



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO CLASIFICADOR
DE MANDARINAS POR DIMENSIONES FÍSICAS PARA EL
VALLE DE CAÑETE**

PRESENTADA POR

ROBERT ISAIAS QUISPE ROMERO

CARLOS LUIS MARTINEZ PASTOR

ASESOR

FERNANDO MAURICIO JIMENEZ MOTTE

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

LIMA – PERÚ

2018



**Reconocimiento - No comercial – Compartir igual
CC BY-NC-SA**

Los autores permiten transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO CLASIFICADOR
DE MANDARINAS POR DIMENSIONES FÍSICAS PARA EL
VALLE DE CAÑETE**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

PRESENTADA POR

**QUISPE ROMERO, ROBERT ISAIAS
MARTINEZ PASTOR, CARLOS LUIS**

LIMA, PERÚ

2018

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada:

A mis hijos y esposa porque son la base de mi ser y mi razón de cada día.

A mis padres, Leopoldina e Isaías por su apoyo incondicional de toda una vida.

A Dios, artífice de mi vida.

A mis padres, Nancy y Froilán quienes hasta ahora dedican su vida a sus tres tesoros

A mis grandes amigos, que son mis hermanos que siempre dedican su tiempo para velar por mi mejoría.

A mi esposa que me apoya de manera incondicional.

Agradecimientos

A toda mi familia que me motiva ser cada día mejor.

A toda mi familia, que siempre me apoya en todo.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
i	
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Bases teóricas	3
1.3 Definición de términos básicos	15
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	19
2.1 Material	19
2.2 Métodos	29
2.3 Modelamiento	29
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL PROYECTO	50
3.1 Especificaciones del diseño	50
3.2 Diseño del selector óptico del clasificador de mandarinas	50
3.3 Diseño de la faja o banda transportadora	61
3.4 Diseño del sistema electroneumático del clasificador	74
3.5 Diseño del programa para el controlador lógico programable	78
3.6 Diseño del tablero eléctrico de control	79
CAPÍTULO IV. PRUEBAS Y RESULTADOS	84
4.1 Pruebas	84
4.2 Resultados	91
4.3 Informe económico	92
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES	98

FUENTES DE INFORMACIÓN	99
ANEXOS	103

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Características de laptop – Especificaciones	18
Tabla 2. Diodos emisores de luz	33
Tabla 3. Tabla de parámetros	44
Tabla 4. Tabla de parámetros a calcular	46
Tabla 5. Características eléctricas	50
Tabla 6. Características del fototransistor	51
Tabla 7. Diámetros de las mandarinas	53
Tabla 8. Diámetros de las mandarinas	54
Tabla 9. Altura de las mandarinas	55
Tabla 10. Características eléctricas del transistor BC548	58
Tabla 11. Características del variador	68
Tabla 12. Variables de entrada y salida del PLC	76
Tabla 13. Elementos eléctricos	81
Tabla 14. Características eléctricas del fototransistor	81
Tabla 15. Pruebas de validación de tamaño A	83
Tabla 16. Pruebas de validación de tamaño B	84
Tabla 17. Pruebas de validación de tamaño C	84
Tabla 18. Pruebas de validación de tamaño D	84
Tabla 19. Resultados de las pruebas	85
Tabla 20. Validación de funcionamiento	86
Tabla 21. Pruebas de producción	87

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Imagen de naranjas	1
Figura 2. Línea de producción Unical 300	3
Figura 3. Volcado de rejás	4
Figura 4. Formas de onda de un modulador	5
Figura 5. Funcionamiento de un motor asíncrono	6
Figura 6. Partes de un motor asíncrono	7
Figura 7. Cinta transportadora por rodillo	9
Figura 8. Bus AS-i en una banda transportadora	10
Figura 9. Led infrarrojo SIR383	20
Figura 10. Fototransistor st-1kl3b	21
Figura 11. Símbolos de Fototransistores	21
Figura 12. Cilindro de simple efecto	22
Figura 13. Cilindro de doble efecto	23
Figura 14. Electroválvula	24
Figura 15. PLC s7-1200 CPU 1214c. Siemens	24
Figura 16. Control por lógica cableada vs Control con PLC.	25
Figura 17. Arquitectura de un PLC	26
Figura 18. Lenguajes de Programación de PLC	26
Figura 19. Instalación de un variador de velocidad	27
Figura 20. Estructura interna de un variador de velocidad	27
Figura 21. Diagrama pictórico del prototipo	29
Figura 22. Diagrama de bloques de acuerdo al estado de arte	30
Figura 23. Diagrama de jerarquía del selector óptico	30
Figura 24. Diagrama de jerarquía de la faja transportadora	31

Figura 25. Diagrama de jerarquía del controlador lógico programable	32
Figura 26. Diagrama de jerarquía del selector electroneumático	32
Figura 27. Proceso de electroluminiscencia en el led	34
Figura 28. Curva de respuesta estándar del ojo humano	35
Figura 29. Efecto de cambio de rotación a traslación	36
Figura 30. Análisis de la Faja transportadora	37
Figura 31. Sistema de engranes	38
Figura 32. Válvula electroneumática reguladora de presión	39
Figura 33. Subsistema electromagnético. Circuito magnético	40
Figura 34. Subsistema electromagnético. Circuito eléctrico	41
Figura 35. Modelamiento matemático del motor AC	42
Figura 36. Motor AC trifásico	43
Figura 37. Curva de respuesta del motor	44
Figura 38. Conexión de una celda óptica.	49
Figura 39. Circuito emisor	49
Figura 40. Circuito receptor	51
Figura 41. Funcionamiento del circuito óptico básico	53
Figura 42. Unidad óptica, led infrarrojos y fototransistor	55
Figura 43. Led infrarrojo	56
Figura 44. Fototransistores y led en placa impresa	57
Figura 45. Acondicionador de señal para el PLC	57
Figura 46. Tarjeta de acondicionamiento de señal	59
Figura 47. Prototipo de la faja transportadora	61
Figura 48. Estructura de la faja transportadora	61
Figura 49. Chumacera	62
Figura 50. Chumaceras ensambladas con el rodillo y la moto reductora	63
Figura 51. Patas de la faja transportadora	63
Figura 52. Estructura de la faja parte 1	64
Figura 53. Estructura de la faja parte 2	64
Figura 54. Estructura de la faja parte 3	65
Figura 55. Moto reductor y motor trifásico	67
Figura 56. Variador LS	69
Figura 57. Instalación del variador de velocidad	69
Figura 58. Terminales de control	70

Figura 59. Moto reductor y motor trifásico	71
Figura 60. Cilindros neumáticos	73
Figura 61. Símbolo de la electroválvula	74
Figura 62. Circuito neumático	74
Figura 63. Instalación de la electroválvula	75
Figura 64. Instalación de las espumas	75
Figura 65. TIA portal	77
Figura 66. Tablero eléctrico de control	78
Figura 67. Cableado eléctrico	79
Figura 68. Tablero eléctrico de control	79
Figura 69. Botoneras del prototipo	80
Figura 70. Mandarinas utilizadas	82
Figura 71. Clasificación de mandarinas	86

LISTA DE VARIABLES

R_I : Resistencia del led infrarrojo [*Ohm*]
 V_{cc} : Fuente de alimentación [*volt*]
 R_L : Resistencia de colector [*Ohm*]
 P_{rom} : Promedio de diámetro de mandarinas [*cm*]
 D : Diámetro de mandarinas [*cm*]
 T : Total de mandarinas [*adimensional*]
 $Alcance$: Separación del led infrarrojo con el fototransistor [*cm*]
 R_B : Resistencia de base [*Ohm*]
 A_{faj} : Ancho de la faja transportadora [*cm*]
 L_{faj} : Largo de la faja transportadora [*cm*]
 $Cktoent$: Largo de la zona de entrada de mandarina [*cm*]
 $Cktoopt$: Largo de la zona del circuito óptico [*cm*]
 $Ckto neu$: Largo de la zona del circuito neumático [*cm*]
 h : Altura de la faja transportadora [*cm*]
 T : Torque de la faja transportadora [*cm*]
 Pot : Potencia del motor eléctrico [*Hp o Watt*]
 Vel : Velocidad del motor [*rpm*]
 H_{mot} : Altura máxima de trabajo del motor [*msnm*]
 I_{pmotor} : Grado de protección del motor [*adimensional*]
 F : Frecuencia [*Hz*]
 $Potvar$: Potencia del variador [*Hp o Watt*]
 F_{out} : Frecuencia de salida del variador [*Hz*]
 $Vel2$: Velocidad reducida por el moto reductor [*rpm*]
 $Vel3$: Velocidad de la faja transportadora [*rpm*]
 t_1 : Tiempo de una revolución del rodillo [*s*]

Capmin : Capacidad promedio de procesamiento minuto [Kg

Caphor : Capacidad promedio de procesamiento hora [Kg]

Capdia : Capacidad promedio de procesamiento dia [Kg]

Dvas : Diámetro del Vástago [mm]

Demb : Diámetro del embolo [mm]

Fnet : Fuerza neta [N]

Lcarr : Longitud de carrera [mm]

Larg : Largo del tablero eléctrico [cm]

Anc : Ancho del tablero eléctrico [cm]

Profu : Profundidad [cm]

Prmin : Producción por minuto [kg/minuto]

Pman : Peso promedio de mandarinas [gramos]

Nma : Cantidad de mandarinas por minuto [adimensional]

Prhor : Producción por hora [kg/hora]

Prdia : Producción por día [kg/día]

RESUMEN

El incremento de la demanda de mandarinas, en el mercado internacional, requiere de una gestión más efectiva de los procesos durante la postcosecha. En la presente tesis, se propone el desarrollo del prototipo clasificador de mandarinas por dimensiones físicas para la selección de 2tn/día de mandarinas producidas por los agricultores del valle de Cañete, al sur de Lima. Esta investigación comprende la realización de los diseños e implementación de las etapas: selector óptico, selector electroneumático, faja transportadora, control electrónico con PLC y el tablero eléctrico. El desarrollo del prototipo se inicia mediante un análisis del estado del arte actual de las investigaciones en la selección de frutas, así como equipos y máquinas, que existen en el mercado internacional, adquiridos por empresas de alta producción. Además, el modelamiento y análisis de las etapas que conforman el prototipo y se determinan los dispositivos que se utilizarán en cada bloque.

El diseño genera un impacto favorable en los agricultores del valle de Cañete con lo que se mejora la producción de mandarinas, en la que se seleccionan las mandarinas de manera eficiente, y permiten la recuperación de la inversión. Se logró obtener una producción de 3.6tn/día.

ABSTRACT

The increase on the demand for mandarins, in the international market, requires of a more effective management of the processes during postharvest. In the present thesis, the development of the prototype classifier of mandarins by physical dimensions is proposed for the selection of 2tn / day of mandarins produced by the farmers of Cañete valley, south of Lima. This investigation includes the realization of the designs and implementation of the stages: optical selector, electropneumatic selector, conveyor belt, electronic control with PLC and the electrical panel. The development of the prototype begins with an analysis of the state of the art of research in the selection of fruits, as well as equipment and machines, which exist in the international market, acquired by high production companies. In addition, the modeling and analysis of the stages that make up the prototype and determine the devices that will be used in each block.

The design generates a favorable impact on the farmers of Cañete valley, which improves the production of mandarins, in which mandarins are selected efficiently and allow the recovery of the investment. It was possible to obtain a production of 3.6tn / day.

INTRODUCCIÓN

En América Latina, varios países están trabajando en el desarrollo tecnológico con la idea de generar mayor productividad y producir un valor agregado a sus productos internos, a fin de competir en mejores condiciones en los mercados externos y el Perú está inmerso en esta realidad.

En el año 2017, Perú se consolidó como el primer país exportador de los cítricos mandarina, Clementina y Tangelo en América, que supera a países como Chile, Estados Unidos y Argentina con agroindustrias desarrolladas.

El año pasado, nuestro país envió 143 mil toneladas (TM) de los mencionados cítricos, por US\$ 176 millones, valor que significó un crecimiento del 30% respecto al año 2016. Los principales destinos fueron Estados Unidos, Canadá y Holanda. Sin embargo, en el año 2017, se registró un importante crecimiento de nuestra exportación a China (492%) y a Rusia (170%).

El 93% de la mandarina y de las clementinas exportadas proviene de Ica y Lima según MINCETUR (2018). No obstante, es necesario destacar el crecimiento que viene registrando el cultivo de estos cítricos para exportación en La Libertad y Arequipa. La participación de estas dos regiones en el año 2016 no superaba el 2%, mientras que en el año 2017 la participación conjunta de estas dos regiones aumentó a 6.5%.

En cuanto al tiempo de cosecha de las mandarinas, si bien esta se realiza durante diversos momentos del año debido a la diversidad de microclimas del Perú, el grueso se concentra entre los meses de abril y agosto, y suma alrededor del 85% del total cosechado en el año.

En el caso de Lima, el valle de Cañete es uno de los principales productores de cítricos en la región con un total de 1608 hectáreas de cultivo dedicados a mandarinas según la Agencia Agraria de Cañete. La mayoría de empresas productoras de mandarinas son empresas con tierras de cultivo menores a 10 hectáreas y luego de la cosecha el proceso de tratamiento de la fruta es casi artesanal; sin embargo, hay una sola empresa dedicada al procesamiento de los frutos para la exportación en todo el valle de Cañete. La empresa Agrícola Viña sol SA “AVSA”, la maquinaria que posee permite realizar el lavado de la fruta, el secado, el encerado y por último, el proceso de selección por dimensiones físicas. Esta maquinaria ha sido importada de España a costos muy elevados y la industria local no produce o fabrica este tipo de maquinaria agroindustrial.

El Perú es un país con un potencial muy elevado para la producción de cítricos en toda la costa y la selva, que podría mejorar la situación económica de la población.

Sin embargo, la sorpresa en el mercado de fusiones y adquisiciones la trajo el sector agrícola, que tras ser considerado hasta hace pocos años un sector artesanal y poco moderno, este año fue considerado lo suficientemente atractivo para los inversionistas extranjeros. Con un proceso de consolidación cuyas valorizaciones son cada vez más importantes, el sector agroindustrial es ahora visto como uno de los grandes sectores con potencial de crecimiento en el Perú informa Gestión (2018). De acuerdo con lo indicado se puede establecer el problema de investigación que consiste en la falta de producción o fabricación de equipos clasificadores de frutas para el mercado local del valle de Cañete y del país.

El objetivo general es diseñar un prototipo electrónico clasificador de mandarinas por dimensiones físicas para el valle de Cañete.

Los objetivos específicos son:

- Diseñar un circuito electrónico que realice la función de detectar la dimensión física o tamaño de las mandarinas.
- Desarrollar el sistema de la banda o faja transportadora de la mandarina con velocidad variable.

- Aplicar el sistema clasificador de las mandarinas mediante dispositivos electro neumático.
- Programar e implementar la unidad de control electrónico del equipo clasificador.
- Desarrollar el tablero eléctrico de control.
- Lograr que el prototipo realice una producción de 2tn/día.

El desarrollo del trabajo presentado se justifica en cuanto al impacto tecnológico, que la industria agroindustrial en el Perú de acuerdo con datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura se encuentra en una etapa de gran crecimiento con nuevos mercados a nivel mundial, sin embargo en la actualidad la industria local de procesamiento de frutas aún no se ha desarrollado, por lo cual con el presente diseño se pretende desarrollar un prototipo que permita el acceso de nuevos equipos y maquinaria agroindustrial a todos los productores y agricultores a nivel nacional. Con el desarrollo y comercialización del prototipo clasificador de mandarinas por dimensiones físicas permitirá el incremento de la productividad de empresas y personas, proporcionando una herramienta y un punto de partida que genere la oportunidad de emprender negocios de diseño y fabricación de equipos agroindustriales en sus diferentes etapas o líneas de producción.

El impacto económico se sustenta en que los agricultores de frutas a nivel nacional tienen el inconveniente de no contar con esta tecnología debido a los altos costos que implica importarlo de países más desarrollados en el sector agroindustrial como España, y las pocas empresas que logran adquirir esta tecnología incrementan los costos de sus productos para que compense la inversión realizada en estos equipos. De continuar incrementándose la demanda de mandarinas y otras frutas como se ha venido dando será necesario contar con estas tecnologías para competir con otras industrias de países vecinos como Chile cuya agroindustria está muy desarrollada. En ese sentido el presente proyecto permitirá apoyar el desarrollo económico del sector agroindustrial logrando un mayor nivel de procesamiento de frutas por los diversos agricultores y empresarios exportadores, elevando aún más el nivel de las exportaciones de las mandarinas y otros frutos.

Como impacto medio ambiental el prototipo a diseñar no utiliza materiales contaminantes del medio ambiente para su correcto funcionamiento y dado los equipos eléctricos que utiliza son de bajo consumo de energía eléctrica no incrementara los gastos de producción por concepto de energía eléctrica.

Respecto al impacto social, el prototipo clasificador por dimensiones físicas, luego de ser mejorado y comercializado en la industria local, lograra un impacto social primero en los agricultores del valle de cañete y luego en todos los productores agroindustriales del país por el ahorro de tiempo que implicara la selección de sus frutos, la reducción de los costos de procesamiento de la mandarina, y mayores ingresos para los pequeños agricultores. También se logra un impacto social en las empresas que fabriquen el equipo clasificador porque permitirá generar más puestos de trabajo para técnicos mecánicos, eléctricos y electrónicos y todo el personal administrativo y también para el personal de ventas y soporte técnico.

En los alcances, el prototipo clasificador de mandarinas por dimensiones físicas, realiza la selección en cuatro tamaños distintos, la clasificación se realiza únicamente de acuerdo a la altura de las mandarinas y no por el ancho del mismo o por otras características. El presente estudio está dirigido, en primer, lugar a la necesidad que presentan los productores del valle de Cañete, pero se puede extender a cualquier zona de la costa del país, donde la producción obtenida con el equipo será a mediana escala de hasta 2tn/día.

En las limitaciones, el prototipo desarrollado realiza solo el proceso de selección por dimensiones físicas o tamaño de las mandarinas, llamado también el proceso de calibrado en líneas de producción, no se considera en el presente diseño el proceso de recolección de jabas, el lavado y secado de las mandarinas ni el proceso de encerado y pulido. El ingreso de las mandarinas debe realizarse de uno en uno separado a una distancia mínima de 20cm para un correcto funcionamiento, tampoco se permite el ingreso de 2 o más mandarinas en forma simultánea o paralela.

El prototipo por su diseño no determina si una mandarina se encuentra en buen estado o si tienen los colores o grados de acides adecuados para la exportación, solo realiza la clasificación por tamaño.

La estructura de la tesis comprende cuatro (4) capítulos. El primero aborda los alcances y los antecedentes de la investigación. El segundo explica sobre los materiales utilizados y de cada uno de los métodos utilizados para el desarrollo del modelamiento propuesto. El tercero desarrolla el diseño del prototipo clasificador de mandarinas de acuerdo con los parámetros previamente definidos en los métodos de modelamiento, y en el cuarto capítulo, se ejecutan pruebas de funcionamiento y se muestran los resultados, producto de las simulaciones y validaciones.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Cubero, S. (2012), en su tesis de doctorado, aborda, por una parte, la creación de un sistema de visión por computador instalado en una plataforma de asistencia a la recolección de cítricos sobre la que se analiza una fruta a la vez que se recolecta y se clasifica en diversas categorías en función de su color, tamaño o calidad (presencia de defectos externos). Como se observa en la Figura 1, de la izquierda, se muestra la variabilidad de colores y texturas de las naranjas de un mismo cultivar mientras que el de la derecha muestra una imagen segmentada.

