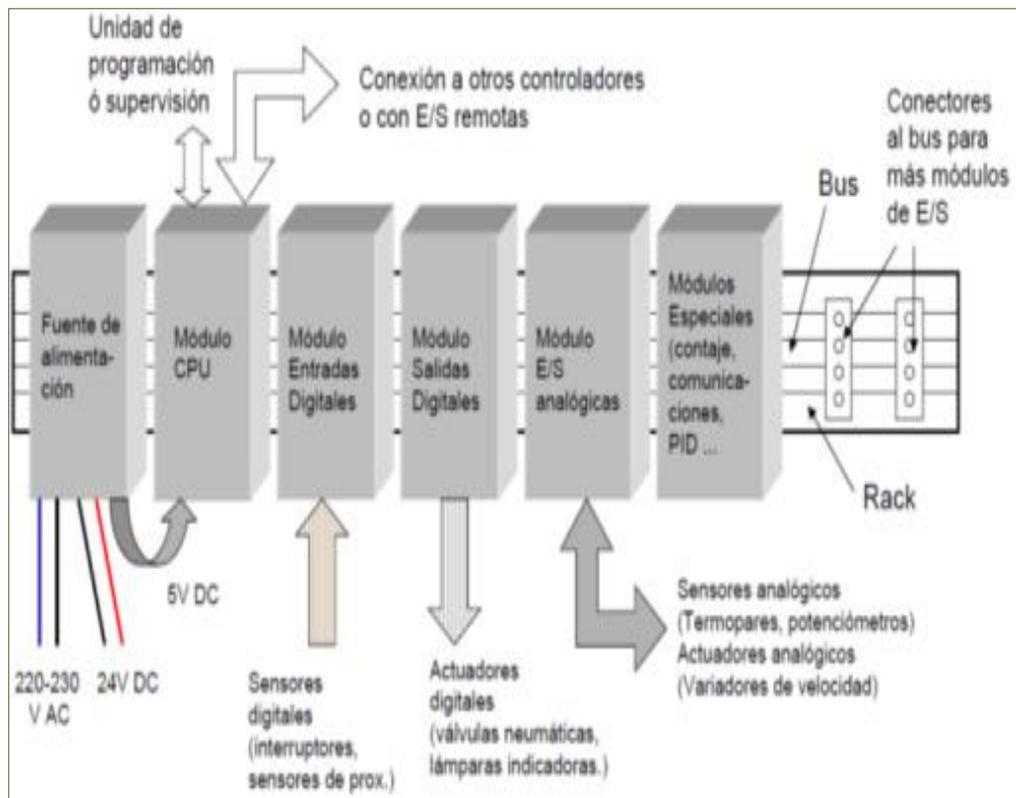
Sólo son capaces de operar con corriente continua, de baja potencia. Pero tienen tiempos de conmutación que rondan el milisegundo y una vida útil mucho mayor que la de los relés. En este tipo de salida el transistor es el encargado de conectar la carga externa cuando el programa lo indique.

Figura N° 14: Contacto de Salida común positivo



Fuente: Internet

Figura N° 15: Montaje de Módulos de PLC



Fuente: Internet

2.3.6. HMI

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso.

En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas, como mostraremos a continuación.

TIPOS DE HMI:

Descontando el método tradicional, podemos distinguir básicamente dos tipos de HMIs:

Terminal de Operador: Consistente en un dispositivo, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Pueden ser además con pantalla sensible al tacto (touch screen)

PC + Software: Esto constituye otra alternativa basada en un PC en donde se carga un software apropiado para la aplicación. Como PC se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto, en donde existen los llamados Industriales (para ambientes agresivos), los de panel (Panel PC) que se instalan en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador, y en general veremos muchas formas de hacer un PC, pasando por el tradicional PC de escritorio.

SOFTWARE HMI:

Estos softwares permiten entre otras cosas las siguientes funciones: Interface gráfica de modo de poder ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas.

Si bien es cierto sólo con la primera función enunciada es la propiamente HMI, casi todos los proveedores incluyen las otras dos ya sea en el mismo paquete o bien como opcionales. También es normal que dispongan de muchas más herramientas. Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego debe quedar corriendo en el PC un software de ejecución (Run Time).

COMUNICACIÓN:

La comunicación con los dispositivos de las máquinas o proceso se realiza mediante comunicación de datos empleando las puertas disponibles para ello, tanto en los dispositivos como en los PCs. Actualmente para la comunicación se usa un software denominado servidor de comunicaciones, el que se encarga de establecer el enlace entre los dispositivos y el software de aplicación (HMI u otros) los cuales son sus clientes.

La técnica estandarizada en estos momentos para esto se llama OPC (Ole for Process Control), por lo que contamos entonces con Servidores y Clientes OPC; sin embargo, aún quedan algunas instalaciones donde se usaba DDE para este propósito, como también muchos softwares de aplicación sólo son clientes DDE por lo que lo usual es que los servidores sean OPC y DDE.

Figura N° 16: HMI XBTGT 4330



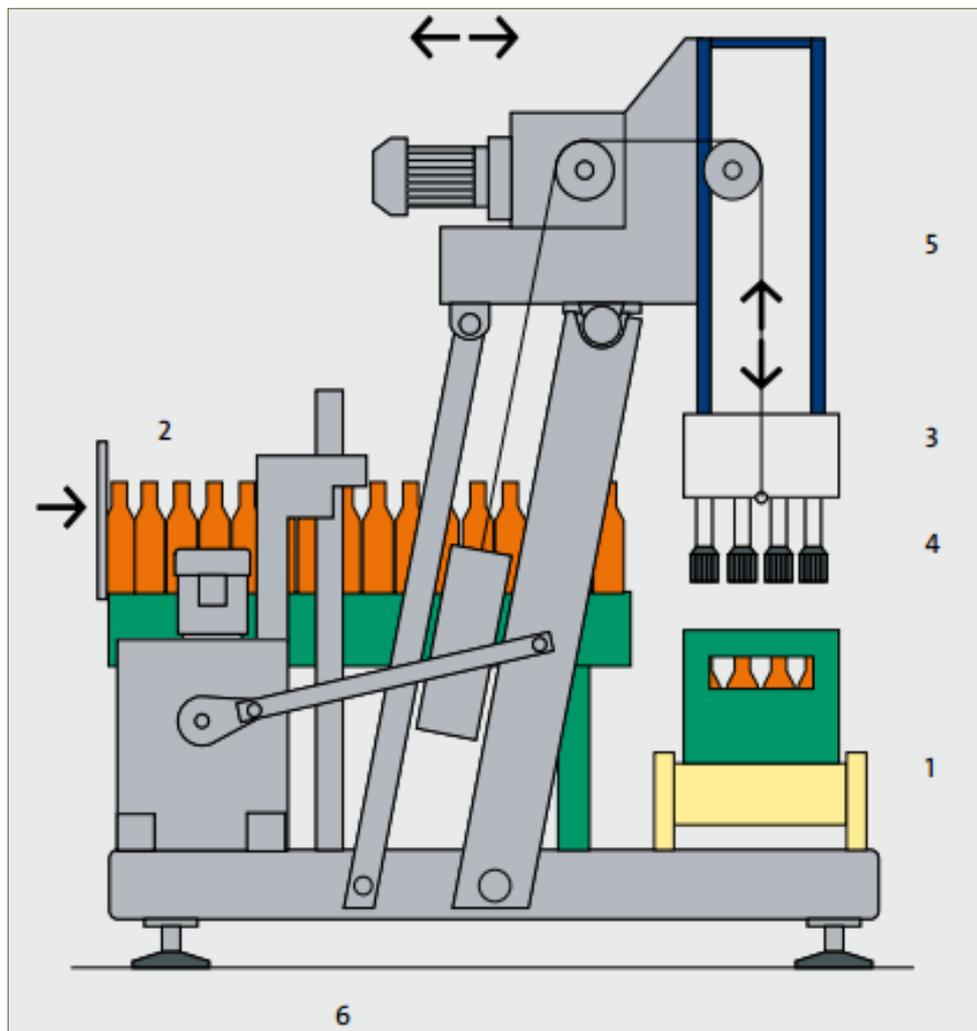
Fuente: www.schneider-electric.com

2.3.7. FUNCIONAMIENTO DE LA ENCAJONADORA

Durante el encajonado, los envases llegan a una mesa de botellas en donde son distribuidos en varias vías. Los cabezales de agarre los toman y los colocan en las cajas vacías. Un marco de introducción guía los envases para que entren seguros en los embalajes.

El encajonado es la resultante de la conjunción de un movimiento horizontal y otro vertical. La mesa botellas y el transportador de cajas son accionados mediante motores trifásicos con convertidores de frecuencia instalados.

Figura N° 17: Encajonadora de Botellas



Fuente: Internet

1. Entrada de Cajas
2. Mesa de Entrada de Botellas
3. Cabezal de Agarre
4. Tulipas de Agarre
5. Elevación de Cabezal
6. Traslación de Cabezal

A) CABEZAL DE AGARRE

Sistema para coger y soltar las botellas

Figura N° 18: Cabezal de Agarre



Fuente: Internet

2.4. LOGICA DE CONTROL DE ENCAJONADO

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. LISTA DE EQUIPOS

Tabla N° 01: Lista de Equipos

TAG	DESCRIPCIÓN
3U1	VARIADOR MESA DE ENTRADA DE BOTELLAS
4U3	VARIADOR COMBINADOR SALIDA DE CAJAS
5U3	VARIADOR TRASLACION DE CABEZAL
6U3	VARIADOR ELEVACION DE CABEZAL
7U3	VARIADOR MESA DE CAJAS

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1. HOJA DE DATOS DE VARIADOR DE VELOCIDAD DE 2.2 KW

Tabla N° 02: Requerimientos mínimos del Variador de Velocidad 2.2 Kw

Manufacture	DANFOSS
Modelo	FC302
Potencia	2.2 Kw
Alimentación	380 - 480 Vac
Entrada Analógica	2 (Tensión y Corriente)
Salida Analógica	1, Tipo 4 - 20 mA
Entradas Digitales	4, Programables (PNP y NPN)
Salidas Digitales	<ul style="list-style-type: none">• 2, Tipo 24 Vdc• 2, Tipo Relé
Protocolo de Comunicación	NO requerido
Grado de Protección	IP 55
Protecciones del Variador	<ul style="list-style-type: none">• Protección Térmica del Motor en caso de Sobre Carga

	<ul style="list-style-type: none"> • Protección Contra Cortocircuitos en los terminales del motor • Protección contra falta de fase • Protección contra falla a Tierra en los terminales del motor
Display de Configuración	SI, Alfa numérico
TAG	3U1 / 6U3

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2. HOJA DE DATOS DE VARIADOR DE VELOCIDAD DE 1.5 KW

Tabla N° 03: Requerimientos mínimos del Variador de Velocidad 1.5Kw

Manufacture	DANFOSS
Modelo	FC302
Potencia	1.5 Kw
Alimentación	380 - 480 Vac
Entrada Analógica	2 (Tensión y Corriente)
Salida Analógica	1, Tipo 4 - 20 mA
Entradas Digitales	4, Programables (PNP y NPN)
Salidas Digitales	<ul style="list-style-type: none"> • 2, Tipo 24 Vdc • 2, Tipo Relé
Protocolo de Comunicación	NO requerido
Grado de Protección	IP 55
Protecciones del Variador	<ul style="list-style-type: none"> • Protección Térmica del Motor en caso de Sobre Carga • Protección Contra Cortocircuitos en los terminales del motor • Protección contra falta de fase

	<ul style="list-style-type: none"> • Protección contra falla a Tierra en los terminales del motor
Display de Configuración	SI, Alfa numérico
TAG	4U3 / 5U3 / 7U3

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 19: Variador de Velocidad FC302.