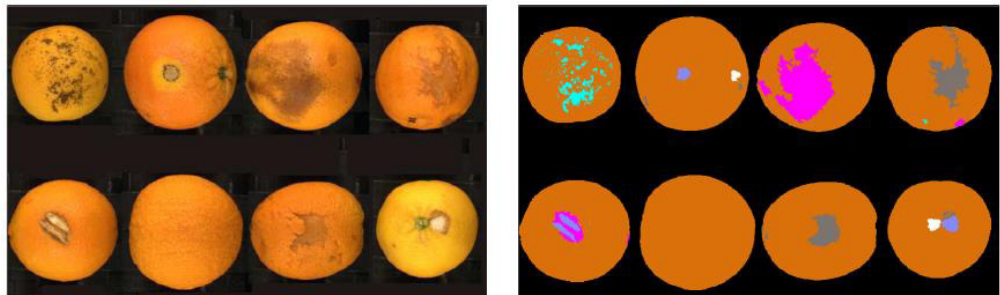


Figura 1. Izquierda: Imagen de naranjas que muestran diversos defectos, colores y texturas en la piel. Derecha: La misma imagen segmentada que muestra los defectos encontrados. Cubero C. (2012).

Los mayores problemas que se presentaron en la tesis de Cubero, C. fueron en el trabajo de campo y se referían a una iluminación inestable, movimientos y vibraciones, energía eléctrica limitada o efectos de la intemperie. Para ello fue necesario diseñar un sistema de visión por computador compacto, robusto, rápido y muy eficiente energéticamente y unos algoritmos específicamente adaptados al entorno de campo. Las

soluciones que propusieron incluyeron, entre otras, un diseño compacto, iluminación LED en modo estroboscópico o una cámara inteligente que minimizan el consumo eléctrico.

Romero, A. y Marín, A. (2015) presentan una aplicación de visión artificial utilizando el Toolbox de procesamiento de imagen de Matlab®. El propósito es clasificar el mango de variedad tipo Tommy de acuerdo a sus características de color y tamaño. Para lograrlo se usa una cámara web que captura la imagen en un área de trabajo determinada para tres mangos como máximo. Se describe además la estructura de programación del código M-file, los métodos de segmentación y reconocimiento para el procesamiento de la imagen y la obtención de gráficas y resultados que describen el proceso de clasificación mediante la red de decisión.

Uno de los problemas que se presenta en la tesis esta referenciada a la continua modificación del programa ajustando a un nuevo producto o característica del mismo, es decir no es un equipo el cual se calibre por única sino requiere un ajuste en el programa de forma continua.

Cruz, E. (2012), en su tesis de grado “Sistema electrónico de calibración de fruta por diámetro”, desarrollado en la Universidad Central de Catalunya España, tuvo como objetivo analizar y de evolucionar las existentes calibradoras de fruta instalando un sistema industrial de visión artificial (rápido y robusto) que trabaje en un rango de espectro Infrarrojo (mayor fiabilidad) proporcionando óptimos resultados finales en la clasificación de las frutas, verduras y hortalizas. De este modo, el presente proyecto ofrece la oportunidad de mejorar el rendimiento de la línea de clasificación de frutas, aumentando la velocidad, disminuyendo pérdidas en tiempo y error humano y mejorando indiscutiblemente la calidad del producto final deseada por los consumidores. Sin embargo, a pesar de realizar la detección del tamaño de la fruta por diámetro trabajando con visión artificial no logra determinar el estado de una fruta, es decir, si presenta algún daño o si la coloración de la fruta no es la indicada, tampoco detecta el nivel de azúcar o de acidez.

La empresa UNITEC de origen italiano fábrica máquinas calibradoras, seleccionadoras, líneas de proceso de mandarinas y clementinas, la tecnología que desarrolla es muy flexible por lo que en la misma línea de producción de las mandarinas y las clementinas, se pueden tratar muchas otras frutas, pero de preferencia que sean de forma esférica o alargada, como algunas variedades de naranjas, limones, kiwis, manzanas, melocotones, ciruelas, etc. en la Figura 2, se observa parte de una línea de producción de la calibradora UNICAL 300



Figura 2. Línea de producción Unical 300,
Fuente: Empresa Unitec Italia.

La empresa Avilés Hernández Maquinaria Industrial es una empresa pionera en la fabricación de líneas de empaque para cítricos a nivel de todo el país de México y cuenta con más de 40 años de experiencia siendo los primeros clientes los exportadores de Limón Persa más grande del país. Los procesos selección por tamaños o dimensiones físicas lo realiza con sistemas de clasificación electrónica de alto rendimiento. En la Figura 3, se observa el proceso de volcado de rejillas o jabas.

1.2 Bases teóricas

Gómez, J. (2013) es su tesis de grado menciona y describe las diversas etapas de un variador de velocidad y explica el funcionamiento, desde un punto de vista constructivo. Sin embargo nos permite conocer y entender las características de un variador de velocidad el cual está formado básicamente por convertidores AC/DC/AC.



Figura 3. Volcado de rejas.

Fuente: Empresa Avilés Hernández. México

El bloque AC/DC es un bloque que rectifica y filtra la tensión de alimentación, y un bloque posterior DC/AC se encarga de generar un voltaje alterno de voltaje y frecuencia variable de acuerdo a una señal de control. Entre las principales desventajas de este esquema tenemos:

- Generación de armónicos de alta frecuencia debido a la frecuencia de conmutación de las ondas PWM.
- Uso de condensadores de gran capacidad que incrementan el costo del equipo y que con el tiempo van disminuyendo su capacidad.
- Pérdida de potencia en el bus DC.

A pesar de estas desventajas este esquema presenta la ventaja que es relativamente sencillo controlar el voltaje y la frecuencia de salida. Las principales técnicas para generar voltajes alternos son: modulación por ancho de pulso e inversores multinivel.

Modulación por ancho de pulso. La modulación por ancho de pulso se basa en la conversión de una señal de entrada continua $u(t)$ en una secuencia de instantes de conmutación t_i . Los instantes de conmutación están determinados por la intersección entre la señal de referencia $u(t)$ y una señal portadora triangular $U_t(t)$ con frecuencia constante. La pendiente lineal de $U_t(t)$ asegura que el ciclo de trabajo del voltaje de salida conmutado varía

proporcionalmente a la señal de referencia $u(t)$. Para determinar la frecuencia de modulación es importante tener en cuenta el criterio de Nyquist. Las formas de onda de un modulador por ancho de pulso se muestran en la Figura 4.

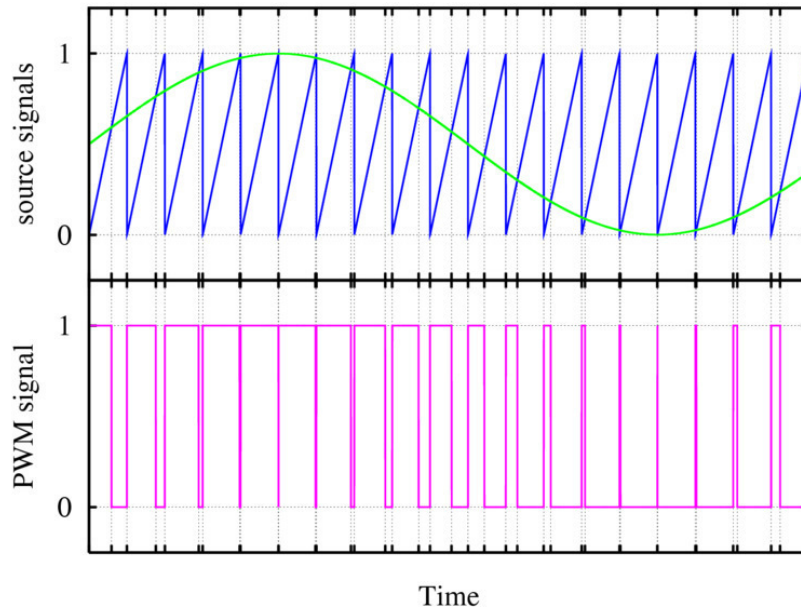


Figura 4. Formas de onda de un modulador por ancho de pulso. Por Gómez J. (2013). *Diseño e implementación de un variador de velocidad de costo para un motor trifásico de inducción de 4Hp.*

El control por frecuencia consiste en el control de velocidad de un motor de inducción en función de la frecuencia de alimentación del motor y basa su principio de operación en las siguientes relaciones de las variables de un motor de inducción como se muestra en la Ecuación (1):

$$RPM = 120 \cdot \frac{F}{P} \quad (1)$$

Donde:

RPM : Velocidad de giro del motor en Revoluciones por minuto.

F : Frecuencia de la tensión de alimentación.

P : Numero de polos del motor.

También nos permite determinar el flujo magnético en el motor a través de la Ecuación (2) como se muestra a continuación:

$$B = \frac{Vol}{F \cdot K} \quad (2)$$

Donde:

B : Flujo magnético.

Vol : Voltaje.

K : Constante.

Esta técnica aprovecha la relación entre la velocidad de giro del motor y la frecuencia de la tensión de alimentación. Se realiza el control de velocidad controlando la frecuencia de la tensión de alimentación y conociendo la cantidad de polos del motor de acuerdo a la Ecuación 1. Sin embargo, se debe tener cuidado con no saturar el flujo magnético del motor, por lo que se debe variar el voltaje de la tensión de alimentación proporcionalmente con la frecuencia de tal manera que el flujo magnético se mantenga constante de acuerdo a la Ecuación 2.

Según Guaguancela, X. y Sáez, G. (2011) en su tesis de grado menciona que el principio de funcionamiento de los motores asíncronos está basado en la producción de un campo magnético giratorio. Consideremos un imán permanente NS y un disco de cobre que puedan girar libremente alrededor de un mismo eje XY como se muestra en la Figura 5. Cuando el imán, movido por un artificio cualquiera, gira, el campo magnético producido gira igualmente y barre el disco. Este disco conductor, pero no ferromagnético, es recorrido ahora por corrientes inducidas debidas a la variación de campo a la que está sometido.

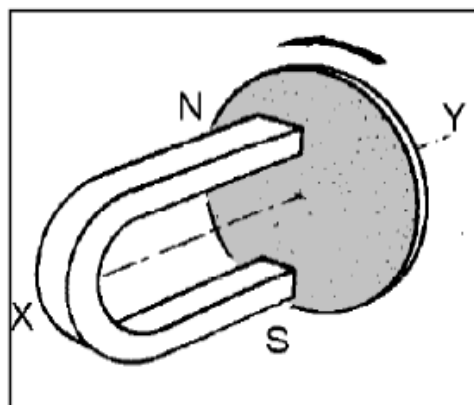


Figura 5. Funcionamiento de un motor Asíncrono. Por Guaguancela, X. y Sáez, G. (2011). Dotación y aplicación de un módulo con variador de velocidad para la simulación de control de arranque y velocidad de motor de una grúa.

Estas corrientes inducidas en el disco crean a su vez un campo inducido. Este campo tiende a seguir al campo giratorio creado por el imán, dando un par motor suficiente para vencer el par resistente de su propio rozamiento y provocar la rotación del disco.

El sentido de rotación, indicado por la ley de Lenz, tiende a oponerse a la variación del campo magnético que ha dado origen a las corrientes. El disco es deslizado en el sentido del campo giratorio a una velocidad ligeramente inferior a la de este deslizamiento. Como la velocidad del disco giratorio es inferior a la del campo giratorio, este tipo de motor se llama asíncrono. En la Figura 6, se observa la estructura de un motor asíncrono.

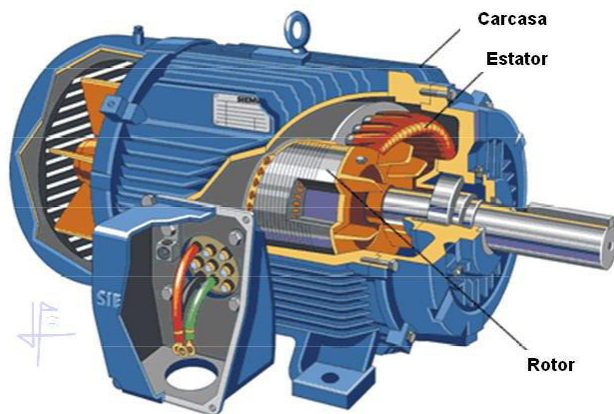


Figura 6. Partes de un motor Asíncrono. Por Guaguancela, X. y Sáez, G. (2011). Dotación y aplicación de un módulo con variador de velocidad para la simulación de control de arranque y velocidad de motor de una grúa.

Características eléctricas principales

- Potencia, P_o (en kW),
- Tensión nominal, U (en V),
- Frecuencia, F (en Hz),
- Intensidad de corriente, I (en A),
- Velocidad de giro nominal, n (en r.p.m.),
- Rendimiento, η (adimensional),
- Factor de potencia, $\cos\phi$ (adimensional).

En un motor eléctrico asíncrono en caso de variar la tensión o frecuencia se tiene consecuencias en sus características eléctricas y

mecánicas. En caso de aumento o disminución de la tensión se obtiene las siguientes consecuencias:

Velocidad. La variación de tensión no modifica la velocidad de rotación del campo giratorio inductor. Pero, en un motor con carga, un aumento de la tensión conlleva una disminución del deslizamiento y como consecuencia de la velocidad del motor. Este fenómeno está limitado por la saturación de la máquina. Por el contrario, si la tensión de alimentación disminuye, el motor pierde velocidad.

Par. El par motor es directamente proporcional al cuadrado de la tensión. Por tanto, aumenta cuando la tensión es más elevada e inversamente disminuye considerablemente cuando baja la tensión. Si un motor se ha calculado demasiado justo, puede no arrancar o pararse, con el riesgo de autodestrucción, si la disminución de tensión se mantiene.

Intensidad de arranque. Varía proporcionalmente a la tensión de alimentación. Si ésta aumenta, la intensidad absorbida en el instante del arranque aumenta. Por el contrario, si la tensión disminuye, la intensidad de arranque disminuye. La intensidad en régimen permanente varía de forma análoga.

En caso del aumento o disminución de frecuencia se obtiene las siguientes consecuencias

Velocidad. En un motor asíncrono, como se ha visto anteriormente, la velocidad de sincronismo es proporcional a la frecuencia. Esta propiedad se utiliza frecuentemente para hacer funcionar a grandes velocidades los motores especialmente diseñados para una alimentación de, por ejemplo, 400 Hz, (aparatos de laboratorio o quirúrgicos, etc.).

Par. A tensión constante el par es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia. Si ésta aumenta, el par desarrollado por el motor

disminuye considerablemente. A la inversa, si la frecuencia decrece, el par crece.

Intensidad de arranque. A tensión constante, la intensidad de arranque varía en sentido inverso a la frecuencia. En régimen permanente, la intensidad es la misma. Estas variaciones de par y de corriente son generalmente molestas. En la práctica, para evitarlas, se aconseja variar la tensión de alimentación proporcionalmente a la frecuencia.



Figura 7. Cinta Transportadora por rodillos. Por Suarez, A. (2016). Sistema de información de tráfico en cintas transportadoras mediante WSN. (Tesis de grado, Universidad de Sevilla, España.)

Suarez, A. (2016) en su tesis de titulación hace referencia a los diferentes tipos de cintas transportadoras definiéndolos como elementos fundamentales en el esquema de los procesos industriales automatizados. Hace una descripción de los diferentes tipos de cintas transportadoras como los de rodillo los cuales son muy utilizados en la industria como se muestra en la Figura 7, tienen un armazón fijo y son usadas para el reparto de cargas durante las operaciones de procesado y almacenamiento automático.

También se encuentran las cintas transportadoras con ruedas, con cintas planas, y con cadenas.

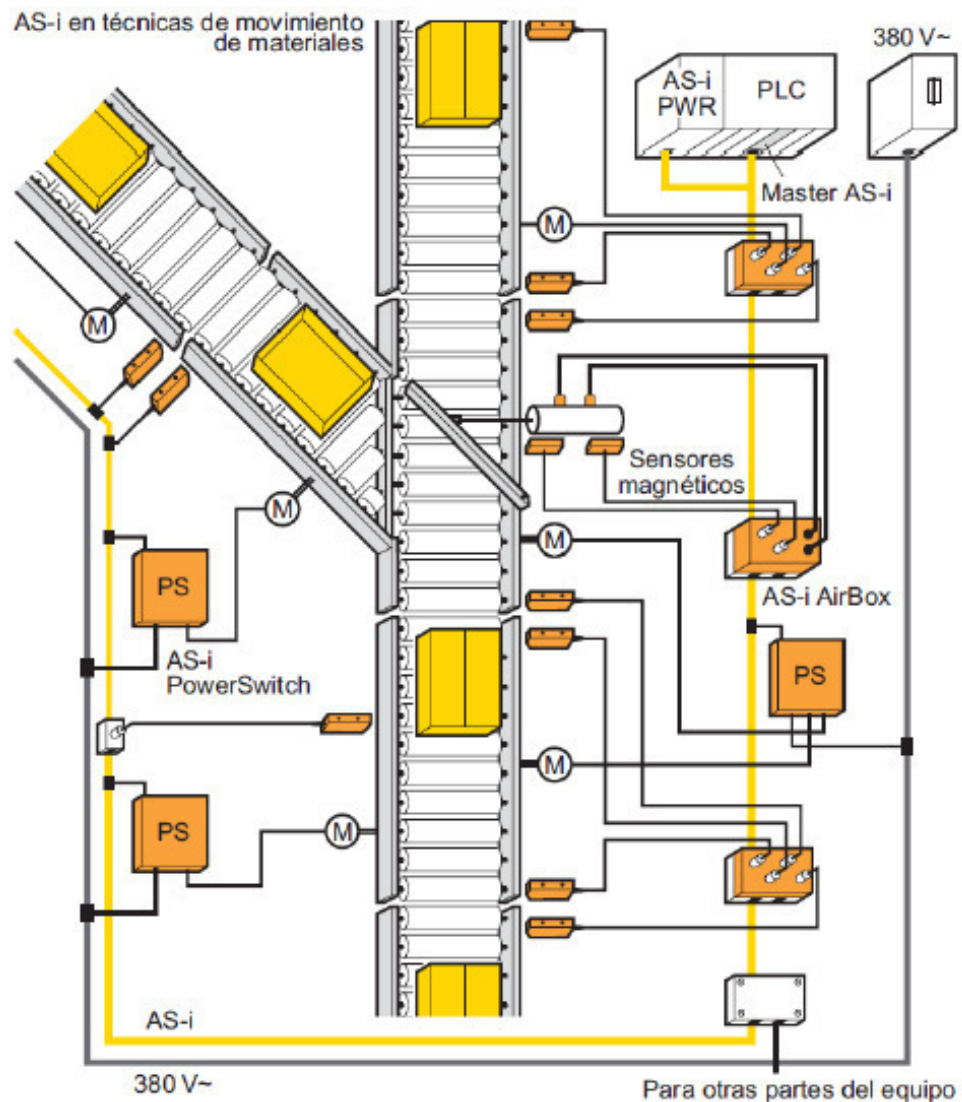


Figura 8. Bus AS-i en una cinta transportadora. Por Suarez, A. (2016). *Sistema de información de tráfico en cintas transportadoras mediante WSN.* (Tesis de grado, Universidad de Sevilla, España.)

Las cintas transportadoras con cintas planas también son una opción muy utilizada, sin embargo, en la actualidad se tiende a incorporar las redes industriales para dotar de mayor inteligencia a las cintas transportadoras, así con el objetivo de contextualizar gráficamente el bus AS-i se observa en la Figura 8 el ruteado de este tipo de cinta transportadora en una planta de transporte industrial.