Fuente: <http://www.vlt-drives.com.ua>

3.2. ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

3.2.1. DIMENSIONAMIENTO DEL PLC

A) HOJA DE DATOS DEL CPU

Tabla N° 04: Requerimientos Mínimos del CPU

Manufactura	Siemens
Modelo	S7300
Tipo	315-2EH14-0AB0
Alimentación	24 Vdc
Memoria	384 Kbyte
Protocolo de Comunicación	1 Interface MPI/DP 12 Mbit/s 1 Interface Ethernet Profinet

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 20: CPU 315-2EH14-0AB0



Fuente: <http://www.siemens.com>

B) HOJA DE DATOS DE MODULO DE ENTRADAS DIGITALES

Tabla N° 05: Requerimientos Mínimos del Módulo de Entradas Digitales

Manufactura	SIEMENS
Modelo	S7300
Tipo	321-1BH02-0AA0
Alimentación	24 Vdc
Número de Canales	16
Tipo	PNP o NPN
Consumo de Corriente por Canal	10 mA

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 21: Modulo de Entradas Digitales 322-1BH01-0AA0



Fuente: <http://www.siemens.com>

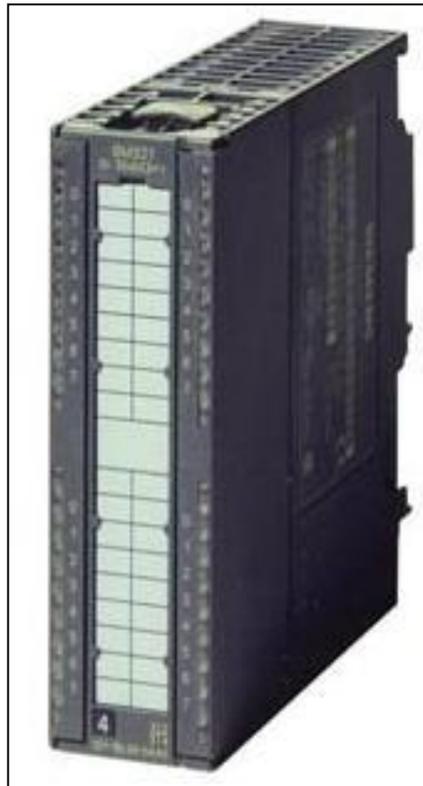
C) HOJA DE DATOS DE MODULO DE SALIDAS DIGITALES

Tabla N° 06: Requerimientos Mínimos del Módulo de Salidas Digitales

Manufactura	SIEMENS
Modelo	S7300
Tipo	322-1BH01-0AA0
Alimentación	24 Vdc
Número de Canales	16
Tipo	Aisladas Ópticamente
Consumo de Corriente por Canal	0.5 A

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 22: Modulo de Salidas Digitales 322-1BH01-0AA0



Fuente: <http://www.siemens.com>

D) HOJA DE DATOS DEL HMI (INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA)

Tabla N° 07: Requerimientos mínimos del HMI (Interface Hombre Máquina)

Manufacture	SIEMENS
Modelo	XBTGT 4330
Tamaño	14"
Tipo	TFT, LCD color
Touchscreen	SI
Resolución	VGA 640 x 480
Alimentación	24 Vdc
Protocolo de Comunicación	Profibus Dp

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 23: HMI XBTGT4330



Fuente: www.schneider-electric.com

3.3. DESARROLLO DE ALGORITMOS DE CONTROL

3.3.1. CONFIGURACIÓN DEL PLC

Figura N° 24: Configuración del Rack del PLC

Slot	Module
1	
2	CPU 315-2PN/DP
X1	MPI/DP
X2	PN-IO
X2 P1	Puerto 1
X2 P2	Puerto 2
3	
4	DO16xDC24V/0.5A
5	DI16xDC24V
6	DO16xDC24V/0.5A
7	DI16xDC24V
8	DI16xDC24V
9	DI16xDC24V
10	
11	

Fuente: Elaboración Propia

Slot 1: CPU 315 2PN/DP: 6ES7-315-2EH14-0AB0

Slot 4: Módulo de salidas digitales: 6ES7-322-1BH01-0AA0

Slot 5: Módulo de entradas digitales: 6ES7-321-1BH02-0AA0

Slot 6: Módulo de salidas digitales: 6ES7-322-1BH01-0AA0

Slot 7: Módulo de entradas digitales: 6ES7-321-1BH02-0AA0

Slot 8: Módulo de entradas digitales: 6ES7-321-1BH02-0AA0

Slot 9: Módulo de entradas digitales: 6ES7-321-1BH02-0AA0

3.3.2. DIRECCIONAMIENTO DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC

SLOT	4
MODULO	SALIDAS DIGITALES
TIPO	322-1BH01-0AA0
DIRECCION DE PLC	DESCRIPCION
A32.0	INFLAR, DESINFLAR CABEZAL
A32.1	RESERVA
A32.2	RESERVA
A32.3	RESERVA
A32.4	TOPE DE CAJAS 1
A32.5	TOPE DE CAJAS 2
A32.6	RESERVA
A32.7	RESERVA
A33.0	RESERVA
A33.1	RESERVA
A33.2	RESERVA
A33.3	RESERVA
A33.4	RESERVA
A33.5	FRENO ELEVACION
A33.6	MOTOR MESA ENTRADA DE BOTELLAS
A33.7	START COMBINADOR SALIA DE CAJAS

SLOT	5
MODULO	ENTRADAS DIGITALES
TIPO	321-1BH02-0AA0
DIRECCION DE PLC	DESCRIPCION
E32.0	MARCHA
E32.1	PARADA
E32.2	AUTOMÁTICO
E32.3	RESERVA
E32.4	RESERVA
E32.5	RESERVA
E32.6	RESERVA
E32.7	RESERVA
E33.0	RESERVA
E33.1	RESERVA
E33.2	RESERVA
E33.3	RESERVA
E33.4	RESERVA
E33.5	RESERVA
E33.6	RESERVA
E33.7	RESERVA

SLOT	6
MODULO	SALIDAS DIGITALES
TIPO	322-1BH01-0AA0
DIRECCION DE PLC	DESCRIPCION
A0.0	LUMINARIA, VARIADOR FALLA
A0.1	RESERVA
A0.2	LUMINARIA, FALTA AIRE
A0.3	LUMINARIA, MARCHA
A0.4	LUMINARIA, AUTOMÁTICO
A0.5	RESERVA
A0.6	RESERVA
A0.7	RESERVA
A1.0	RESERVA
A1.1	INVERSION DE GIRO ELEVACION
A1.2	START ELEVACION
A1.3	RESERVA
A1.4	INVERSION DE GIRO TRASLACION
A1.5	START TRASLACIÓN
A1.6	START MESA DE CAJAS
A1.7	RESERVA

SLOT	7
MODULO	ENTRADAS DIGITALES
TIPO	321-1BH02-0AA0
DIRECCION DE PLC	DESCRIPCION
E2.0	RELE INTERNO DE VLT 6U3 (CONFIRMACION DE ARRANQUE)
E2.1	RELE INTERNO DE VLT 5U3 (CONFIRMACION DE ARRANQUE)
E2.2	RELE INTERNO DE VLT 7U3 (CONFIRMACION DE ARRANQUE)
E2.3	RESERVA
E2.4	RESERVA
E2.5	RESERVA
E2.6	RESERVA
E2.7	RESERVA
E3.0	PRESOSTATO
E3.1	TOPE SUPERIOR
E3.2	RESERVA
E3.3	TOPE MEDIO
E3.4	RESERVA
E3.5	TOPE INFERIOR
E3.6	RESERVA
E3.7	RESERVA

SLOT	8
MODULO	ENTRADAS DIGITALES
TIPO	321-1BH02-0AA0
DIRECCION DE PLC	DESCRIPCION
E4.0	BOTELLAS EN FILA
E4.1	RESERVA
E4.2	RESERVA
E4.3	RESERVA
E4.4	RESERVA
E4.5	TDC 1, EN MÁQUINA LLENO
E4.6	RESERVA
E4.7	TDC 2, EN MÁQUINA LLENO
E5.0	RESERVA
E5.1	RESERVA
E5.2	RESERVA
E5.3	RESERVA
E5.4	CABEZAL SOBRE LA MESA
E5.5	RESERVA
E5.6	RESERVA
E5.7	CABEZAL SOBRE CAJAS

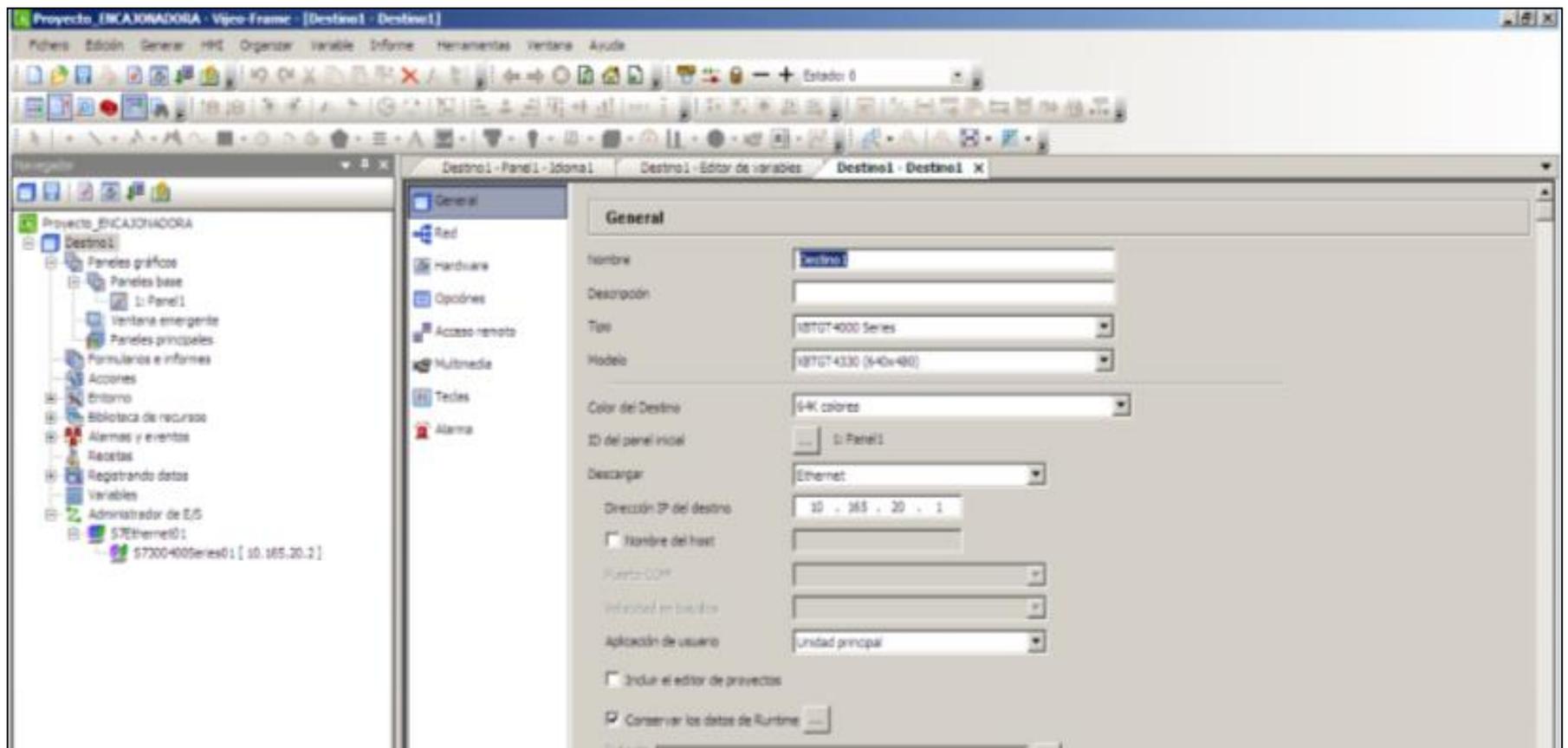
SLOT	9
MODULO	ENTRADAS DIGITALES
TIPO	321-1BH02-0AA0
DIRECCION DE PLC	DESCRIPCION
E6.0	RESERVA
E6.1	RESERVA
E6.2	RESERVA
E6.3	RESERVA
E6.4	RESERVA
E6.5	RESERVA
E6.6	RESERVA
E6.7	RESERVA
E7.0	RESERVA
E7.1	RESERVA
E7.2	RESERVA
E7.3	RESERVA
E7.4	RESERVA
E7.5	RESERVA
E7.6	RESERVA
E7.7	RESERVA