García-Ramos, J. Ruiz-Altisent, M. (1999) en su estudio de tres tipos de calibradores en líneas de Clasificación de melocotón y albaricoque en la provincia de Valencia Tres tipos de calibradores (dos calibradores electrónicos de tazas, un calibrador, La fruta está sujeta a varios procesos desde su acopio

en el campo hasta distribución de su venta en los establecimientos comerciales, lugares en donde se producen daños bajan la calidad y su valor comercial. Siendo estos del tipo mecánicos: magulladura siendo estas vías de entradas de patógenos. Por ello, se ha demostrado que un 10 % de los frutos denominados de Categoría I cumplen la normativa comunitaria. Los procesos y maquinaria de manipulación de fruta son cada día más complejos, En este sentido, se han realizado varios estudios en tres cooperativas de la provincia de Valencia con el objetivo de evaluar y comparar el daño potencial infligido a la fruta (melocotón y albaricoque) por tres tipos de instalaciones de calibrado (dos calibradores electrónicos de tazas, un calibrador electrónico de dedos y un calibrador mecánico de rodillos basculantes) desde el punto de vista de las transferencias implicadas en este proceso, principalmente la salida de la fruta después del calibrado.

Según Aguilar, K. (2013), en su tesis de grado indica que un sistema Automático de Control se refiere a un conjunto de componentes físicos conectados de tal manera que regulan su actuación por sí mismos, sin intervención de agentes exteriores, corrigiendo los posibles errores que se presenten desarrollando un sistema predictivo.

En la actualidad los sistemas automáticos están inmersos en muchos campos, mejorando nuestra calidad de vida, tal es así que en los procesos industriales mejoran la calidad de los productos, reduciendo los costos de producción. En los hogares desde un simple artefacto hasta un control inteligente de edificios (domótica) en el área de la ciencia por ejemplo la constitución de las misiones espaciales. Sus aplicaciones son innumerables. Con ello se busca principalmente aumentar la eficiencia del proceso incrementando la velocidad. Por esta razón se ha realizado el diseño e implementación de un clasificador de granos automático, mediante un sistema por sensores el cual aportará al bienestar y mejorar el proceso de clasificación de este producto en el sector agrícola el cual se convertirá en una guía técnica práctica en el manejo del sistema de separación de granos moderno, disminuyendo el tiempo que le toma al agricultor clasificar manualmente los granos de calidad.

Según Castro, J. y Martínez, G. (2011), en su Tesis de una “Banda transportadora semiautomática para la fabricación de tanques de combustible de vehículo de carga” del Instituto Politécnico Nacional - Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. México, Dic 2011.

La tesis basa su funcionamiento en tres (3) grandes sistemas como lo son de transporte del objeto, neumático y de control. El fin es el ahorro de tiempo y disminuir riesgos en el transporte del tanque que muchas veces viaja de estación a estación de trabajo ya con ciertas averías y hasta muchas veces irreparables. En base a los respectivos estudios realizados, identificaron que el sistema tendrá 24 entradas y 18 salidas, lo cual sirvió para la selección del PLC EASY-618-AC-RE. Realizaron también cálculos:

- Eléctricos para la etapa de torres de lámpara indicadoras, motores y PLC.
- Calibre de los conductores.
- Moto reductor.
- Potencia requerida por el motor.

La tesis se aporta con la con conceptos que permiten realizar una correcta elección de los cilindros neumáticos. Es por tal motivo que se utiliza como referencia importante para la fabricación de la etapa de selección mediante dispositivos electroneumáticos.

Según la tesis de Igno, O. (2010), en su tesis de maestría utiliza la ciencia óptica para la clasificación del tomate por tamaño y color, también es importante el uso de la visión por computadora, el cual aporta en la adquisición y procesamiento en las imágenes en tiempo real. Para el cálculo del tamaño, se mide el diámetro del tomate mediante la proyección de una línea de luz láser en el sentido vertical.

El tamaño está basado en el diámetro, que se calcula usando análisis de componentes principales. Además, mediante la proyección de una línea de luz láser sobre la fruta se determina el diámetro en el sentido vertical, para realizar la clasificación de acuerdo con las normas vigentes en México. La

proporción de color se calculó en el espacio de color CIELCH, el tono H predominante se comparó con una referencia.

El autor separa en dos grandes bloques la tesis que detallamos a continuación:

- El desarrollo de algoritmos computacionales con fines del procesamiento de las imágenes en tiempo real.
- El desarrollo del sistema opto mecatrónico que incluye la cámara, sistema óptico, cinta transportadora, parte mecánica y electrónica.

Se elabora también una interfaz electrónica que comunica la computadora y el pistón; por lo que es importante los niveles de corriente y voltaje, así como la sincronización del sistema.

La clasificación por tamaño el autor lo toma bajo la norma NMX-FF-009 (Norma mexicana para diámetro de frutas, 1982), que indica en el caso del tomate la forma tipo bola y alargado. Esta tesis se utiliza como referencia ya que realiza la clasificación del tomate de acuerdo al tamaño utilizando la tecnología óptica y el proceso de la salida del selector bajo sistemas neumáticos, mecánicos y electrónicos.

Según Bonifaz, C. y Pallasco, M. (2017), en su tesis de titulación "Diseño y construcción de una maquina clasificadora de fresas a razón de 100 kg/hora" describe los procesos de producción desde la siembra hasta el consumo final, es por ello que existe una necesidad agroindustrial que ayuden a resolver problemas con la clasificación, y la necesidad de una máquina clasificadora por tamaños que ayuden a definir en base a diversos criterios la mejor selección.

La fresa es una fruta que en Ecuador el cultivo está en crecimiento, el proceso de selección se viene dando por el método manual y mecánico, identificando una relación directa entre los recursos humanos y el tiempo que se utiliza. Con fines de reducir los recursos humanos y minimizar los tiempos, la tecnología es un aporte importante en el método mecánico.

En Ecuador se estima que existen más de 800 hectáreas de cultivo de fresa y principalmente en las zonas andinas.

Por lo referido líneas arriba y con el fin de una óptima clasificación de las fresas, se decidió realizar una máquina capaz de clasificar 100 kg/horade fresa y con ello mejorar la producción.

Nos detalla tres (3) modos de clasificación:

- Clasificación por cilindros rotatorios, el cual se compone de 5 cilindros perforados que rotan cuando se ponen en marcha. Cada cilindro está perforado, con agujeros para permitir que las frutas caigan.
- Clasificación por rodillos, este método comprende del transporte de la fruta una sección de cinco ejes en ángulo y cuyo diámetro se va reduciendo paso a paso.
- Clasificación por correas divergentes, diversas correas que se mueven a una velocidad, a medida que se realiza el transporte de la fruta la distancia entre los ejes aumenta.

Según Piñero, J. (2015), en su tesis de fin de carrera “Control de un motor de inducción usando variador de frecuencia” realiza el análisis del accionamiento eléctrico del motor controlado por los variadores de frecuencia. Describe los diferentes tipos de motores y las partes que lo componen como es el rotor y estator, del tipo jaula de ardilla o bobinado y en el estator están las bobinas inductoras basando su funcionamiento en la interacción de estator y rotor gobernado por la inducción electromagnética.

Los principales parámetros que influyen el funcionamiento de esta máquina son la velocidad síncrona en revoluciones por minuto, frecuencia del sistema eléctrico y números pares de polos del motor.

El método más sencillo y usado en la industria es de un controlador de frecuencia ya que podemos obtener un amplio rango de velocidades y ahorro de energía, que solo usa su máxima potencia en determinados momentos.

En el rectificador se realiza la transformación de corriente alterna en continua (la más usual es el puente de diodos) y en la parte del inversor transforma la corriente continua en otra, pero con variables usando pulsos.

En el inversor, podemos tener el grupo de 6 pasos y PWM (pulsos cuadrados que alimenta al motor). Para realizar la mejor selección del variador se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos: tipo de carga, par de arranque, freno regenerativo, condiciones ambientales y aplicación industriales.

Como detalle adicional del variador, se debe resguardar siempre en las conexiones eléctricas mediante: interruptor termo magnético, contador de línea, inductancia de línea y filtro de radio de perturbaciones. El bloque del control electrónico estará gobernado por un controlador lógico programable PLC, el cual utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario como funciones lineales, secuencias, temporizaciones, recuentos y funciones aritméticas.

1.3 Definición de términos básicos

1.3.1 Controlador lógico programable

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) que dice que un PLC es: "Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos".

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

1.3.2 Variador de velocidad

Un variador de corriente alterna es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad de rotación de un motor de C.A. o de inducción. Este tipo de motores también se conocen como motores asíncronos o en jaula de ardilla. El variador de velocidad se coloca entre la red y el motor. El variador recibe la tensión de red a la frecuencia de red (50Hz) y tras convertirla y después ondularla produce una tensión con frecuencia variable.

La velocidad de un motor va prácticamente proporcional a la frecuencia. Además de cambiar la frecuencia, el variador también varía el voltaje aplicado al motor para asegurar que existe el par necesario en el eje del motor sin que surjan problemas de sobrecalentamiento.

1.3.3 Electroneumática

La neumática es un sistema de transmisión de energía a través de un fluido (aire comprimido). La palabra "neumática" proviene del griego "pneuma" que significa aliento o soplo. Aunque el término debe aplicarse en general al estudio del comportamiento de los gases, este término se ha adecuado para comprender casi exclusivamente los fenómenos de aire comprimido o sobre presión (presión por encima de una atmósfera) para producir un trabajo. La automatización industrial, a través de componentes neumáticos, es una de las soluciones más sencillas, rentables y con mayor futuro de aplicación en la industria. El aire comprimido es la mayor fuente de

potencia en la industria con múltiples ventajas. Es segura, económica, fácil de transmitir, y adaptable. Su aplicación es muy amplia para un gran número de industrias. Algunas aplicaciones son prácticamente imposibles con otros medios energéticos.

Dentro del campo de la producción industrial, la neumática tiene una aplicación creciente en las más variadas funciones. En la actualidad, la necesidad de automatizar la producción no afecta únicamente a las grandes empresas, sino también a la pequeña industria. Incluso la industria artesana se ve obligada a desarrollar métodos de producción racionales que excluyan el trabajo manual y no dependan de la habilidad humana. La fuerza muscular y la habilidad manual deben sustituirse por la fuerza y precisión mecánica. La fuerza neumática puede realizar muchas funciones mejor y más rápidamente, de forma más regular y sobre todo durante más tiempo sin sufrir los efectos de la fatiga. Las aplicaciones de la neumática en la industria son variadas: manipulación, posicionado, alimentación, avance lineal, avance circular, accionamiento de puertas, dosificación, regulación de nivel. Dosificación en función del volumen, dosificación en función del peso, montaje, torneado, fresado, taladrado, aplicaciones en acabados de precisión, máquinas de serigrafiado, automatización de una prensa, automatización de un dispositivo para encolar o pegar, automatización del tapo nado de botellas, máquina de moldear y otros procesos de fabricación.

1.3.4 Dispositivos fotónicos

Según Maza, D. y Martínez, A. (2017). En su tesis de grado “Fabricación de dispositivos fotónicos integrados” explica que los dispositivos fotónicos y opto electrónicos forman el elemento fundamental en numerosas tecnologías ligadas a la telecomunicación y a la energía de gran importancia en la actualidad. Entre estos dispositivos figuran las guías de onda ópticas, la fibra óptica, diodos emisores de semiconductor, fotodiodos, células solares, y una amplia gama de elementos adicionales tales como multiplexores, amplificadores ópticos, moduladores electroópticos. Así dentro de esta clasificación de dispositivos electrónicos se abordan tanto el funcionamiento y características de este tipo de dispositivos como su integración y el

funcionamiento global por un lado de sistemas de comunicaciones ópticas y por otro lado de sistemas de generación eléctrica basados en células solares.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1 Material

Para realizar el diseño del prototipo clasificador de mandarinas por dimensiones físicas se ha hecho uso de una laptop Toshiba para realizar los diseños y las simulaciones correspondientes, el software del Tía Portal v12 de Siemens para la programación del PLC y el software Inventor para el diseño de la estructura mecánica del prototipo clasificador, de los cuales se da alcance de las características de cada una:

2.1.1 Laptop

En la tabla 1, se observa las características de la laptop utilizada para en la presente tesis.

Tabla 1. Características de laptop - Especificaciones

Características	
Marca	Toshiba
Modelo	Satellite L515-SP4031
Procesador	Intel® Pentium® processor T4500 o 2.3GHz, 1MB L2 Cache, 800MHz FSB
Memoria RAM	2GB DDR3 800 Mhz ampliable a 4GB
Disco duro	250 GB 5400 RPM
Pantalla	LED 14" HD (1366x768) Antirreflejo
Unidad Óptica	DVD+RW

Características	
Tarjeta de video	Intel HD 4400
Conectividad	LAN 100/1000M Wi-Fi intel b/g/n Bluetooth 4.0
Multimedia	Cámara web HD integrada Entrada para auriculares estéreo/micrófono Altavoces VGA
Puertos y ranuras	VGA, USB, Network (RJ-45) Lector de tarjetas de memoria Audio in/out.
S.O.	Windows 7
Batería	6 celdas
Peso	Desde 2.3 Kg.

Fuente: Toshiba
Elaboración: los autores.

2.1.2 TIA Portal V12

Es el nuevo software de ingeniería de la marca Siemens que reúne en un solo entorno de desarrollo todos los sistemas de ingeniería de automatización. Constituye un hito en el desarrollo de software: Se trata del primer software de automatización para todo el sector con "One Engineering Environment" (un solo proyecto de software para todas las tareas de automatización).

Es decir, TIA portal es el primer software de programación de controladores lógicos controladores PLC de todas las gamas en la cual antes cada gama tenía un propio software de programación, también permite la programación de toda la gama de paneles de interface hombre maquina HMI y de los sistemas basados en PC o llamados también Scada.

2.1.3 Inventor 2017

Autodesk Inventor es el programa para diseño mecánico avanzado en 3D, con modelado paramétrico, directo y libre, tiene una capacidad para realizar diseño de piezas, sus dibujos y ensambles de partes. En una nueva versión, Inventor permite la simulación por elementos finitos, sistemas de

movimientos, chapa metálica, ruteo de cables, plástico, moldes y administración de datos.

Con un programa como Autodesk Inventor, los diseñadores e ingenieros pueden concretar sus ideas, crear modelos 3D y documentarlos para la vida real, también es posible someter el diseño a una validación virtual variando sus parámetros, analizando su resistencia, desde la optimización de su forma hasta la preparación de moldes. Este escenario se puede contemplar para una pieza o para una maquina conformada por ensambles de piezas. Inventor tiene un enlace con la aplicación en la nube Fusión 360 que lee los datos de la geometría sólida y extiende la información del diseño a más personas en la nube.

2.1.4 Dispositivos Optoelectrónicos

2.1.4.1 Led infrarrojo

El diodo IRLED (del inglés Infrared Light Emitting Diode), es un emisor de rayos infrarrojos que son una radiación electromagnética situada en el espectro electromagnético, en el intervalo que va desde la luz visible a las microondas. Estos diodos se observan en la Figura 9, se diferencian de los LED por el color de la cápsula que los envuelve que es de color azul, gris o transparente. El diámetro es generalmente de 5 mm.



Figura 9. Led infrarrojo SIR383
Fuente: Everlight Electronics Co., Ltd.

El diodo led infrarrojo que se utiliza en el presente proyecto tiene como código SIR383. Diodo emisor de infrarrojos de EVERLIGHT (SIR383) es un diodo de alta intensidad, moldeado en un paquete de plástico transparente azul. El dispositivo está espectralmente emparejado para

trabajar con fototransistores, con fotodiodos y módulos receptores de infrarrojos. Presenta las siguientes características a una temperatura de 25°C.

2.1.4.2 El fototransistor

El fototransistor es un fotodetector que trabaja como un transistor clásico, pero normalmente no tiene conexión del terminal de base y se observa en la Figura 10. En estos transistores la base está reemplazada por un cristal fotosensible que cuando recibe luz, produce una corriente y desbloquea el transistor. En el fototransistor la corriente circula sólo en un sentido y el bloqueo del transistor depende de la luz; cuanto más luz hay más conduce.



Figura 10. Fototransistor st-1kl3b,
Fuente: KODENSHI KOREA CORP.

El fototransistor reacciona con la luz visible y también con los rayos infrarrojos que son invisibles. Para distinguirlo del LED su cápsula es transparente. En el fototransistor, al igual que en los LED, la polaridad viene dada por la longitud de sus patas, pero con una diferencia muy importante; en el fototransistor la pata larga es el negativo (-), al revés que, en los LED, que es el positivo (+).

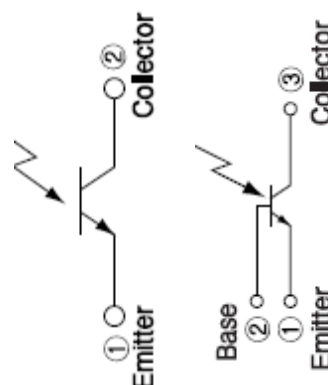


Figura 11. Símbolos de Fototransistores
Fuente: KODENSHI KOREA CORP.

La Figura 11, se muestra los símbolos más utilizados para los fototransistores de 2 y tres terminales.

2.1.5 Cilindros neumáticos

Los cilindros neumáticos son unidades que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o en fuerzas prensoras. Básicamente, consisten en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón. Al introducir un determinado caudal de aire comprimido, este se expande dentro de la cámara y provoca un desplazamiento lineal. Si se acopla al embolo un vástago rígido, este mecanismo es capaz de empujar algún elemento, o simplemente sujetarlo. La fuerza de empuje es proporcional a la presión del aire y a la superficie del pistón como se muestra en la Ecuación 3:

$$F_{uz} = p_1 \cdot A \quad (3)$$

Donde:

F_{uz} = Fuerza.

p_1 = Presión manométrica.

A = Área del émbolo o pistón.

2.1.5.1 Cilindros de simple efecto

Uno de sus movimientos está gobernado por el aire comprimido, mientras que el otro se da por una acción antagonista, generalmente un resorte colocado en el interior del cilindro. Este resorte podrá situarse opcionalmente entre el pistón y tapa delantera (con resorte delantero) o entre el pistón y su tapa trasera (con resorte trasero).



Figura 12. Cilindro de simple efecto.

Fuente: Festo Neumatic

Realiza trabajo aprovechable sólo en uno de los dos sentidos, y la fuerza obtenible es algo menor a la que da la expresión $F_{uz} = p1.A$ pues hay que descontar la fuerza de oposición que ejerce el resorte. Se observa en la Figura 12, al cilindro de simple efecto.

2.1.5.2 Cilindros de doble efecto

El pistón es accionado por el aire comprimido en ambas carreras. Realiza trabajo aprovechable en los dos sentidos de marcha. En la Figura 13, se observa el cilindro de doble efecto que se caracteriza por tener dos entradas de aire a presión.

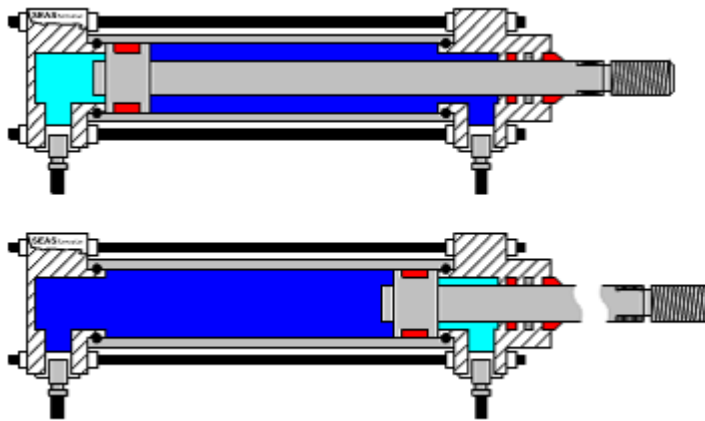


Figura 13. Cilindro de doble efecto.
Fuente: Festo Neumatic

2.1.6 Electroválvula

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide. Generalmente no tiene más que dos posiciones: abierto y cerrado, o todo y nada. Las electroválvulas se usan en multitud de aplicaciones para controlar el flujo de todo tipo de fluidos. Se puede observar una electroválvula utilizada en el presente proyecto en la Figura 14.

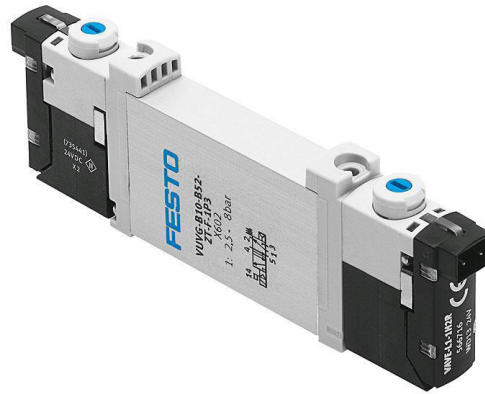


Figura 14. Electroválvula neumática.
Fuente: FESTO recuperado de su página web

2.1.7 PLC S7-1200 de Siemens

Un autómata programable (AP) o controlador lógico programable se observa en la Figura 15, es un equipo electrónico programable diseñado para ser utilizada en un entorno industrial (hostil), que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencias, temporizaciones, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas diversos tipos de máquinas o procesos.



Figura 15. PLC s7-1200 CPU 1214C.
Fuente: Siemens recuperado de su página web

Permiten simplificar la acción de controlar procesos secuenciales y repetitivos en la industria la Figura 16 muestra el equivalente entre los sistemas de control por lógica cableada y los PLC.

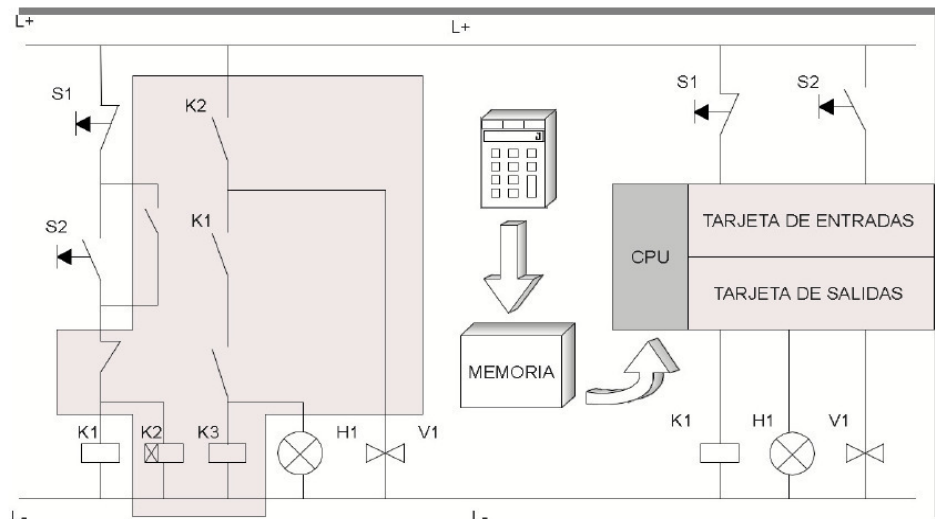


Figura 16. Control por lógica cableada vs Control con PLC.
 Fuente: Armesto, J. (2008) Instalación de sistemas de Automatización y Datos Universidad de Oviedo, España

Ventajas del uso de los PLC:

- Los PLC son herramientas de fácil manejo por medio de software de programación y configuración.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar cableado ni añadir aparatos y de fácil interfaz hombre máquina.
- Mínimo espacio de ocupación y menores costes de instalación y mantenimiento.
- Posibilidad de controlar varias máquinas con el mismo PLC.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento (cableado reducido)

Inconvenientes:

- Mayor coste inicial de la instalación.
- Necesidad de ingenieros de mantenimiento y programadores adiestrados: Mayor formación.

En la figura 17, se observa la arquitectura de un PLC en el cual se muestran las entradas digitales, las salidas, digitales, los módulos de entradas y salidas digitales y los módulos especiales de comunicación y control.

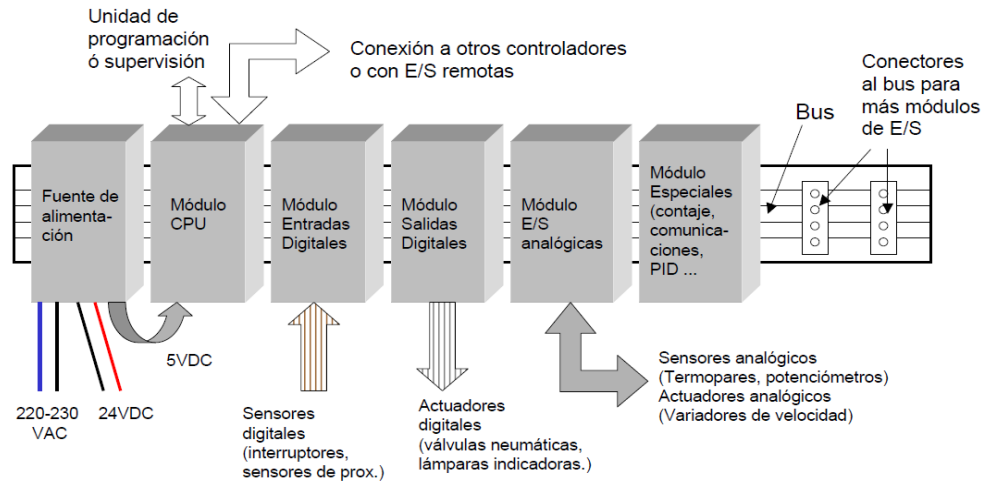


Figura 17. Arquitectura de un PLC
 Fuente: Armesto, J. (2008) Instalación de sistemas de Automatización y Datos Universidad de Oviedo, España

El lenguaje de programación de los PLC está regulado por la norma IEC 61131-3 en el cual se define los 5 lenguajes de programación de los PLC tal como muestra la Figura 18, en el cual se observa los lenguajes de programación:

- 1- Programación en Ladder.
- 2- Programación en Diagrama de funciones.
- 3- Programación en Texto estructurado.
- 4- Programación en Lista de Instrucciones.
- 5- Programación en diagramas secuenciales.

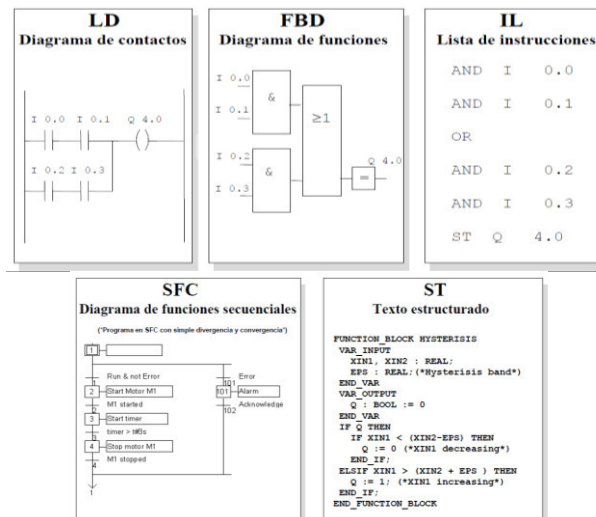


Figura 18. Lenguajes de Programación de PLC.
 Fuente: Armesto, J. (2008) Instalación de sistemas de Automatización y Datos Universidad de Oviedo, España

2.1.8 Variador de velocidad

Es un equipo electrónico que permite controlar la velocidad de un motor eléctrico la mayoría de veces trifásico mediante el cambio de la frecuencia de la red eléctrica, es un equipo que integra dos tecnologías como son la electrónica de potencia y los microprocesadores. Su instalación se puede observar en la Figura 19.



Figura 19. Instalación de un variador de velocidad.
Fuente: Siemens, recuperado de conferencia de control velocidad

El variador en forma interna está formado por dos convertidores uno de CA a CC y otro de CC a CA más la unidad de control electrónico en el cual se encuentra el microprocesador. La estructura en bloque se puede observar en la Figura 20.

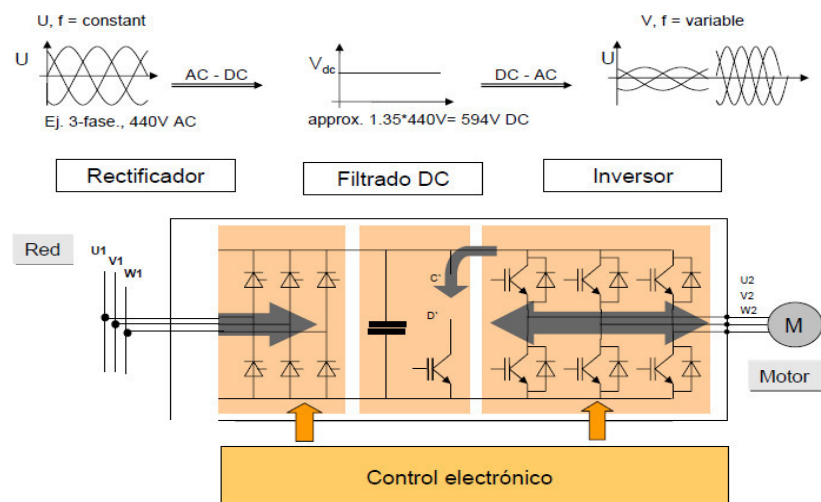


Figura 20. Estructura interna de un variador de velocidad.
Fuente: Siemens recuperado de conferencia técnicas de control de velocidad

El variador a utilizarse, en el presente proyecto, es de marca LS de origen coreano son bastante robustos para las aplicaciones que se le darán LS ofrece soluciones completas para todas las necesidades de control de motores, que van desde los sencillos micro-variadores V/F hasta los más complejos variadores vectoriales con control de Campo Orientado. Con rangos de potencia que van desde los tamaños fraccionarios hasta 300 Hp, y voltajes de entrada desde 110VAC a 575VAC, los variadores LS le proveen una manera fácil de ejercer un control de motor para todas las necesidades de automatización.

2.2 Métodos

Para el desarrollo del modelamiento del sistema propuesto, se ha considerado realizar el análisis, según aplique a la etapa, siguiendo los siguientes diagramas y métodos:

- Diagrama pictórico.
- Diagrama de bloques
- Diagrama de jerarquías.
- Modelamiento matemático.
- Modelamiento por parámetros.
- Tabla de parámetros

2.3 Modelamiento

2.3.1 Diagrama pictórico

El diagrama pictórico permite conocer los elementos y circuitos utilizados en el diseño del prototipo clasificador de forma directa. La Figura 21 muestra los cinco bloques del prototipo a través de los dispositivos más representativos de cada unidad como son: (1) La faja transportadora, (2) el selector óptico, (3) selector electroneumático, (4) control electrónico y (5) el tablero eléctrico.

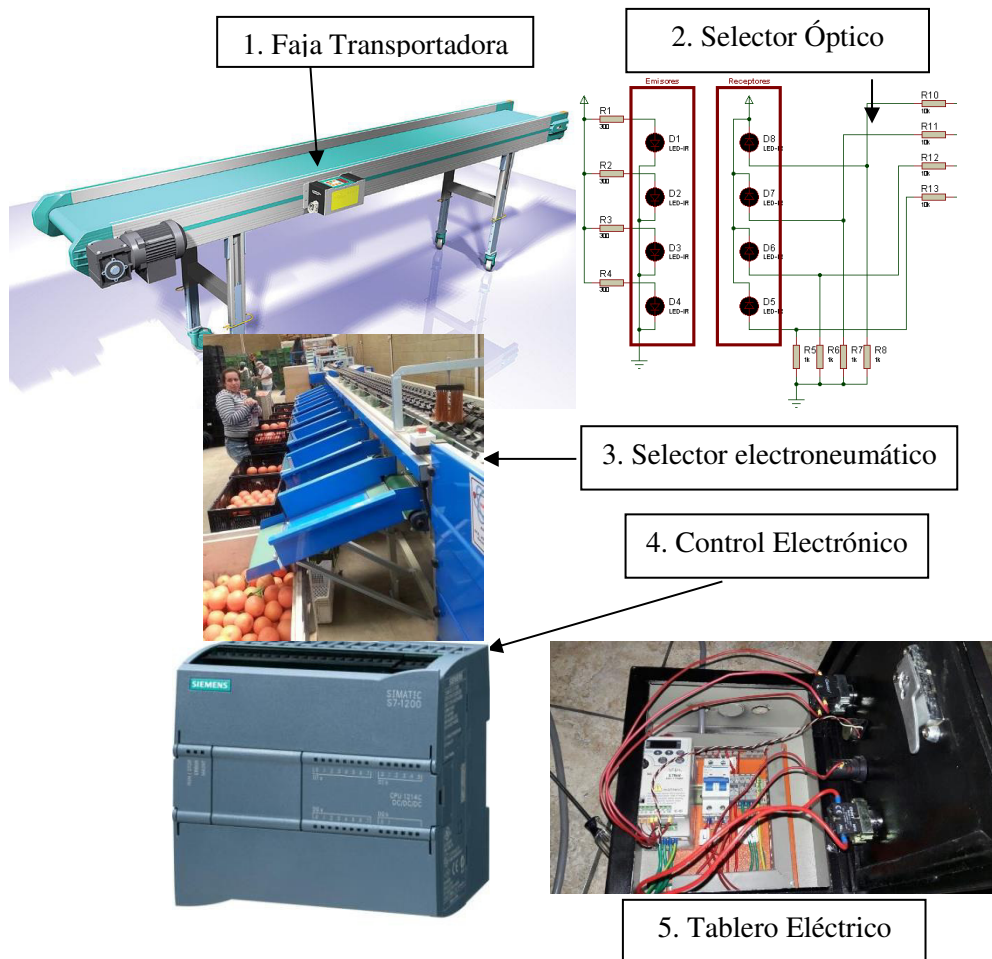


Figura 21. Diagrama pictórico del prototipo
Elaboración: los autores.

2.3.2 Diagrama de bloques

Para la determinación de los parámetros de diseño del prototipo clasificador de mandarinas por dimensiones físicas se ha considerado establecer como diagrama de bloques genérico el modelo presentado a continuación, el cual considera cuatro (05) etapas tal como se muestra en la Figura 22, siendo la secuencia de recorrido de las mandarinas la siguiente: Las mandarinas ingresan al selector óptico mediante la faja transportadora con velocidad controlada, el control electrónico (PLC) recibe la información de los selectores ópticos y determina el tamaño del mismo. El PLC envía la señal al selector electroneumático para que la mandarina sea desviada a una de las 4 salidas mediante la actuación de un cilindro neumático.

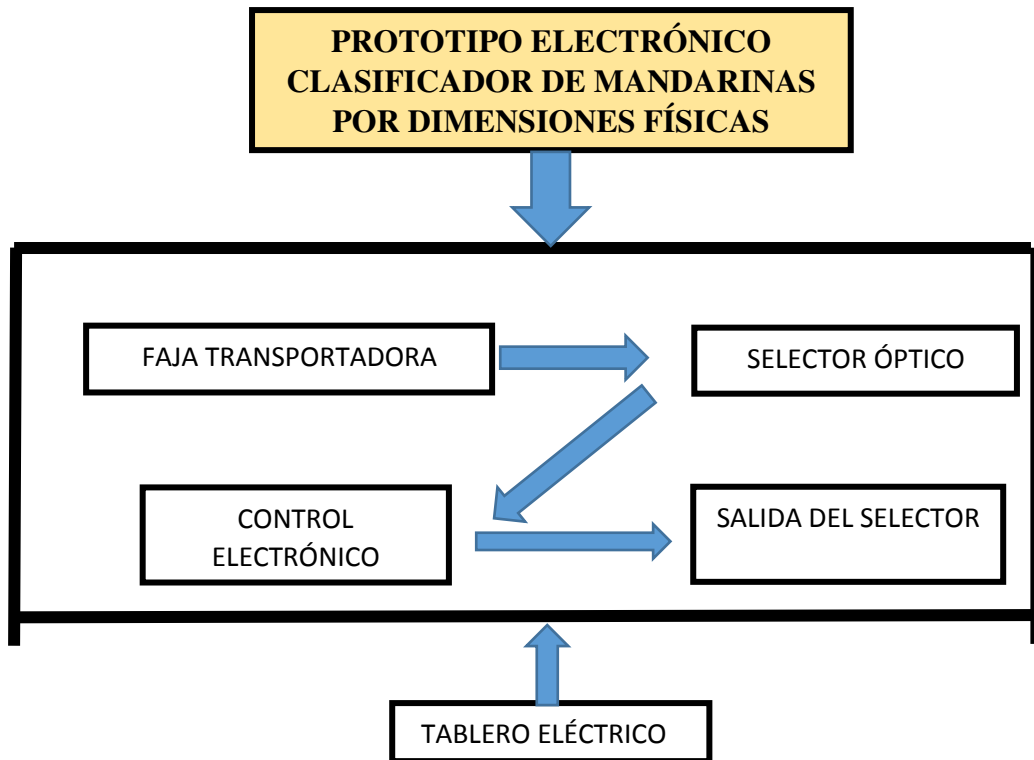


Figura 22. Diagrama de bloques de acuerdo al estado de arte.
Elaboración: los autores.

2.3.3 Diagrama de jerarquía

2.3.3.1 Ruta de modelamiento del selector óptico para el diseño del sistema propuesto

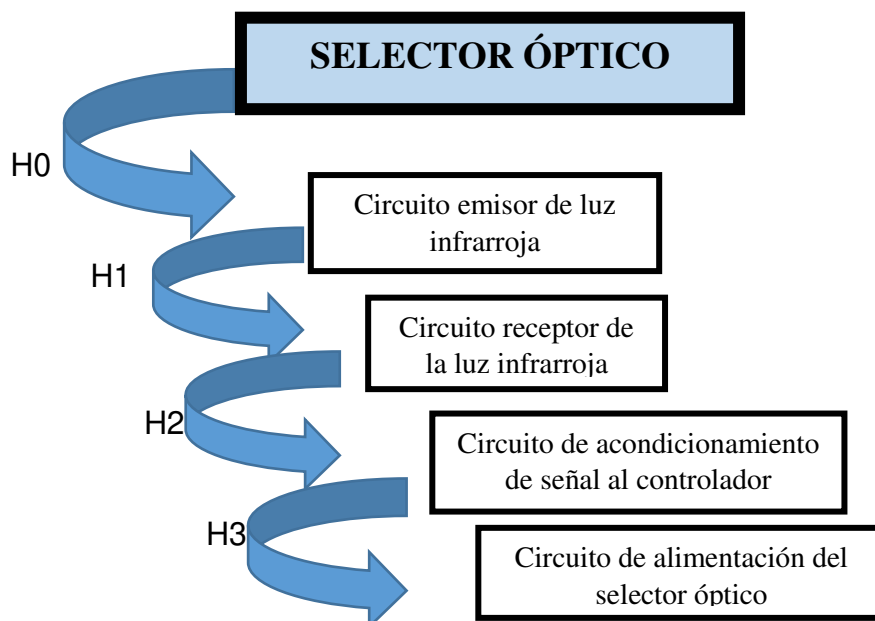


Figura 23. Diagrama de jerarquía del selector óptico.
Elaboración: los autores.

En la Figura 23, se observa el modelamiento por diagrama de jerarquía del selector óptico el cual permite observar los diversos circuitos que lo componen como son el circuito emisor de luz infrarroja, el circuito receptor formado por un fototransistor, los circuitos de acondicionamiento de señal para el PLC y su circuito de alimentación.

2.3.3.2 Ruta de modelamiento de la faja transportadora para el diseño propuesto.

En la Figura 24, se observa el modelamiento por diagrama de jerarquía de la banda o faja transportadora, el cual consta de 4 niveles y permite realizar el diseño de la faja transportadora y va desde los materiales a utilizar, las dimensiones de la faja, el sistema eléctrico que permite el movimiento de la faja así como el control de velocidad.