3.3.3. PROGRAMA DEL PLC, EN LENGUAJE LADDER

3.3.4. DISEÑO DE LA INTERFAZ GRAFICA DEL HMI

Configuración del puerto de comunicación del HMI y del PLC

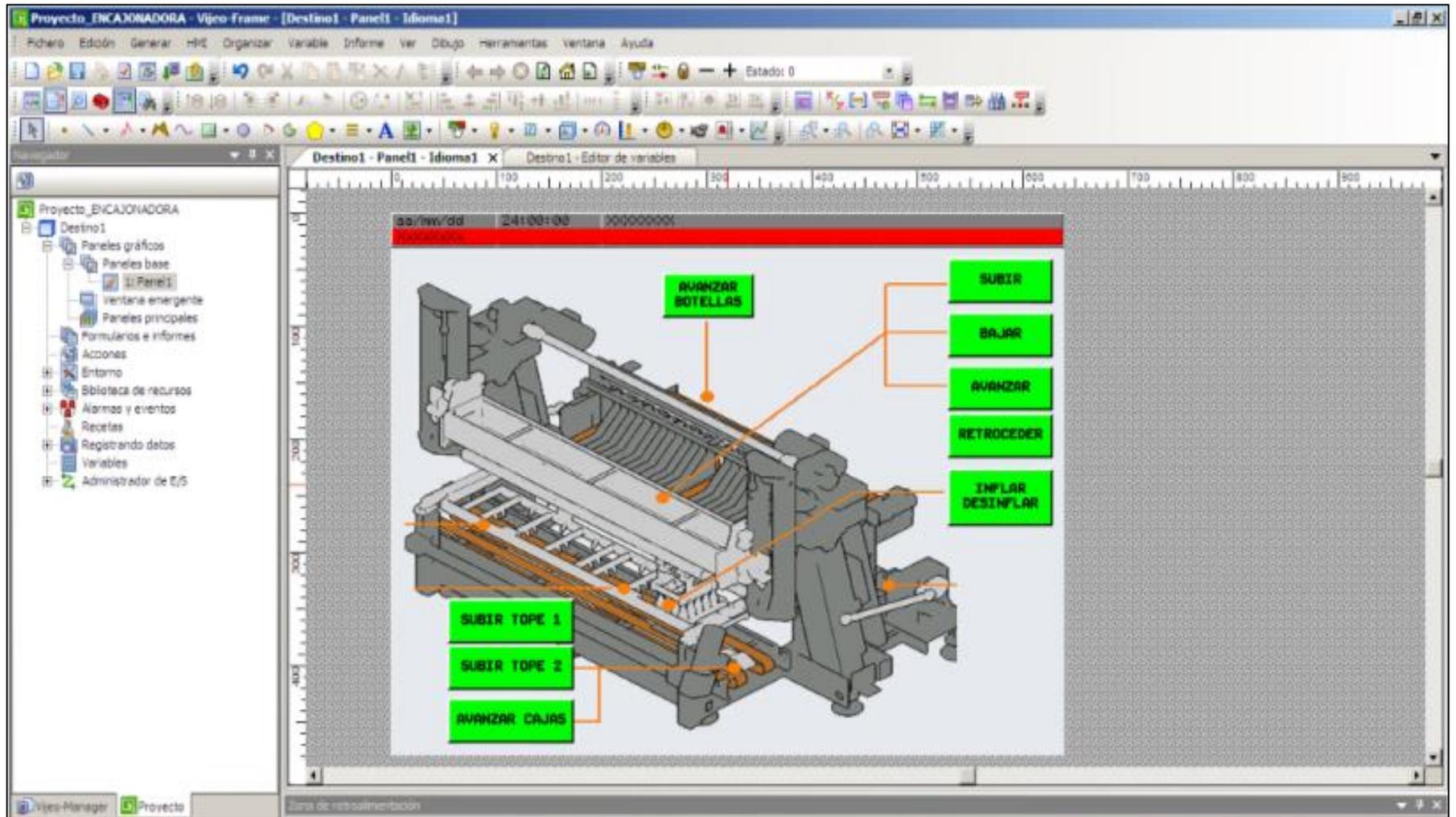
1.- Dirección IP del HMI: 10.165.20.1 / PLC: 10.165.20.2, se usará el tipo de controlador S7Ethernet, S7300/400 Series



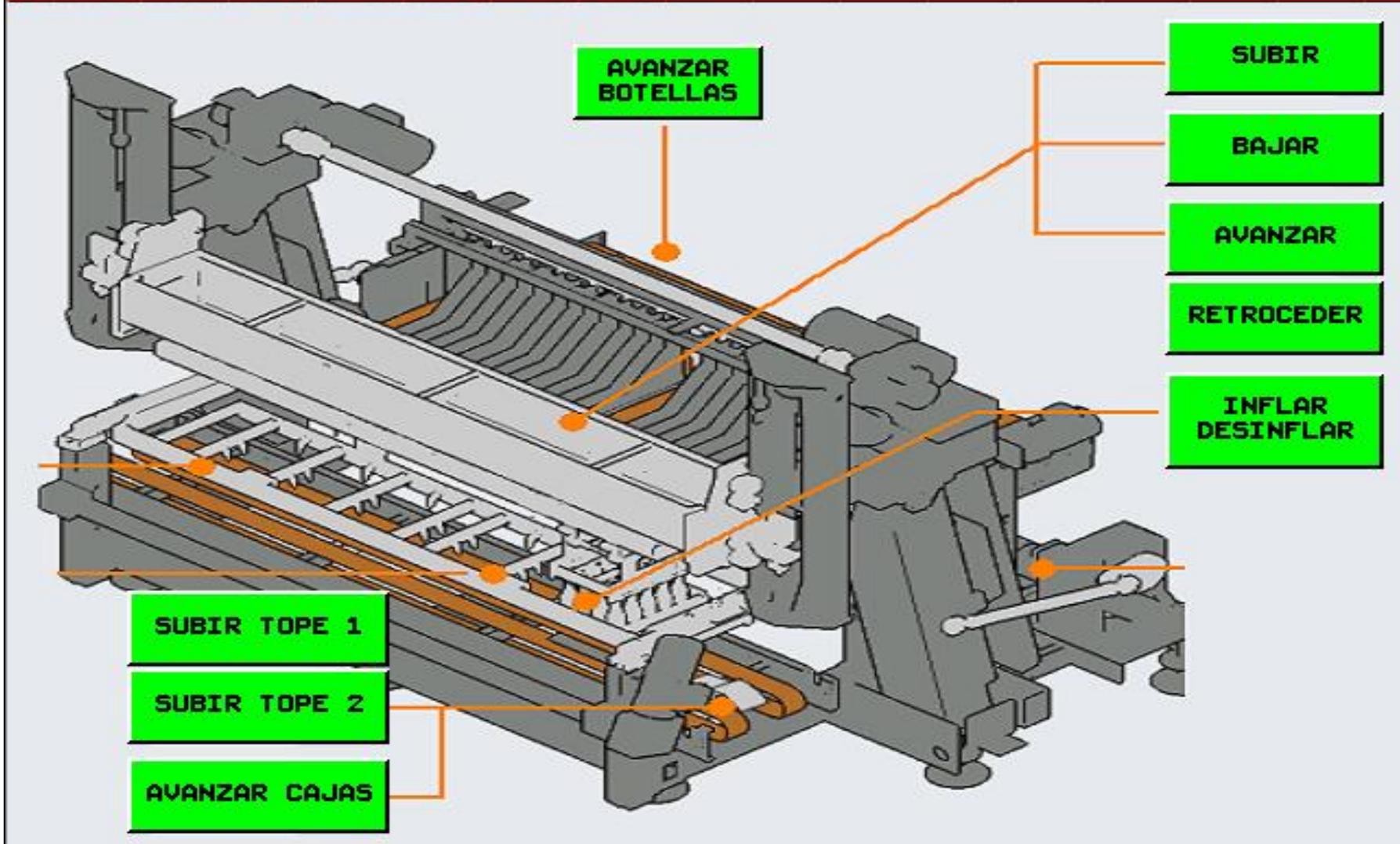
2.- Se procede a crear todas las variables a usar en el HMI

Nombre	Tipo de datos	Origen de datos	Grupo de escaneo	Dirección de da...	Grupo de alarmas	Grupo de registros
PLC_57300400Series01.TERMOCOS	BOOL	Externo	57300400Series01	E2.3	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.PRESOST	BOOL	Externo	57300400Series01	E3.0	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.TOP_SUP	BOOL	Externo	57300400Series01	E3.1	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.TOP_HEDDO	BOOL	Externo	57300400Series01	E3.3	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.TOP_INFER	BOOL	Externo	57300400Series01	E3.5	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.SEG	BOOL	Externo	57300400Series01	E3.7	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.BOT_PLA	BOOL	Externo	57300400Series01	E4.0	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.TDC1_MAQ_FULL	BOOL	Externo	57300400Series01	E4.5	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.TDC2_MAQ_FULL	BOOL	Externo	57300400Series01	E4.7	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.CAB_MESA	BOOL	Externo	57300400Series01	E5.4	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.CAB_CAJAS	BOOL	Externo	57300400Series01	E5.7	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.MEM_MARCHA	BOOL	Externo	57300400Series01	M1.0	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.MEM_AUTOMATICO	BOOL	Externo	57300400Series01	M2.0	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.MEM_FALTA_ASRE	BOOL	Externo	57300400Series01	M2.2	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.MEM_INFLAR_TULIPAS	BOOL	Externo	57300400Series01	M2.4	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.MANUAL_INFLAR	BOOL	Externo	57300400Series01	M2.5	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.MEM_START_AVANCE	BOOL	Externo	57300400Series01	M3.1	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.MEM_START_RETROCESO	BOOL	Externo	57300400Series01	M3.2	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.MEM_SUBIR_CABEZAL	BOOL	Externo	57300400Series01	M3.3	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.MEM_BAJAR_CABEZAL	BOOL	Externo	57300400Series01	M3.4	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.MEM_EVADOR_BLOQUEADO	BOOL	Externo	57300400Series01	M3.5	Desactivado	Ninguno
PLC_57300400Series01.MEM_BAJAR SOBRE LAS CAJ	BOOL	Externo	57300400Series01	M3.7	Desactivado	Ninguno