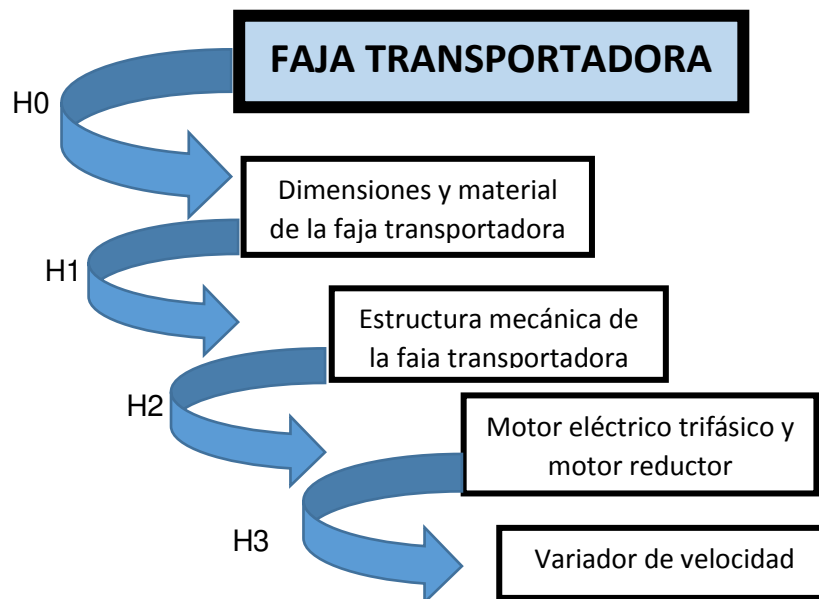


Figura 24. Diagrama de jerarquía de la faja transportadora.
Elaboración: los autores.

2.3.3.3 Ruta de modelamiento del control electrónico para el diseño propuesto.

En la Figura 25, se observa el modelamiento por diagrama de jerarquía del control electrónico mediante PLC.

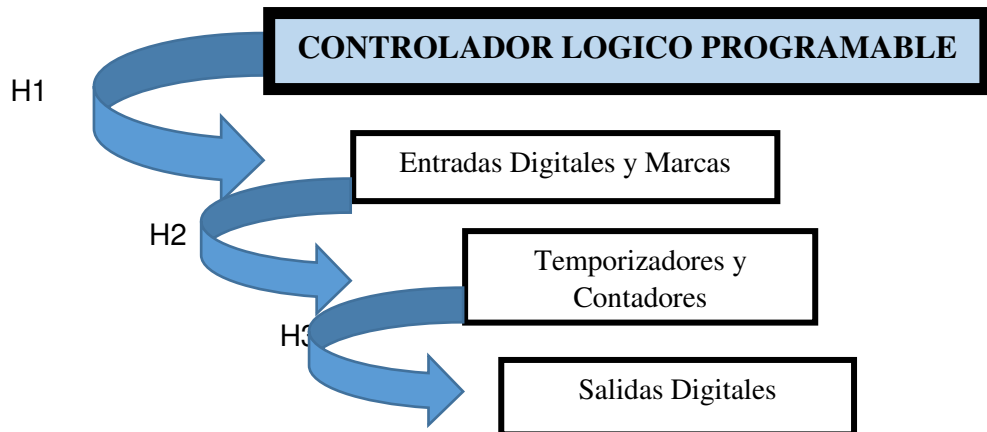


Figura 25. Diagrama de jerarquía del controlador lógico programable.
Elaboración: los autores.

2.3.3.4 Ruta de modelamiento del circuito electroneumático para el diseño propuesto.

El modelamiento por diagrama de jerarquía del circuito electroneumático se muestra en la Figura 26, detallando los circuitos que lo conforman.

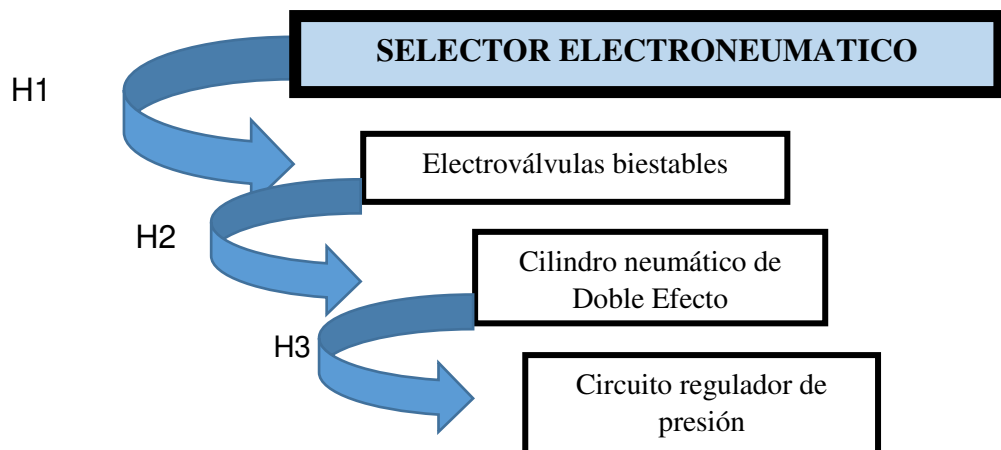


Figura 26. Diagrama de jerarquía del selector electroneumático.
Elaboración: los autores.

2.3.4 Modelamiento matemático

2.3.4.1 Modelamiento matemático del selector óptico

El diodo Led Infrarrojo

De acuerdo a lo indicado por Boylestad R. y Nashelsky L. (2009) en su libro *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos* describe la estructura y el funcionamiento del diodo emisor de luz el cual emite luz visible o invisible (infrarroja) cuando se energiza. En cualquier unión p–n polarizada en directa se da, dentro de la estructura y principalmente cerca de la unión, una recombinación de huecos y electrones. Esta recombinación requiere que la energía procesada por los electrones libres se transforme en otro estado. En todas las uniones p-n semiconductoras una parte de esta energía se libera en forma de calor y otra en forma de fotones.

Los diodos construidos de GaAs (Arseniuro de Galio) emiten luz en la zona infrarroja (invisible) durante el proceso de recombinación en la unión p–n. Aun cuando la luz no es visible, los LED infrarrojos tienen numerosas aplicaciones donde la luz visible no es un efecto deseable. Éstas incluyen sistemas de seguridad, procesamiento industrial, acoplamiento óptico controles de seguridad como abre puertas de cochera y centro de entretenimiento domésticos, donde la luz infrarroja del control remoto es el elemento de control.

Mediante otras combinaciones de elementos se puede generar una luz visible coherente. La Tabla 2, proporciona una lista de semiconductores compuestos comunes y la luz que generan.

Tabla 2. Diodos emisores de luz

Color	Construcción	Voltaje Típico (V)
Ámbar	AlInGaP	2.1
Azul	GaN	5.0
Verde	GaP	2.2
Naranja	GaAsP	2.0
Rojo	GaAsP	1.8
Blanco	GaN	4.1
Amarillo	AlInGaP	2.1

Elaboración: los autores.

En la Figura 27, aparece la construcción básica de un LED con el símbolo estándar utilizado para el dispositivo. La superficie metálica conductora externa conectada al material tipo p es más pequeña para permitir la salida del máximo de fotones de energía luminosa cuando el dispositivo se polariza en directa. El espectro de frecuencia de la luz infrarroja se extiende desde 100 THz (T = tera = 10¹²) hasta 400 THz, con el espectro de luz visible desde aproximadamente 400 hasta 750 THz.

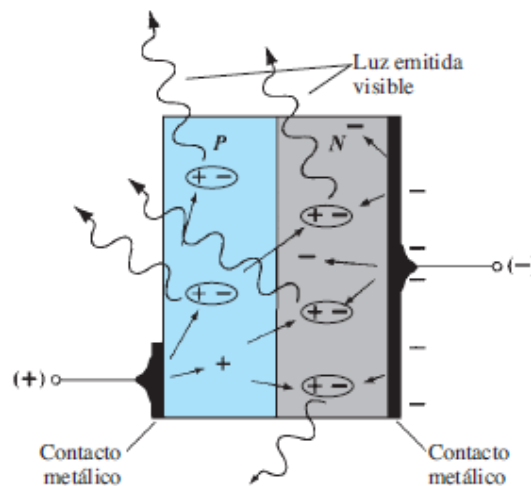


Figura 27. Proceso de electroluminiscencia en el led
Fuente: Boylestad R. y Nashelsky L. (2009) Electrónica:
Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos

Es interesante señalar que la luz invisible tiene un espectro de menor frecuencia que la visible. En general, cuando hablamos de la respuesta de dispositivos electroluminiscentes, nos referimos a sus longitudes de onda y no a su frecuencia.

Las dos cantidades están relacionadas por la siguiente ecuación (4):

$$\lambda = \frac{C}{Fz} \quad (4)$$

Donde:

$C = 3 \times 10^8$ m/s (es la velocidad de la luz en el vacío)

Fz = frecuencia en Hertz

λ = longitud de onda en metros

La respuesta del ojo humano promedio se da en la Figura 28, Se extiende desde aproximadamente 350 nm hasta 800 nm con un valor

pico cercano a 550 nm. Es interesante señalar que la respuesta pico (máxima) del ojo es al color verde, con el rojo y el azul en los extremos inferiores de la curva acampanada. La curva revela que un LED rojo o azul debe ser mucho más eficientes que uno verde para que sean visibles con la misma intensidad. En otras palabras, el ojo es más sensible al color verde que a otros colores.

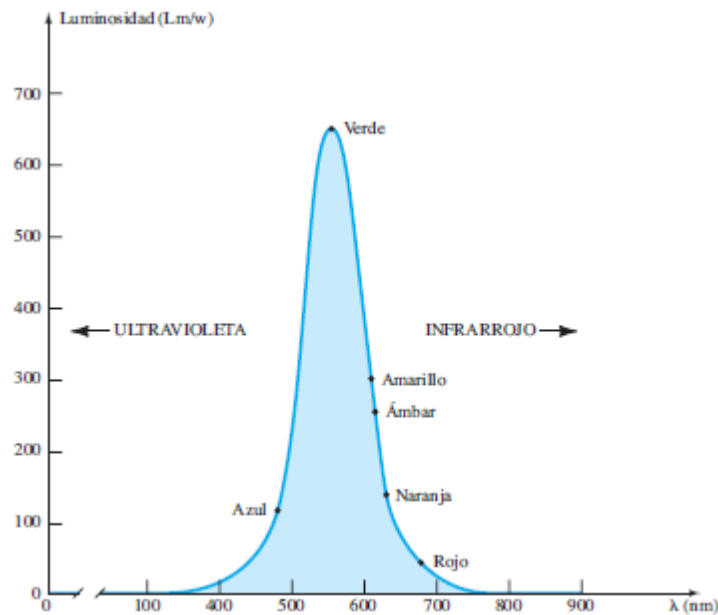


Figura 28. Curva de respuesta estándar del ojo humano
Boylestad R. y Nashelsky L. (2009) en su libro *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*

La cantidad de energía implicada está dada por la siguiente ecuación (5):

$$Eg = \frac{hC}{\lambda} \quad (5)$$

Con $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s (es la constante de Planck)

Si sustituimos el nivel de brecha de energía de 1.43 eV en la ecuación, obtenemos la siguiente longitud de onda:

$$Eg = \frac{hC}{\lambda} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s})(3 \times 10^8 \text{ m/s}^2)}{2.288 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$Eg = 869 \text{ nm}$$

Este valor ciertamente coloca al GaAs en la zona de longitud de onda utiliza por lo general en dispositivos infrarrojos.

2.3.4.2 Modelamiento matemático de faja transportadora

Las fajas transportadoras son un elemento esencial en todo transporte de materiales ya sea en minería, construcción, agroindustria e industria en general ya que constituye la forma más práctica y económica de transportar materiales de un punto a otro.

Entre los sistemas de control de movimientos, a menudo, es necesario convertir movimiento de rotación en de traslación. Por ejemplo, una carga se puede controlar para que se mueva a lo largo de una línea mediante un motor giratorio junto con un tornillo, tal como se muestra en la Figura 29.

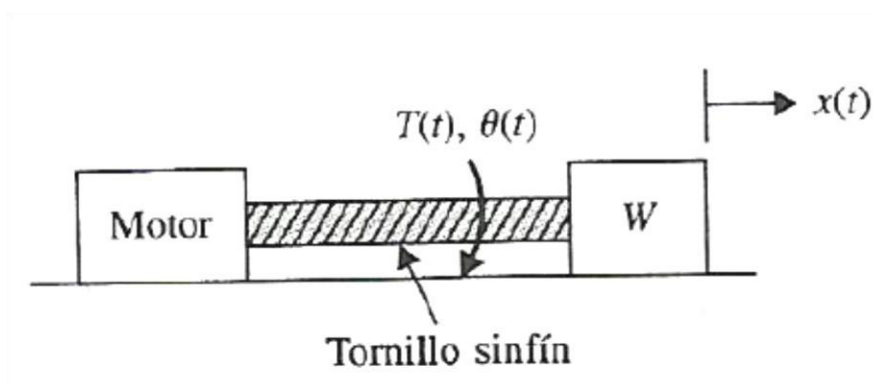


Figura 29. Efecto de cambio de rotación a traslación.

Fuente: Hernández, R.(2010) Introducción a los Sistemas de control

Donde:

$T(t)$ = Torque.

$\Theta(t)$ = Velocidad angular

$X(t)$ = Desplazamiento

En el cual se establece la siguiente ecuación (6)

$$J = Mr^2 = \frac{Wr^2}{g} \quad (6)$$

En donde, se tiene:

J = Inercia (oz-plg- s²)

L = Tornillo sinfín(plg)

r = Radio (plg)

W = Peso (oz)

$g =$ Aceleración de la gravedad (386.4 plg/s^2)

De la misma forma, un motor puede realizar el proceso de conversión de la rotación en traslación mediante una faja transportadora como se muestra en el Figura 30, en el cual se conecta el motor a la banda transportadora sujeta con una polea.

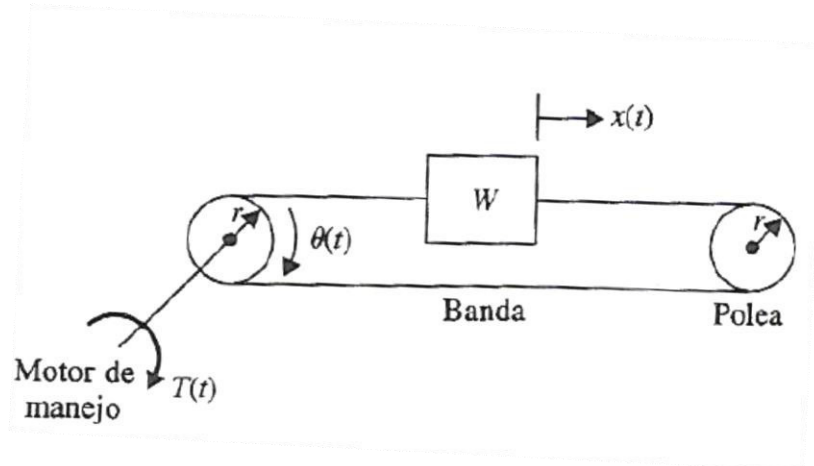


Figura 30. Análisis de la Faja transportadora.
Fuente: Hernández, R.(2010) Introducción a los Sistemas de control

Un tren de engranajes, una palanca o una banda sobre una polea son dispositivos mecánicos que transmiten energía desde una parte del sistema a otro en una forma tal que se alteran la fuerza, el par, la velocidad y desplazamiento. Estos dispositivos también se pueden ver como dispositivos de acoplamiento empleados para lograr la máxima transferencia de potencia. En la Figura 31, se presenta dos engranes acoplados. La inercia y la fricción de los engranes son despreciadas en el caso ideal considerado.

Las relaciones entre los pares T_1 y T_2 los desplazamientos angulares θ_1 y θ_2 y los números de dientes N_1 y N_2 del tren de engranes se obtienen de los siguientes hechos:

El número de dientes sobre la superficie de los engranes es proporcional a los radios r_1 y r_2 de los engranes según la Ecuación (7); esto es:

$$r_1 N_2 = r_2 N_1 \quad (7)$$

La distancia sobre la superficie que viaja cada engrane es la misma según la Ecuación (8) Por tanto:

$$\theta_1 r_1 = \theta_2 r_2 \quad (8)$$

El trabajo realizado por un engrane es igual al que realiza el otro engrane, ya que se supone que no hay pérdidas. Por lo tanto, la Ecuación (9) muestra la relación.

$$T_1 \theta_1 = T_2 \theta_2 \quad (9)$$

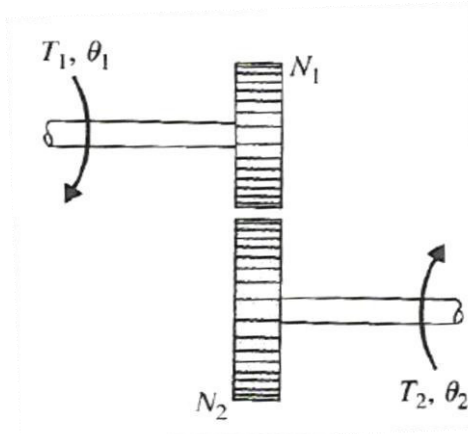


Figura 31. Sistema de engranes.

Fuente: Hernández, R.(2010) Introducción a los Sistemas de control

Si las velocidades de los dos engranes, ω_1 y ω_2 són las puestas en la Figura 31, las Ecuaciones (8) y (9) llevan a:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{r_1}{r_2} \quad (10)$$

2.3.4.3 Modelamiento matemático del sistema electroneumático

De acuerdo con el artículo científico realizado por Bazurto, A. & Murillo, M. y Plaza, D. (2014), los sistemas neumáticos son aquellos que transmiten señales y potencia utilizando como medio un gas, por lo general aire. La introducción de la electricidad a estos sistemas, ha permitido adoptar el término electroneumática, dentro del mundo industrial. Con el objetivo de lograr un control eficiente de los fluidos a través de señales eléctricas. El modelamiento matemático de estos sistemas permite el desarrollo de aplicaciones industriales confiables y eficientes. La válvula electroneumática reguladora de presión está definida como un dispositivo que fija la presión de

un sistema en un valor requerido de manera proporcional a una entrada analógica de control como un voltaje. La Figura 32, muestra las partes internas de la válvula. Esta válvula permite la variación de la presión de aire a través del diafragma, cuya posición resulta del equilibrio entre la fuerza generada por el solenoide y la fuerza producida por la presión regulada.

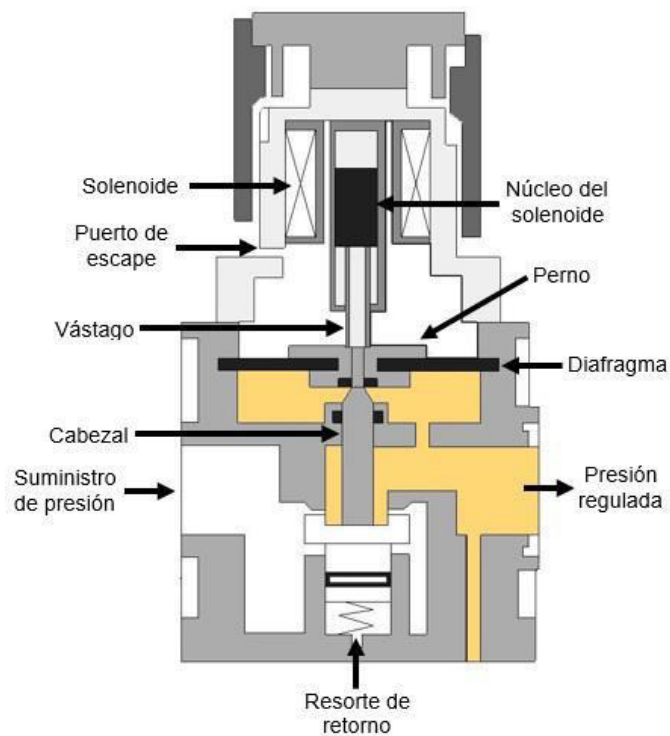


Figura 32. Válvula electro neumática reguladora de presión. Basurto, A. & Murillo, M. y Plaza, D. (2014) Modelamiento y simulación de un sistema electro neumático

La sumatoria de fuerzas provoca un movimiento del diafragma permitiendo el desplazamiento del cabezal el mismo que define el paso del flujo de aire a la cámara de presión regulada. La válvula posee un resorte de retorno que restringe el movimiento del diafragma de acuerdo a su límite elástico.