3.- Se procede a crear la pantalla principal del HMI



ACUMULACION DE CAJAS - SALIDA



3.4. DISEÑO DE PLANOS ELECTRICOS (VER ANEXO N°1)

- 3.4.1. Alimentación Principal – Plano N° 1
- 3.4.2. Distribución Eléctrica – Plano N° 2
- 3.4.3. Motor Mesa Entrada de Botellas – Plano N° 3
- 3.4.4. Variador Combinador Salida de Cajas – Plano N° 4
- 3.4.5. Variador Traslación de Cabeza – Plano N° 5
- 3.4.6. Variador Subir/Bajar Cabezal – Plano N° 6
- 3.4.7. Variador Mesa de Cajas – Plano N° 7
- 3.4.8. Alimentación PLC – Plano N° 8
- 3.4.9. Módulo de Entradas Digitales – Plano N° 09
- 3.4.10. Módulo de Entradas Digitales – Plano N° 10
- 3.4.11. Módulo de Entradas Digitales – Plano N° 11
- 3.4.12. Módulo de Entradas Digitales – Plano N° 12
- 3.4.13. Módulo de Entradas Digitales – Plano N° 13
- 3.4.14. Módulo de Entradas Digitales – Plano N° 14
- 3.4.15. Módulo de Entradas Digitales – Plano N° 15
- 3.4.16. Módulo de Entradas Digitales – Plano N° 16
- 3.4.17. Módulo de Salidas Digitales - Plano N° 17
- 3.4.18. Módulo de Salidas Digitales - Plano N° 18
- 3.4.19. Módulo de Salidas Digitales - Plano N° 19
- 3.4.20. Módulo de Salidas Digitales - Plano N° 20

CAPITULO IV

COSTO / BENEFICIO

4.1. COSTOS DEL PROYECTO

4.1.1. COSTOS DE HARDWARE

A) COSTOS DE EQUIPOS

Solo se considera el Costo de los Variadores de Velocidad. Los Motores, Sensores Inductivos, Sensores Fotoeléctricos, Tablero de Control, electroválvulas y pistones se utilizará lo ya existente.

Tabla N° 08: Costos de los Equipos del Proyecto (Variadores de Velocidad)

DESCRIPCIÓN	MODELO	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Variador de Velocidad	FC302-1.5KW	3	S/.2 970	S/.8 910
Variador de Velocidad	FC302-2.2KW	2	S/.6 900	S/.13 800
SUBTOTAL				S/.22 710

Fuente: Elaboración Propia

B) COSTOS SISTEMA DE CONTROL

Tabla N° 09: Costos del Sistema de Control

DESCRIPCIÓN	MODELO	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
HMI	XBTGT 4330	1	S/.5 500	S/.5 500
CPU	315-2EH14-0AB0	1	S/.6 900	S/.6 900
Módulo de Entradas Digitales	321-1BH02-0AA0	4	S/.541	S/.2 164
Módulo de Salidas Digitales	322-1BH01-0AA0	2	S/.838	S/.1 676
Recableado	-	1	S/.5 000	S/.5 000
SUBTOTAL				S/.21 240

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. COSTOS DE INGENIERÍA

Solo se considera el Costo de la Mano de Obra para Programación del PLC y HMI, y costo de mano de obra para la elaboración de Planos Eléctricos.

El Costo del Software para programación del PLC (Step 7) y el software para programación del HMI (Vijeo Designer) fueron proporcionados por la empresa, es por eso que no ingresan en esta tabla.

Tabla N° 10: Costos de Ingeniería del Proyecto

DESCRIPCION	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Elaboración de Planos	1	S/. 5 500	S/.5 500
Programación del PLC	1	S/. 2 800	S/.2 800
Programación del HMI	1	S/. 2 800	S/.2 800
SUBTOTAL			S/.11 100

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3. COSTOS DE CAPACITACIÓN

Tabla N°11: Costos de Capacitación

DESCRIPCION	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Capacitación en el Manejo del HMI	1	S/.2 000	S/.2 000
SUBTOTAL			S/.2 000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 12: Resumen del Costo Total del Proyecto

COSTOS DE HARDWARE	S/.43, 950
COSTOS DE INGENIERÍA	S/.11, 100
COSTOS DE CAPACITACIÓN	S/.2, 000
COSTO TOTAL	S/.57, 050

Fuente: Elaboración Propia

4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

$$R = \frac{\text{Costo}}{\text{Beneficio}}$$

4.2.1. BENEFICIOS

- Reducción del Tiempo Perdido por solución de Fallas de Máquina.

Tabla N° 13: Comparación del Tiempo Perdido por Fallas de Máquina al Mes

ANTES	AHORA
5.36 h/mes	4 h/mes
5.36 – 4= 1.36 h/mes adicionales para producción	
1.36 h/mes x 10 000 botellas/h x 0.3 S/,/botella= 4 080 S/,/mes	
Ahorro al mes	S/.4 080

Fuente: Elaboración Propia

- Reducción del Tiempo Perdido por Fallas Operativas.

Tabla N° 14: Comparación del Tiempo Perdido por Fallas Operativas al Mes

ANTES	AHORA
2.24 h/mes	1.5 h/mes
2.24 – 1.5= 0.74 h/mes adicionales para producción	
0.74 h/mes x 10 000 botellas/h x 0.3 S./botella= 2 220 S./mes	
Ahorro al mes	S/.2 220

Fuente: Elaboración Propia

Los datos de las horas perdidas por Falla de Máquina y por Fallas Operativas se obtuvieron del archivo de eficiencia de la Línea de Envasado, estos datos se muestran en el Anexo N° 2.

Los beneficios en total ascienden a S/.6 300 al mes

Por lo tanto, el tiempo de recuperación de la inversión será de:

$$\frac{57\,050\text{ S/}}{6\,300\frac{\text{S/}}{\text{mes}}} = 9.05\text{ meses}$$

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Luego de la implementación del presente Proyecto de Tesis se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Se redujo el tiempo perdido para solución de problemas por falla máquina, en 1.36 H, aproximadamente 25%, debido al uso del PLC y HMI, lo cual aumentará la producción de la línea y por ende la utilidad de la empresa, ya que se contará con 1.36 H al mes adicionales para envasar.
2. Se redujo el tiempo perdido por falla operativas, en 0.74 H, aproximadamente 30%, debido al uso del PLC y el HMI lo cual aumentará la producción de la línea y por ende la utilidad de la empresa, ya que se contará con 0.74 H al mes adicionales para envasar.
3. Se redujo el cableado en el tablero de control en un 40%, debido al uso del PLC, lo cual mejora el mantenimiento y limpieza del tablero y brinda confiabilidad al sistema.
4. Se identificó la mejor estrategia de control producto de la observación del funcionamiento de la máquina, antes de la automatización.
5. Se realizó la selección de los equipos en la marca Siemens y Schneider que mejor cumplan con el requerimiento mínimo para el sistema de supervisión y control propuesto.
6. Se realizó la programación del PLC y HMI en base a la estrategia de control obtenida en el punto 4.
7. Se diseñaron y elaboraron los planos eléctricos para el nuevo sistema de control.
8. El tiempo promedio para mantenimiento preventivo de los motores, se amplió de 3 a 6 meses, debido al uso de variadores de velocidad, los cuales arrancan y de detienen con rampa en promedio de 2 segundos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un procedimiento de operación del HMI, hasta lograr 100% de capacitación de los operadores
- Se recomienda utilizar encoders incrementales para el sistema de traslación y elevación, con el objetivo de lograr precisión en la carga y descarga de botellas
- Se recomienda guardar y realizar backup al PLC y HMI como respaldo ante una contingencia

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. J. Acedo Sánchez (2003). Control Avanzado de Procesos. Teoría y Práctica. Ediciones Díaz de Santos S.A., Madrid (España).
2. Antonio Creus Solé (2010). Instrumentación Industrial. 8a. Edición, México, Editorial Marcombo, S.A.
3. Elonka, Michael. Operación de Plantas Industriales. Mc Graw-Hill
4. Richard C. Dorf, Robert H. Bishop (2005); Sistemas de Control Moderno; 10a. Edición. Madrid (España); Editorial Pearson- Prentice Hall.
5. Katsuhiko Ogata (2003); Ingeniería de Control Moderna; 4a. Edición; Editorial Pearson – Prentice Hall.
6. Benjamin C. Kuo (1996); Sistemas de Control Automático; 7a. Edición; Editorial Prentice Hall.
7. Distefano, Stubberud y Williams (1992); Retroalimentación y Sistemas de Control; 2a. Edición; Colección SCHAUM; Editorial Mc. Graw Hill.
8. Carlos A. Smith y Armando B. Corripio (1991); Control Automático de Proceso. Teoría y Práctica; 1a. Edición; Editorial LIMUSA.

REFERENCIAS WEBGRÁFICAS

1. [Http://Neutron.Ing.Ucv.Ve/Revista-E/No4/Rci.Html](http://Neutron.Ing.Ucv.Ve/Revista-E/No4/Rci.Html)
2. [Http://Www.Monografias.Com](http://Www.Monografias.Com)
3. [Http://Html.Rincondelvago.Com/Automatizacion.Html](http://Html.Rincondelvago.Com/Automatizacion.Html)
4. [Http://Www.Fao.Org/Docrep/T0848s/T0848s06.Htm#Topofpage](http://Www.Fao.Org/Docrep/T0848s/T0848s06.Htm#Topofpage)
5. [Http://Www.Monografias.Com/Trabajos19/Canales/Canales.Shtml](http://Www.Monografias.Com/Trabajos19/Canales/Canales.Shtml)
6. [Http://Club.Telepolis.Com/Geografo/Geomorfologia/Analquen.Htm](http://Club.Telepolis.Com/Geografo/Geomorfologia/Analquen.Htm)
7. [Http://Sisbib.Unmsm.Edu.Pe/Bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/](http://Sisbib.Unmsm.Edu.Pe/Bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/)
8. [Http://Apuntes.Rincondelvago.Com/Motores-Trifasicos-Electricos.Html](http://Apuntes.Rincondelvago.Com/Motores-Trifasicos-Electricos.Html)
9. [Http://Members.Tripod.Com/Jaimevp/Electricidad/Arranque_De_Motores.Html](http://Members.Tripod.Com/Jaimevp/Electricidad/Arranque_De_Motores.Html)
10. [Http://Apuntes.Rincondelvago.Com/Control-De-Motores-Trifasicos.Html](http://Apuntes.Rincondelvago.Com/Control-De-Motores-Trifasicos.Html)
11. [Http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccin_17_molinos_de_bolas.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccin_17_molinos_de_bolas.html)

CAPITULO VII

ANEXOS

7.1. ANEXO N° 1

7.2. ANEXO N° 2

ANTES DE LA AUTOMATIZACIÓN

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROMEDIO
TIEMPO PERDIDO POR FALLA DE MÁQUINA AL MES	5.360	5.340	5.350	5.360	5.350	5.360	5.340	5.370	5.370	5.390	5.380	5.350	5.36 H

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROMEDIO
TIEMPO PERDIDO POR FALLA OPERATIVA AL MES	2.260	2.250	2.270	2.240	2.220	2.270	2.230	2.250	2.240	2.230	2.220	2.250	2.24 H

DESPUES DE LA AUTOMATIZACIÓN

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROMEDIO
TIEMPO PERDIDO POR FALLA DE MÁQUINA AL MES	4.050	4.000	4.050	4.060	4.040	4.010	4.050	4.020	4.080	4.000	4.070	4.080	4.04 H

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROMEDIO
TIEMPO PERDIDO POR FALLA OPERATIVA AL MES	1.520	1.520	1.510	1.490	1.480	1.510	1.480	1.510	1.510	1.490	1.520	1.510	1.50 H