En el subsistema electromagnético, obtenemos la respuesta en el tiempo de la fuerza magnética. Para su modelamiento tomamos en consideración las siguientes asunciones:

- Las partes metálicas del solenoide son de un material magnético y no contribuyen con la reluctancia del subsistema.

- La geometría del solenoide corresponde a un solenoide tubular evitando la dispersión del flujo en entrehierros externos.
- La reluctancia total es la reluctancia del entrehierro 2 mostrado en la Figura 33.

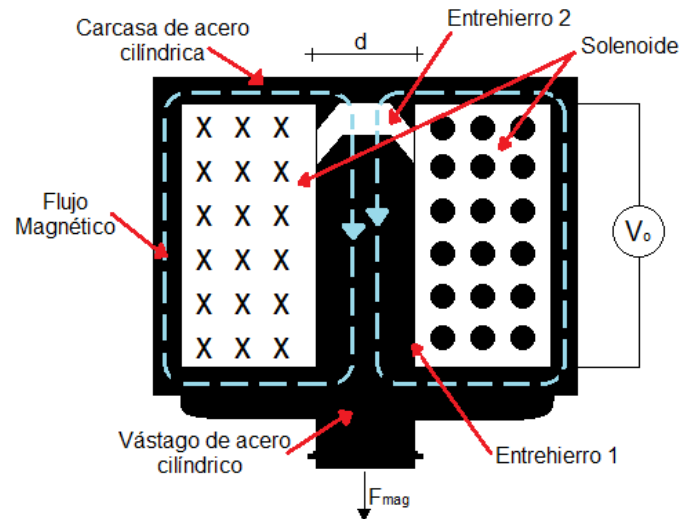


Figura 33. Subsistema magnético. Circuito magnético Basurto, A. & Murillo, M. y Plaza, D. (2014) Modelamiento y simulación de un sistema electroneumático

El entrehierro 2 tiene un área cónica constante transversal al flujo; sin embargo, su longitud aumenta o disminuye con el movimiento del vástago. Esta última condición hace que la reluctancia del sistema sea variable como se muestra en la siguiente ecuación (11):

$$k = \frac{Xd}{\mu_0(Al + Ab)} \quad (11)$$

La magnitud de la fuerza magnética puede ser calculada por la ecuación (12) propuesta:

$$F_{mag} = \frac{i^2 dL(x)}{2dx} \quad (12)$$

Esta fuerza depende de la intensidad de corriente i , que circula a través del solenoide, y de la derivada de la inductancia del sistema electromagnético $(x)/dx$. La inductancia se puede derivar por la relación que tiene con la reluctancia total del sistema por lo que la fuerza magnética queda ahora en función de la corriente y el desplazamiento, así como se muestra a continuación la ecuación (13):

$$F_{mag} = \frac{i^2 N^2 \mu_0 A t}{2 x_d^2} \quad (13)$$

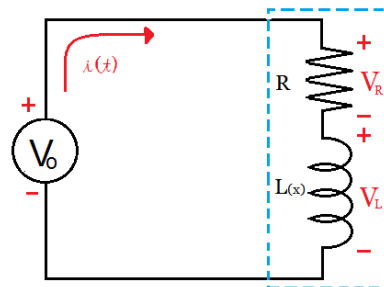


Figura 34. Subsistema electromagnético. Circuito eléctrico Basurto, A. & Murillo, M. y Plaza, D. (2014) Modelamiento y simulación de un sistema electroneumático

El equivalente eléctrico, mostrado en la Figura 34, se representa al solenoide con una resistencia y una inductancia en serie. El voltaje aplicado en los extremos del solenoide también forma parte del circuito. Aplicando la segunda ley de Kirchhoff obtenemos la siguiente ecuación (14):

$$\sum v = v_0 - v_R - v_L = 0 \quad (14)$$

El voltaje en los extremos de la resistencia lo calculamos con la ley de Ohm. Para el inductor la caída de tensión en sus extremos depende de la variación de los enlaces de flujo en el tiempo. Los enlaces de flujo dependen de la corriente que atraviesa en el inductor y la distancia del entrehierro 2 . Con estas relaciones obtenemos la ecuación que depende tanto de la variación de corriente del circuito como de la distancia del entrehierro 2 (x_d) como se muestra a continuación la ecuación (15):

$$V_0 - Ri(t) - L(x) \frac{di(t)}{dt} - i(t) \frac{dL(x_d)}{dt} = 0 \quad (15)$$

En el subsistema neumático, para describir el flujo y la presión de aire en la válvula se toma en cuenta los siguientes puntos:

- Las relaciones entre el flujo y la presión se fundamentan en el principio de conservación de la masa y de la energía.
- El aire responde a un proceso adiabático.
- La válvula a su salida posee una cámara de volumen constante.
- Con el objetivo de apreciar la respuesta de la presión regulada, la válvula a su salida se encuentra cerrada.

Expuestas las condiciones para el sistema neumático obtenemos la siguiente Ecuación (16):

$$qm_1 = \frac{V}{\gamma RT_{reg}} \frac{dP_{reg}}{dt} \quad (16)$$

De la Ecuación 16, observamos que el flujo másico de entrada a la cámara qm_1 es una función de la presión regulada P_{reg} , el volumen de la cámara de presión regulada V , la constante adiabática γ , la constante de los gases R y temperatura de salida T_{reg} . El cálculo del flujo másico qm_1 se establece considerando la geometría del orificio a la entrada de la cámara de salida y los problemas de convergencia existentes al momento de simular el modelo.

2.3.4.4 Modelamiento matemático del motor eléctrico

Es una maquina eléctrica capaz de convertir la energía eléctrica en energía mecánica, responde a un modelo matemático el cual se muestra en la Figura 35 y físicamente se observa en la Figura 36.

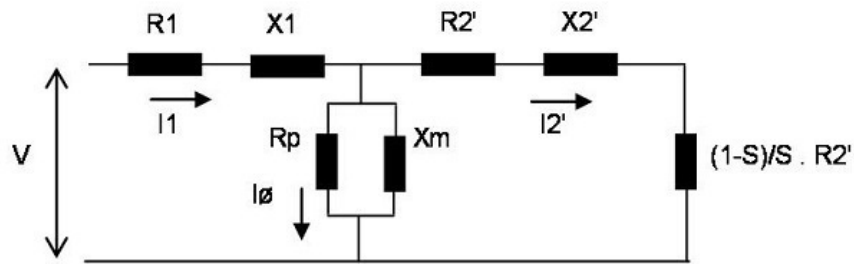


Figura 35. Modelamiento matemático del motor AC.
Fuente: Gómez, J. (2013) Diseño e implementación de un variador de velocidad

Donde:

- I : Corriente total
- I_{ϕ} : Corriente magnetización
- I_2' : Corriente carga
- $\cos\phi$: Factor potencia
- R_p, R_1, R_2' : Resistencias
- X_m, X_1 : Reactancias
- V : Tensión red
- ϕ : Flujo Magnético

Es el encargado de producir el desplazamiento de la faja transportadora, y producir el torque necesario el cual se obtiene de la siguiente ecuación (17):

$$T_o = \frac{(V_n \cdot \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \cdot)}{120f/p} \quad (17)$$

Donde:

- T_o : Torque
- f : Frecuencia
- I : Corriente total
- p : N° polos
- V_n : Velocidad nominal
- $\cos\phi$: Factor potencia
- V : Tensión red



Figura 36. Motor AC trifásico.

Fuente: Motor Delcrosa recuperado de su página web

El motor presenta una curva característica en relación a su torque y carga que se aplique esto se muestra en la Figura 37.

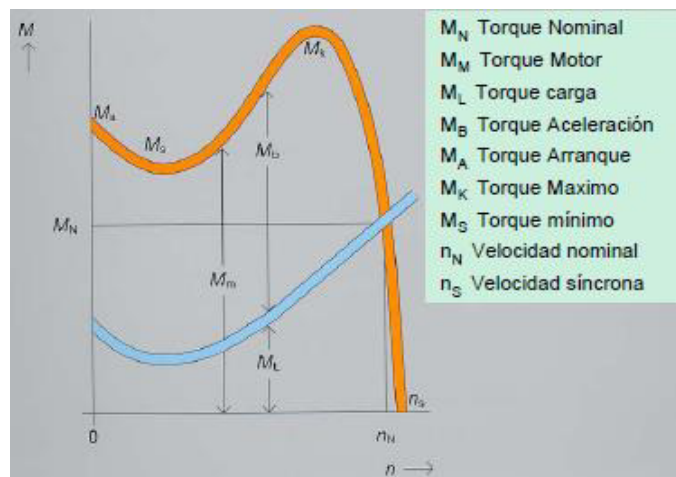


Figura 37. Curva de respuesta del motor.

Fuente: Motor Delcrosa recuperado de su página web

La velocidad en un motor AC queda determinada por la siguiente ecuación (18):

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (18)$$

Donde:

N_s = Velocidad del motor en RPM.

f = Frecuencia de la AC.

p = número de polos del motor.

De acuerdo a la expresión mostrada queda definido que la velocidad de un motor depende únicamente de la frecuencia de la AC que se le aplique.

2.3.5 Modelamiento por parámetros

Durante el proceso de diseño se identificaron parámetros, los cuales forman parte del proceso de modelamiento, estos parámetros se observan en la tabla 3.

Tabla 3 - Tabla de parámetros

Parámetros	Unidad	Función	Rango
R1	Ohm	Resistencia limitadora del led infrarrojo	Números enteros
Vcc	Volt	Fuente de alimentación del circuito óptico	Números enteros
R _L	Ohm	Resistencia de colector del fototransistor	Números enteros
Alcance	Mm	Alcance de bloqueo de la luz infrarroja	Números enteros
λ	Mm	Longitud de onda de la luz infrarroja.	< 100 – 1000mm >
<i>Lcil</i>	Mm	Longitud del vástago del cilindro neumático	<0 – 200mm>
<i>Demb</i>	Mm	Diámetro del embolo	<0 – 20mm>
<i>A</i>	cm ²	Superficie útil del embolo	<0-100cm ² >
Fnet	N	Fuerza efectiva o real del embolo	<0 – 12N>
Presión	Bar	Presión del sistema electroneumático	<0 – 12bar>
Afaj	M	Ancho de la faja	<1.5 – 3m>
Lfaj	M	Largo de la faja	<1.5 – 3m>
<i>h</i>	M	Altura de la faja	<0.7 – 1.5m>
Wfaja	Kg	Peso de transporte de la faja	
Vfaj	Rpm	Velocidad de la faja	N.A.
Hmax	Metros sobre el nivel del mar	Altura máxima de trabajo del motor	<0- 2000msnm>

Parámetros	Unidad	Función	Rango
	Msnm		
Vmotor	Voltio	Voltaje de entrada del motor	<200-240v>
Imotor	Amperios	Corriente de línea del motor	N.A
<i>vel</i>	RPM	Velocidad de giro del motor	N.A.
<i>cosφ</i>	Número real	Factor de potencia del motor	<0-1>
N	Numero entero	Eficiencia del motor	<0-1>
IPmotor	Numero entero	Grado de protección del Motor	<11-69>
Freqmotor	Hertz	Frecuencia de trabajo nominal del motor	<50-60Hertz>
Pot	Hp	Potencia nominal del motor	<1- 2HP>
Modo de control	SN	Tipo de control: control escalar y control vectorial	
IPVariador	Numero entero	Grado de protección del variador	<11-69>
F	Hertz	Frecuencia de entrada del variador	<50-60hz>
Fout	Hertz	Frecuencia de salida del variador	<20-60hz>
FreqConmutacion	Hertz	Frecuencia de conmutación del variador	<5-20khz>
IVariador	Amperios	Corriente de entrada del variador	<4-8A>
VentradaVariador	Voltio	Voltaje de entrada del variador monofasico	<200-240v>
PVariador	Watt	Potencia máxima de salida del variador	<1- 2HP>

Elaboración: los autores.

2.3.6 Tabla de parámetros prefijados como especificaciones de diseño.

Durante el proceso de diseño se identificaron parámetros, los cuales forman parte de las especificaciones del sistema:

Tabla 4 - Tabla de parámetros a calcular

Parámetros	Unidad	Función	Rango
R1	Ohm	Resistencia limitadora del led infrarrojo	Números enteros
Vcc	Volt	Fuente de alimentación del circuito óptico	Números enteros
Rc	Ohm	Resistencia de colector del fototransistor	Números enteros
Alcance	Mm	Alcance de bloqueo de la luz infrarroja	Números enteros
Vmotor	Voltio	Voltaje de entrada del motor	<200-240v>
Imotor	Amperios	Corriente de línea del motor	N.A
<i>vel</i>	RPM	Velocidad de giro del motor	N.A.
<i>cosφ</i>	Número real	Factor de potencia del motor	<0-1>
FsalVar	Hertz	Frecuencia de salida del variador	<20-60hz>
FreqConmutacion	Hertz	Frecuencia de conmutación del variador	<5-20khz>
IVariador	Amperios	Corriente de entrada del variador	<4-8A>
VentradaVariador	Voltio	Voltaje de entrada del variador monofásico	<200-240v>
PVariador	Watt	Potencia máxima de salida del variador	<1- 2HP>

Elaboración: los autores.

En base a la información analizada en el presente capítulo se obtuvo la tabla de parámetros resultado del modelamiento matemático del prototipo a diseñar. Se desarrolló los diagramas en bloque y pictórico, los

cuales dan una idea de la estructura del prototipo y el rumbo que se tiene en la implementación del presente proyecto.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Especificaciones del diseño

En este capítulo, se hace mención de las especificaciones de diseño del prototipo clasificador de mandarinas, los cuales se pueden resumir en:

- Diseñar el selector óptico: se determina y se implementa los dispositivos ópticos a utilizar para la detección de las dimensiones físicas de las mandarinas.
- Diseñar la faja o banda transportadora: se estima las dimensiones que debe tener la banda o faja transportadora y la velocidad a la que procesara los productos.
- Diseñar el circuito electroneumático: etapa de salida del clasificador, mediante cilindros neumáticos se realiza la acción de separar las mandarinas por dimensiones físicas.
- Diseñar la unidad de control: formado por el controlador lógico programable, es la etapa encargada de procesar la información de los selectores ópticos y de ordenar la actuación de los circuitos electroneumáticos.
- Diseñar el tablero eléctrico que contendrá los dispositivos de control y alimentación del prototipo.

3.2 Diseño del selector óptico del clasificador de mandarinas

3.2.1 Detección por barrera

El diodo led infrarrojo y el fototransistor forman la unidad básica de la etapa detectora, es decir, el diodo led infrarrojo se encarga de realizar la emisión de luz infrarroja y el fototransistor de recibir la luz infrarroja, la

conexión a realizar se muestra en la Figura 38, el funcionamiento consiste en la interrupción de la luz cuando un objeto bloquea el paso de la luz, el fototransistor trabaja en la zona de corte y saturación comportándose como un interruptor. Los voltajes que se obtienen a la salida del fototransistor dependen de la recepción de la luz infrarroja es decir si el fototransistor recibe luz se satura el fototransistor comportándose como un interruptor cerrado entre colector y emisor siendo el voltaje de salida de 0v, pero cuando un objeto bloquea el paso de luz el fototransistor no recibe la luz infrarroja entonces pasa al estado de corte siendo un interruptor abierto entre colector y emisor lo que permite obtener un voltaje de V_{CC} a su salida.

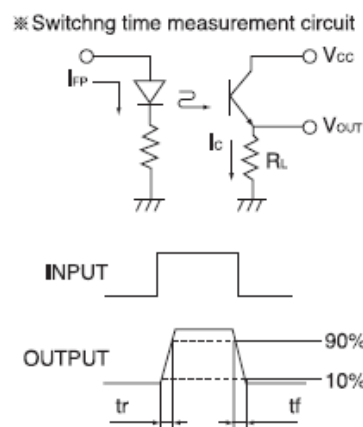


Figura 38. Conexión de una celda óptica.
Fuente: KODENSHI KOREA CORP

3.2.1.1 Diseño del circuito emisor

El circuito Emisor está formado por un diodo led infrarrojo y una resistencia que limita el paso de la corriente eléctrica como se muestra en la Figura 39.

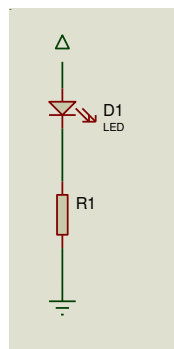


Figura 39. Circuito Emisor.
Elaboración: los autores.

Los circuitos electrónicos de bajo voltaje tienden a alimentarse con 5v, 12v y 24v, dado la naturaleza del circuito dado que trabaja solo en corte y saturación como los circuitos digitales se determina que el parámetro v_{cc} sea de:

Parámetro $v_{cc}=5v$.

Por ser más típico y comercial. El diodo Led infrarrojo requiere de una corriente de 20 mA tal como lo indica su hoja de características en la Tabla 5.

Tabla 5. Características eléctricas

Forward Voltage	V_F	$I_F=20mA$	--	1.3	1.6	V
		$I_F=100mA$ Pulse Width $\leq 100 \mu s$ and Duty $\leq 1\%$	--	1.4	1.8	
		$I_F=1A$ Pulse Width $\leq 100 \mu s$ and Duty $\leq 1\%$	--	2.6	4.0	

Fuente: Everlight Electronics Co., Ltd.

Tiene un voltaje típico de 1.3v el diodo led infrarrojo entonces el valor de la resistencia se obtiene de la ecuación (19):

$$R1 = \frac{v_{cc} - V_d}{I_d} \quad (19)$$

Donde:

R1: Resistencia del led.

v_{cc} : Fuente de alimentación (+5v)

V_d : Voltaje del diodo led.

I_d : Corriente del diodo led.

Reemplazando los valores en la ecuación (19) se obtiene el parámetro $R1$:

$$R1 = \frac{5v - 1.3v}{20mA}$$

Parámetro $R1=185 \text{ ohm}$

El diodo Led emitirá una luz infrarroja de longitud de onda de 875nm adecuado para la recepción en el fototransistor.

3.2.1.2 Diseño del circuito receptor

El circuito receptor Figura 40, está formado por un fototransistor y resistencias que limitan el paso de la corriente eléctrica.

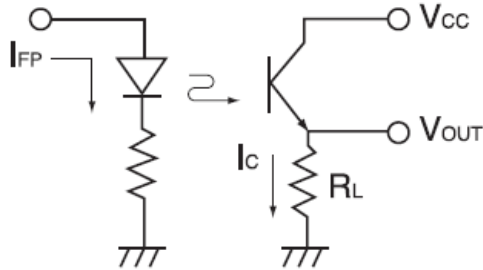


Figura 40. Circuito receptor
Fuente: KODENSHI KOREA CORP.

Calculando el valor de la R_L :

Se tiene como datos las características eléctricas del fototransistor se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Características del fototransistor

Item	Symbol	Typ.	Unit.	
Collector dark current	I_{CEO}	1	nA	
Light current	I_L	5.0	mA	
C - E saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	0.2	V	
Switching speeds	Rise time	t_r	3.2	$\mu\text{sec.}$
	Fall time	t_f	4.8	$\mu\text{sec.}$
Spectral sensitivity	λ	500~1,050	nm	
Peak wavelength	λ_p	880	nm	
Half angle	$\Delta \theta$	± 6	deg.	

Fuente: KODENSHI KOREA CORP.

Se puede observar que el fototransistor cuando se satura tiene las siguientes características al estar saturado.

$$V_{ce} (\text{Sat})=0.2\text{v}$$

$$I_c=5\text{mA}$$

Entonces procedemos a calcular el valor de la R_L aplicando las leyes de Kirchhoff de voltajes en la ecuación (20).

$$v_{cc} = I_c \cdot R_L + V_{ce}(Sat) \quad (20)$$

Donde:

v_{cc} : Fuente de alimentación.
 I_c : Corriente de colector.
 R_L : Resistencia de colector.
 $V_{ce}(Sat)$: Voltaje colector emisor en saturación.

Despejando el valor de R_L de la Ecuación (20) se tiene la Ecuación (21) y reemplazando los parámetros y datos ya definidos se obtiene:

$$R_L = \frac{v_{cc} - V_{ce}}{I_c} \quad (21)$$

Reemplazando los valores ya definidos se tiene:

$$R_L = \frac{5v - 0,2}{5mA}$$

Calculando se tiene:

$$R_L = 960 \text{ ohm}$$

Aproximando la resistencia a un valor comercial se obtiene el parámetro R_L

$$R_L = 960\text{ohm} \langle \rangle 1\text{kohm}$$

3.2.2 Implementación del circuito emisor y receptor

Luego de revisar los fundamentos teóricos de cada componente se diseñó el circuito básico de detección con un led infrarrojo y el fototransistor como se muestra en la Figura 41, lado derecho funcionando correctamente de acuerdo con lo planificado recibiendo la luz infrarroja el fototransistor y este a su vez enciende a un led de color azul.

Cuando se realiza el bloqueo de la luz infrarroja el led de color azul se apaga como se muestra en la Figura 41, lado izquierdo. Los resultados obtenidos son los esperados, cumpliendo el objetivo del diseño de la unidad óptica.

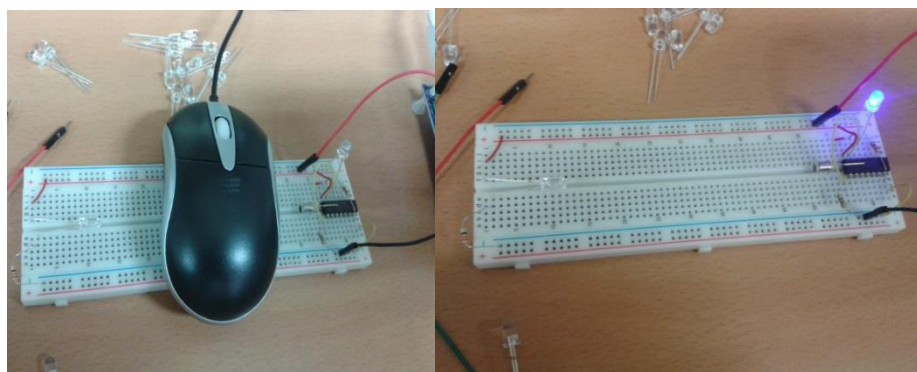


Figura 41. Funcionamiento del circuito óptico básico.
Elaboración: los autores.

3.2.3 Diseño de la unidad de detección de las dimensiones físicas de la mandarina

Para determinar la distancia de separación entre los sensores ópticos: led infrarrojo y fototransistor se realiza una medición de los diámetros de las mandarinas de acuerdo al criterio inicial de clasificación, se realizó una clasificación en 4 tamaños de acuerdo a las dimensiones de su diámetro, los valores obtenidos se muestran en la Tabla 8, con denominación de tamaño A para mandarinas con un diámetro promedio de 10.4cm y tamaño B para mandarinas con diámetro de 8.4cm y en la tabla 9 los tamaño C para mandarinas con diámetro de 6.7cm y los de tamaño D para las mandarinas más pequeñas con diámetro de 5.1cm.

Tabla 7. Diámetros de las mandarinas.

Mandarina de tamaño A		Mandarina de tamaño B	
Nº	Diámetro(cm)	Nº	Diámetro(cm)
01	10.0	01	8.9
02	10.1	02	8.0
03	10.5	03	7.8
04	10.7	04	8.3
05	10.0	05	7.9
06	10.5	06	8.8
07	10.0	07	8.1
08	10.1	08	7.8
09	10.5	09	8.3
10	10.6	10	7.9

Elaboración: los autores.

Cabe precisar que las denominaciones dadas a las mandarinas, solo son referenciales para diferenciarlos no responden a ningún tipo de codificación de los agricultores o exportadores. El prototipo permite clasificar a las mandarinas en 4 grupos por tamaño, estas medidas pueden ser reajustadas de acuerdo a la necesidad de los usuarios o clientes.

Tabla 8. Diámetros de las mandarinas.

Mandarina de tamaño C		Mandarina de tamaño D	
Nº	Diámetro(cm)	Nº	Diámetro(cm)
01	6.5	01	5.1
02	6.9	02	5.3
03	6.9	03	5.2
04	6.8	04	4.9
05	6.8	05	4.7
06	6.7	06	4.8
07	6.6	07	5.0
08	6.9	08	5.1
09	6.7	09	5.2
10	6.8	10	5.1

Elaboración: los autores.

3.2.3.1 Análisis de circuito

De acuerdo con las dimensiones de la mandarina se establece que la separación entre el led infrarrojo y el fototransistor, debe ser mayor al promedio de las muestras de mandarina de acuerdo a la tabla 7 dicho promedio se obtiene de la siguiente ecuación (22):

$$Prom = \sum_{i=1}^t \frac{D}{t} \quad (22)$$

Donde:

Prom: Promedio de diámetro de las mandarinas de mayor tamaño.

D: Diámetro de las mandarinas.

t: Total de mandarinas.

Reemplazando en la Ecuación (22) se tiene:

$$Prom = 10.35 \text{ cm}$$

De acuerdo con el valor obtenido se determinó conveniente ampliar la separación del led infrarrojo y el fototransistor a 15 cm. Entonces se define el parámetro:

$$\text{Alcance} = 15\text{cm}$$

Los diodos led y fototransistores se conectan en forma lineal como se muestra en la Figura 42, alimentados con $v_{cc}=5v$.

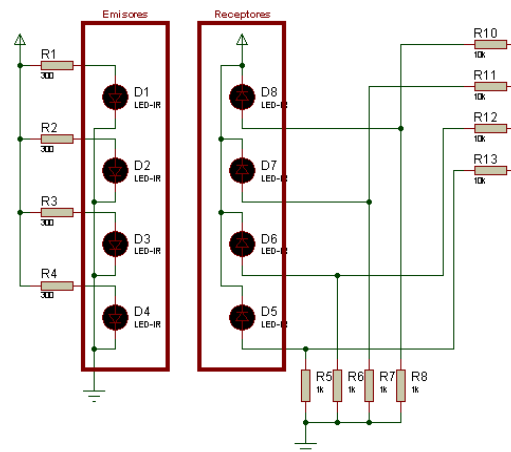


Figura 42. Unidad óptica, led infrarrojos y fototransistor.
Elaboración: los autores.

Para determinar la separación entre cada led infrarrojo e infrarrojo se realiza mediante la altura de las mandarinas a clasificar para ellos se procede a medir la altura de la muestra de mandarinas cuyas medidas se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Altura de las mandarinas.

Mandarina de tamaño A		Mandarina de tamaño B	
Nº	Altura (cm)	Nº	Altura (cm)
01	4.8	01	4.5
02	4.9	02	4.4
03	5.0	03	4.3
04	4.7	04	4.4
05	4.7	05	4.3
Mandarina de tamaño C		Mandarina de tamaño D	
Nº	Altura (cm)	Nº	Altura (cm)
01	3.8	01	3.4
02	3.7	02	3.5
03	3.6	03	3.4
04	3.8	04	3.3
05	3.9	05	3.5

Elaboración: los autores.

Se puede observar que las mandarinas con denominación de tamaño A tienen una altura promedio de 4.8cm y las de tamaño B una altura de 4.4cm los de tamaño C una altura de 3.8cm y los de tamaño D una altura de 3.4cm.

La separación entre cada led es de 10mm y cada diodo led es de 5mm, se consideró esta separación debido a que el diodo led requiere una capucha para que la luz infrarroja de un led no afecte a otro. Sin embargo, la separación podrá ser ajustada a voluntad por el usuario en caso de requerir modificar la detección de la altura, esto se logra variando la posición del soporte que contiene a los sensores ópticos.

3.2.3.2 Implementación del circuito óptico

En la Figura 43, se observa el circuito implementado sobre placa impresa y se agregó una pequeña capucha para cada diodo led infrarrojo esto con el fin de concentrar y direccionar el has infrarrojo.

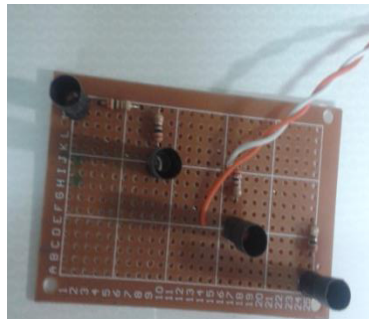


Figura 43. Led infrarrojo.
Elaboración: los autores.

También se implementó una placa para los fototransistores el cual se muestra en la Figura 44.

Se realizaron pruebas para verificar la detección de las mandarinas luego de terminar la implementación física de la unidad detectora, estas mediciones consistieron en verificar la detección del tamaño de las mandarinas y que los detectores cumplan su función a la que fueron

diseñadas. En la figura 44, se puede observar el resultado final del diseño de esta unidad.

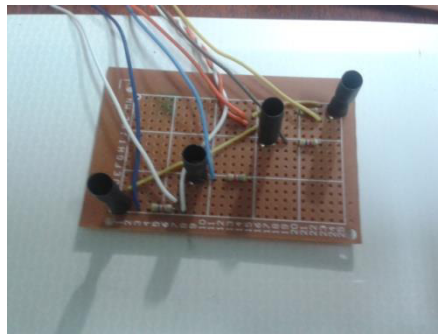


Figura 44. Fototransistores y led en placa impresa.
Elaboración: los autores.

3.2.4 Acondicionador de señal

La señal que proviene del foto transistor de la unidad selectora es enviada al PLC mediante un acondicionador de señal, es decir la salida de 0 o 5v del foto transistor es enviada a una compuerta lógica inversora para que este actúe como un amplificador de señal, a la salida del inversor se conecta a transistor mediante una resistencia para que limite el paso de la corriente pero que a su vez pueda saturar al transistor cuando reciba 5v y pase a corte cuando reciba 0v la forma de conexión del transistor y el relé se muestra en la Figura 45.

El transistor controla a un relé de 12v este dispositivo está conectado a las entradas digitales del PLC. Se procede a realizar el análisis de lo indicado.

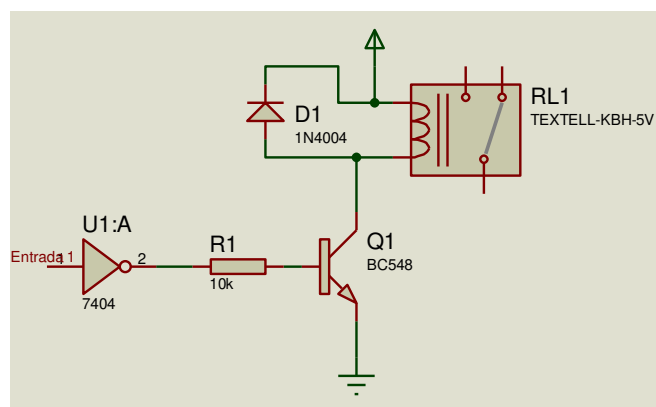


Figura 45. Acondicionador de señal para el PLC.
Elaboración: los autores.

El relé requiere un nivel de corriente muy bajo para su activación en ese sentido se elige un transistor de bajo consumo y muy económico como el BC548 sus características se muestran en la Tabla 10. Luego se analiza y determina los valores de corriente que requiere para que se sature cuando recibe los 5v del inversor.

Tabla 10. Características eléctricas del transistor BC548

Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10 \text{ mA}$, $I_B = 0.5 \text{ mA}$) ($I_C = 100 \text{ mA}$, $I_B = 5.0 \text{ mA}$) ($I_C = 10 \text{ mA}$, $I_B = \text{See Note 1}$)	$V_{CE(\text{sat})}$	—	0.09	0.25	V
Base-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10 \text{ mA}$, $I_B = 0.5 \text{ mA}$)	$V_{BE(\text{sat})}$	—	0.7	—	V

Fuente: KODENSHI KOREA CORP.

Cálculos

Resistencia de base de acuerdo a la ecuación (23):

$$R_b = \frac{v_{cc} - V_{be}}{I_b} \quad (23)$$

Donde:

v_{cc} : Fuente de alimentación.

I_b : Corriente de base.

R_b : Resistencia de base.

V_{be} : Voltaje base emisor.

Reemplazando se tiene:

$$R_b = \frac{5v - 0,7v}{5mA}$$

$$R_b = 860 \text{ ohm}$$

Y queda determinado el parámetro R_b .

En la Figura 46, se puede observar la tarjeta implementada con los transistores y los relés para el acondicionamiento de la señal de los sensores hacia las entradas del PLC.

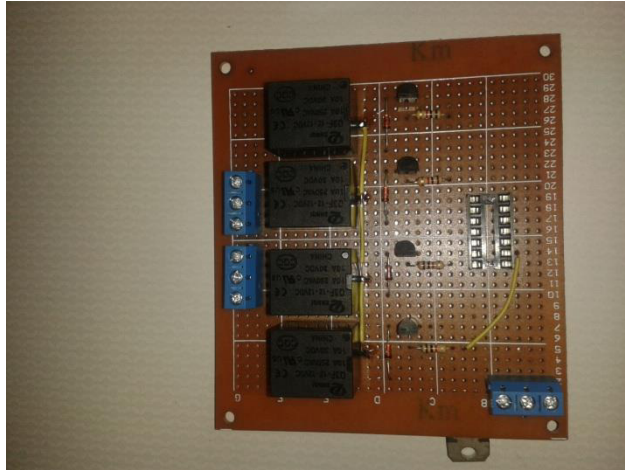


Figura 46. Tarjeta de acondicionamiento de señal.
Elaboración: los autores.

3.3 Diseño de la faja o banda transportadora

La Banda o faja transportadora en el bloque encargado de transportar las mandarinas para su medición mediante el selector óptico y posteriormente al clasificador electroneumático para que se obtenga en uno de las cuatro salidas. En esta parte del diseño se realizarán los cálculos necesarios para determinar las medidas de la faja transportadora y mediante el motor eléctrico determinaremos la velocidad de trabajo de la faja transportadora.

3.3.1 Análisis de la faja transportadora

En el capítulo del diseño del selector óptico, se realizaron mediciones de las dimensiones de las mandarinas y se determinó que las mandarinas tienen una dimensión máxima promedio de 10.35cm y los selectores ópticos se diseñaron con el parámetro alcance de 15cm. El parámetro A_{faj} indica el ancho de la faja transportadora y este se obtiene tomando como punto de referencia el parámetro alcance el cual es de 15cm. A esta medida de referencia se tiene que agregar el espacio en el cual se ubicaran los selectores ópticos que es de unos 5cm.

El parámetro A_{faj} debe tener un mínimo de 20 cm y dando un margen de tolerancia del 10% se define el parámetro

$$A_{faj}=22\text{cm}$$

3.3.2 Estructura mecánica de la faja o banda transportadora

Con el parámetro A_{faj} obtenido se inicia el diseño de la estructura mecánica de la faja o banda transportadora, el siguiente parámetro a determinar es el L_{faj} el cual viene a ser el largo de la faja y posteriormente el parámetro h o altura de la faja.

El parámetro L_{faj} depende de las etapas por las que recorrerá la mandarina desde el ingreso a la faja, el procesamiento y la clasificación. Para ello se considera la Ecuación (24):

$$L_{faj} = CktoEnt + CktoOpt + CktoNeum \quad (24)$$

Donde:

L_{faj} : Largo de la faja.

$CktoEnt$: largo de entrada de la mandarina.

$CktoOpt$: Largo del circuito óptico.

$CktoNeum$: Largo del circuito neumático.

Considerando las dimensiones de los dispositivos a utilizar en los diversos circuitos los cuales se ubicarán sobre la faja transportadora se determina las medidas respectivas:

$CktoEnt = 25\text{cm}$ (espacio destinado al ingreso de las mandarinas).

$CktoOpt = 25\text{cm}$ (espacio destinado a los dispositivos ópticos).

$CktoNeum = 100\text{cm}$ (espacio destinado a los cilindros neumáticos).

Reemplazando los datos obtenidos en la Ecuación (24) se tiene

$$L_{faj} = CktoEnt + CktoOpt + CktoNeum$$

$$L_{faj} = 25\text{cm} + 25\text{cm} + 100\text{cm}$$

$$L_{faj} = 150\text{cm}$$

El parámetro L_{faj} deberá ser fijado en un mínimo de 1.5m.

El parámetro h o altura de faja transportadora no puede tener una altura fija esto debido a que este prototipo se debe incorporar a una línea de producción y los diversos equipos de una línea de producción tienen alturas distintas, evaluando los diversos equipos determinamos que la altura del prototipo debería ser ajustado entre 80cm y 100cm.

Se define el parámetro $h=80$ a 100cm

Con los parámetros obtenidos se inicia el diseño de la estructura mecánica utilizando el software Inventor, en la Figura 47, se observa los parámetros L_{faj} y A_{faj} en prototipo. También se considera las dimensiones de los rodillos chumaceras y otros elementos necesarios para su correcto funcionamiento

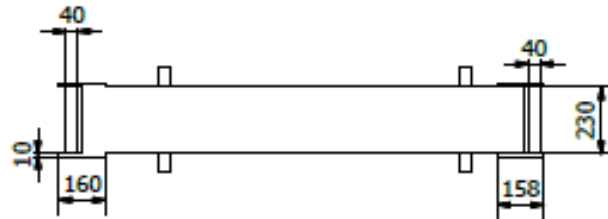


Figura 47. Prototipo de la estructura mecánica de la faja.
Elaboración: los autores.

En la Figura 48, se observa el prototipo con las medidas de los parámetros h de altura de acuerdo a los análisis realizados. Se procede a la implementación física del prototipo

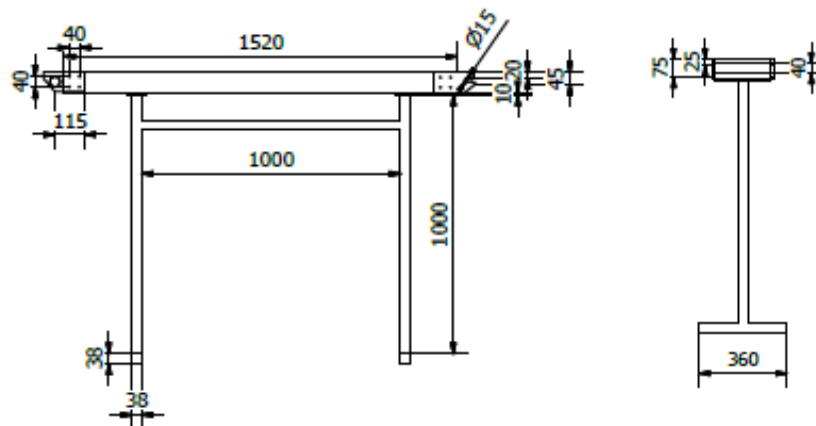


Figura 48. Estructura y dimensiones de la faja transportadora.
Elaboración: los autores.

3.3.2.1 Materiales a utilizar para la implementación de la estructura mecánica del soporte de la faja transportadora

Las fajas son fabricadas con cubiertas de caucho y núcleos de fibras textiles o cables de acero, existiendo una infinidad de variables de

acuerdo a la necesidad de los medios a transportar, variables como: longitud, velocidad, ángulo de inclinación y formas de material.

La faja transportadora es construida con acero ASTM A-36 (American Society for Testing and Materials). El acero A36 es una aleación de acero al carbono de propósito general muy comúnmente usado, aunque existen muchos otros aceros, superiores en resistencia, cuya demanda está creciendo rápidamente sin embargo para las aplicaciones de transporte de mandarinas con muy bajo peso son los adecuados.

El acero A36 se produce en una amplia variedad de formas, que incluyen:

- Planchas.
- Perfiles estructurales
- Tubos
- Barras
- Láminas
- Platinas y
- Ángulos

3.3.2.2 Partes de la faja transportadora

La faja transportadora se implementa sobre una estructura de metaliza con una lona diseñada para uso industrial, adicionalmente se utiliza 2 rodillos con unos calibradores para tensar mediante 2 brazos laterales, Eje y polín Motriz de transmisión en acero VCN a la lona la cual realizara la función cargar los productos de la faja.



Figura 49. Chumacera.

Fuente: Empresa ETK recuperado de su página web

Se consideró utilizar 2 Chumaceras mostradas en la Figura 49, rígidas para sujetar el rodillo que transmite la energía mecánica del motor eléctrico a través de la moto reductora a la faja transportadora, en la Figura 50, se puede observar la chumacera ya instalada con el rodillo en la Faja Transportadora.



Figura 50. Chumaceras ensambladas con el rodillo
Elaboración: los autores.

La altura de la faja transportadora será regulada mediante 4 patas reguladoras de PVC anti deslizantes para nivelación al nivel del piso, posicionamiento estático, Figura 51.



Figura 51. Patas de la faja transportadora.
Elaboración: los autores.

Todos los pernos de ensamble son en acero grado 8. Pintado base sin cromato antioxidante de doble capa y acabado con pintura GLOSS color blanco doble capa, se observa parte de la estructura en desarrollo en la Figura 52.



Figura 52. Estructura de la faja.
Elaboración: los autores.

Sistema de montaje y desmontaje rápido del equipo para cualquier intervención o mantenimiento. Cuenta con bisagras internas, para apertura de plataforma, cambio lona, mejor control, fácil mantenimiento. En la Figura 53, se observa el proceso de implementación de la faja.



Figura 53. Estructura de la faja.
Elaboración: los autores.

3.3.2.3 Faja transportadora instalada y completa

Luego de realizar la instalación de las diferentes partes del sistema mecánico de la faja transportadora como la lona de tipo PLVC negra de 2.1mm vulcanizada de marca UNIBAND, estilo 10AACDZ de fabricación italiana, las chumaceras, los rodillos, las bisagras para un correcto

mantenimiento de la faja y el motor electico en conjunto con el moto reductor se puede observar la faja terminada en la Figura 54.



Figura 54. Estructura de la faja
Elaboración: los autores.

3.3.3 Determinación de los parámetros del motor eléctrico

El motor eléctrico es el encargado de producir el desplazamiento de la faja transportadora, para determinar los parámetros del motor a utilizar se tiene que tomar en cuenta el peso de las mandarinas los cuales oscilan entre 50 y 100gramos.

Considerando las dimensiones de la faja transportadora y el parámetro L_{faj} de 1.5m con una separación entre mandarinas de 15cm la faja soportara un peso máximo de 10 mandarinas a 100gramos cada uno haciendo un peso de 1Kg de manera aproximada relacionándolo con el torque del motor y la distancia de la faja se determina el parámetro torque del motor (T), según Castro J. y Martínez G (2011) en su tesis de grado y de acuerdo con los datos de peso, longitud de la faja de y relación del moto reductor determina el parámetro torque de la faja a:

$$T=0.1kgm$$

Y con este dato se calcula el parámetro potencia del motor con la ecuación (25)

$$T = \frac{Pot. 716}{vel} \quad (25)$$

Donde:

T : torque del motor

Pot : Potencia del motor en Hp

vel : velocidad del motor

Los motores eléctricos comerciales de acuerdo a su velocidad se clasifican en baja y alta velocidad, los motores de baja velocidad se consideran a aquellos que tengan velocidades alrededor de los 1600 rpm en cambio los motores de alta velocidad se consideran en promedio a los motores con velocidades alrededor de los 3200 rpm, para el presente proyecto no se requiere una alta velocidad al contrario deben estar alrededor de los 200 rpm. De acuerdo al análisis previo se asume que un motor de baja velocidad cubre las necesidades de presente proyecto.

Se determina que el parámetro vel a:

$$vel = 1630rpm$$

Despejando la ecuación 5 y reemplazando con los datos se obtiene:

El parámetro potencia (Pot) del motor:

$$Pot=0.218w$$

Con este dato se elige los parámetros del motor los cuales son:

Parámetro $Vel= 1630rpm$

Parámetro $Vmotor=220v$ trifásico

Parámetro $Hmotor=1000msnm$

Parámetro $Ip motor= IP55$

Parámetro $F =60 Hz$

Parámetro $Pot= 0.25Hp$

Dado que la velocidad es muy alta para la faja se utilizará un moto reductor para la reducir la velocidad de 10:1. El motor eléctrico a utilizar y que cumple todos los parámetros obtenidos se observa en la Figura 55, de la marca Eplisac.



Figura 55. Motor reductor usado en el proyecto.
Elaboración: los autores..

3.3.4 Control de la velocidad de la faja transportadora

3.3.4.1 Obtención de los parámetros del variador de velocidad

El variador a utilizar tiene la función de controlar la velocidad del motor de acuerdo a las necesidades que se presenten. El variador debe ser capaz de proporcionar los parámetros de Pot y $Vmotor$ del motor el cual se instala con la moto reductora en la faja transportadora. El variador de velocidad debe soportar una determinada potencia definida como el parámetro $Potvar$ De acuerdo a este criterio se establece la siguiente relación:

$$Pot < Potvar$$

De acuerdo con ello, se determina el parámetro $Potvar$

$$Potvar > 0.25Hp$$

Y el voltaje de trabajo del variador debe ser el mismo que el motor. La frecuencia de salida del variador debe permitir trabajar a una menor velocidad de la indicada en la placa del motor. Los parámetros que debe cumplir el variador son:

$$Potvar > 0.5Hp$$

$$Vmotor = 220v$$

$$F = 60hz$$

$$Fout = 30 \text{ a } 60hz$$

De acuerdo con estos parámetros se debe seleccionar un variador de velocidad para la aplicación diseñada.

3.3.4.2 Selección del variador de velocidad

En el mercado de los variadores de velocidad existe una amplia gama de productos de diferentes marcas, sin embargo, de acuerdo a los parámetros previamente obtenidos se selecciona el variador de velocidad de marca LS de procedencia coreana la cual cumple con todos los parámetros que se requiere para el presente proyecto. En la tabla 11, se puede realizar una comparación entre los parámetros requeridos para el proyecto y lo que puede proporcionar el variador elegido.

Tabla 11. Características del variador

Parámetro	Necesidad del diseño	Características del variador LS	
<i>Potvar</i>	0.5Hp	1Hp	Potencia del variador
<i>F</i>	60Hz	50-60Hz	Frecuencia de entrada
<i>Vmotor</i>	220v	200-230v	Voltaje de entrada
<i>Fout</i>	30-60hz	0.1-400hz	Frecuencia de salida

Elaboración: los autores.

El variador seleccionado presenta una compensación automática de par y de deslizamiento, pudiendo entregar hasta un 150% del par nominal a 5 Hz. Operación extremadamente silenciosa. Tensión de salida con un contenido mínimo en armónicos gracias a la innovadora técnica SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation) con portadora de hasta 10 kHz.

Frecuencia de salida hasta 400 Hz. Alimentación monofásica a 230 Vac, siendo también posible la conexión trifásica a 230 Vac. Posibilidades de consigna de velocidad: tensión 0-10V, bucle 4-20 mA, potenciómetro integrado o externo (5K), E/S multifunción (3 velocidades preprogramadas, JOG...), comunicaciones, teclado. Diferentes buses de campo (Modbus sobre RS-485 de serie; Profibus-DP, Lon Works opcionales). En la figura 56 se observa la forma física del variador LS.

- Frecuencia de salida 1.0-400 Khz, rango de potencias: 25 w - 1.5 kw.
- Curva V/f ajustable
- Frecuencia portadora hasta 10 khz

- Auto-Boost de par y compensación de deslizamiento Compatible con Modbus.
- Filtro EMI incorporado



Figura 56. Variador LS modelo IG5
Fuente: LS recuperado de su página web

3.3.4.3 Instalación del variador de velocidad

El motor utilizado en el presente proyecto es de ¼ de Hp y se alimenta con 220v para lograr controlar la velocidad se conectó al variador de velocidad de marca LS mediante un moto reductor con reducción de 10:1. En la Figura 57, se observa la instalación del motor con el variador de velocidad, los terminales que se observan corresponden a los terminales de potencia, es decir, son los terminales por donde hay mayor circulación de corriente y normalmente están conectados a una corriente alterna.

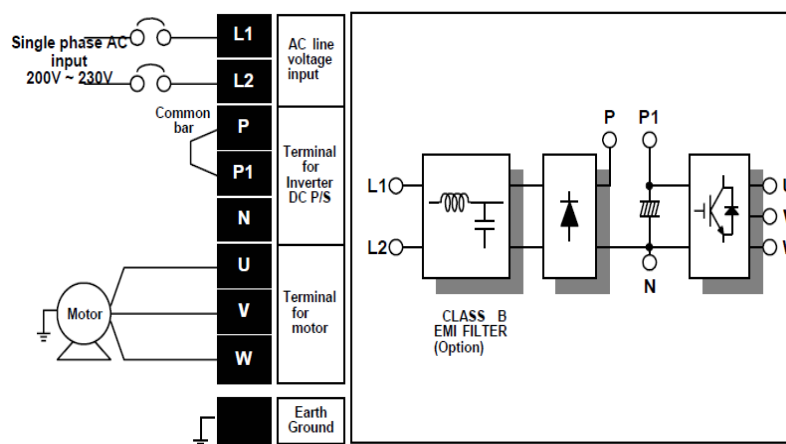


Figura 57. Instalación del Variador de velocidad.
Fuente: Manual del Variador LS IC5 (2011).

El variador de velocidad tiene otro grupo de terminales que corresponden a los terminales de control, es decir son los terminales que tiene la función de controlar el arranque directo, inverso cambio de velocidad etc. estas funciones se programan previamente y para el presente proyecto deben ser controlados a través del controlador lógico programable en la Figura 58, se observa los terminales de control que posee el variador LS.

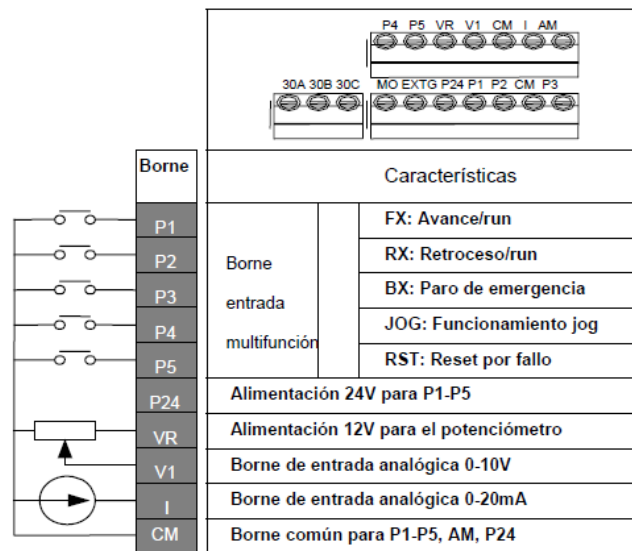


Figura 58. Terminales de control del variador LS.
Fuente: Manual del Variador LS IC5 (2011).

Para el control de arranque de la faja se realiza entre el terminal P1 (terminal de arranque directo) y el terminal CM (terminal común), la acción de control es básicamente como un interruptor el cual es controlado por el PLC y responde a un programa previamente cargado en el PLC.

3.3.5 Velocidad de la faja

El recorrido que realiza una mandarina en la faja transportadora debe ser de forma constante para cualquier mandarina al margen del su tamaño y forma. La velocidad del motor a utilizar tiene como parámetro a *vel* el cual es de 1630rpm. La frecuencia de salida del variador se ajustó a una nueva frecuencia de 40Hz esto produce una disminución en la velocidad del motor y se obtiene mediante un aspa simple.

60Hz	1630Rpm
40Hz	<i>vel/2</i>

Se establece la relación que se muestra a continuación

$$vel2 = \frac{40Hz. 1630rpm}{60Hz}$$

Donde:

vel2: nueva velocidad del motor a 40Hz

Luego de realizar los cálculos se obtiene el parámetro

$$vel2 = 1087rpm$$

Pero como el variador utiliza moto reductora de 10:1 la velocidad a la cual se desplaza el rodillo (*vel3*) instalado en la faja transportadora será de:

$$vel3 = \frac{1087rpm}{10}$$

$$vel3 = 108,7rpm$$

Dado que la faja tiene una longitud de 3.4m y el tiempo en el que realiza una vuelta es de:

$$t1 = \frac{60s. 1rpm}{108,7rpm}$$

$$t1 = 0,552s$$

Entonces la velocidad de desplazamiento de la faja es de

$$Vfaj = \frac{25,13cm}{0,552s}$$

$$Vfaj = 45,53cm/s = 0,46m/s$$

Con el dato obtenido queda determinado el parámetro *Vfaj*. El motor eléctrico, el reductor de velocidad mecánico y la faja se puede observar en la Figura 59, ya instalado.



Figura 59. Moto reductor y motor trifásico
Elaboración: los autores.

3.3.6 Capacidad de procesamiento de mandarinas en la faja

Las mandarinas tienen un peso que puede variar entre 50gr las más pequeñas y 155gr las más grandes, entonces se puede tener como referencia el promedio el cual sería de 100gr por mandarina. La velocidad de desplazamiento de la faja es de 0.46m/s en un minuto la faja producirá un desplazamiento de 27.6m, dada la velocidad de la faja se podrían colocar mandarinas separadas una de otra a 60cm, lo cual daría como resultado el pase de 46 mandarinas. Entonces la capacidad por minuto sería de:

$$Capmin = 46 \cdot 100gr$$

$$Capmin = 4600gr = 4,6kgr$$

Y la capacidad de procesamiento por hora (*Caphor*) será de:

$$Caphor = 4,6kgr \cdot 60min$$

$$Caphor = 276kgr$$

Trabajando a un tiempo de 8 horas por día se tiene:

$$Capdia = 276k/Hora \cdot 8 Hora/día = 2208Kilos/día$$

$$O también Capdia = 2.2tn/día$$

Superando ligeramente el objetivo específico de producción de 2tn/día el cual cumple con las necesidades de los agricultores del valle de cañete tomado como referencia.

3.4 Diseño del sistema electroneumático del clasificador de mandarinas

La Electro neumática es una de las técnicas de automatización que, en la actualidad, viene cobrando vital importancia en la optimización de los procesos a nivel industrial. Con el avance de las técnicas de electricidad y la electrónica se produjo la fusión de métodos y dando así el inicio de los sistemas electroneumáticos en la industria, los cuales resultaban más compactos y óptimos a diferencia de los sistemas puramente neumáticos. En el presente proyecto de investigación, se utiliza la tecnología electroneumática en la etapa de clasificación de salida de las mandarinas, es decir, esta etapa es la encargada de seleccionar y redirigir a las mandarinas a una de las 4

salidas previamente definidas. Para ello se utilizan los cilindros neumáticos electroválvulas y otros elementos que a continuación se detallan.

3.4.1 Cilindros neumáticos

Son componentes neumáticos que, mediante el uso del aire comprimido, generan un movimiento rectilíneo de avance y retroceso de un mecanismo. En el diseño del prototipo se utilizará cilindros neumáticos de doble efecto, y sus valores en cuanto al diámetro del embolo y vástago están estandarizados por lo que su selección es más sencilla, se definen los siguientes parámetros de los cilindros neumáticos considerando no realizaran trabajos de mucha fuerza, pero sí de velocidad.

$$D_{vas} = 10\text{mm}$$

$$D_{emb} = 25\text{mm}$$

$$F_{net} = 260\text{N}$$

$$L_{carr} = 140\text{mm}$$

La clasificación se realiza para 04 tamaños distintos entonces se utilizaron 04 cilindros idénticos y con las mismas características, adicionalmente a cada cilindro se incorporará un regulador de presión para que la fuerza que ejerza sobre las mandarinas no sea dañina. En la Figura 60, se puede observar los 04 cilindros ensamblados sobre una misma base metálica y tenga mayor estabilidad.



Figura 60. Cilindros neumáticos
Elaboración: los autores.

3.4.2 Circuito electroneumático

Para el presente avance, se diseñó la etapa de salida del clasificador con cuatro cilindros neumáticos y 4 electroválvulas los cuales se encargarán de redirigir el avance de las mandarinas en la faja transportadora, la electroválvula a utilizar es un 5/2 biestable, es decir es una electroválvula de 5vias y 2 estados controlados eléctricamente. En la Figura 61, se puede observar el símbolo utilizado en los esquemas eléctricos.

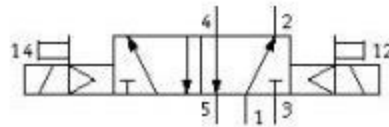


Figura 61. Símbolo de la electroválvula neumática Por Festo Didactic, recuperado de su página web.

Para el diseño se ha utilizado 04 electroválvulas de 5/2, en la Figura 62, se puede observar el diagrama electroneumático implementado con todos los componentes para su simulación respectiva con el software Fluid SIM.

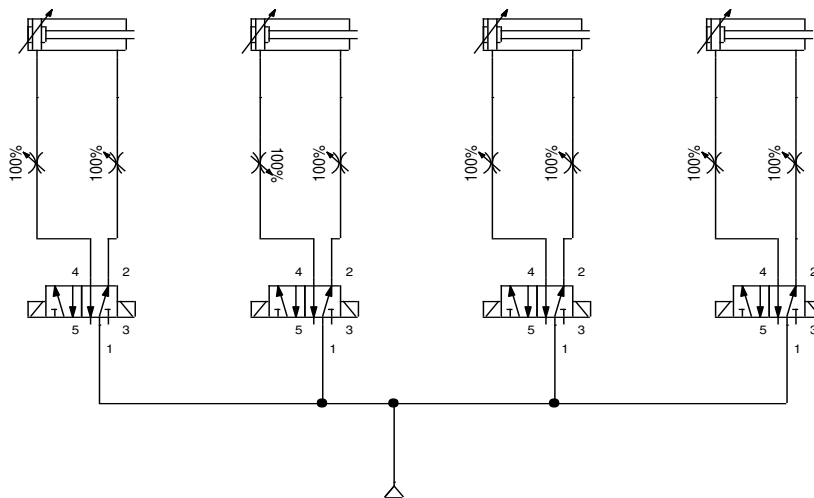


Figura 62. Circuito neumático implementado en el proyecto
Elaboración: los autores.

Todos los cilindros neumáticos y las electroválvulas se han instalado sobre una estructura metálica sujetos adecuadamente, cada bobina de la electroválvula se energiza con 220v y es controlado por el PLC, en la Figura 63 se puede observar la electroválvula instalada en la estructura metálica del prototipo.

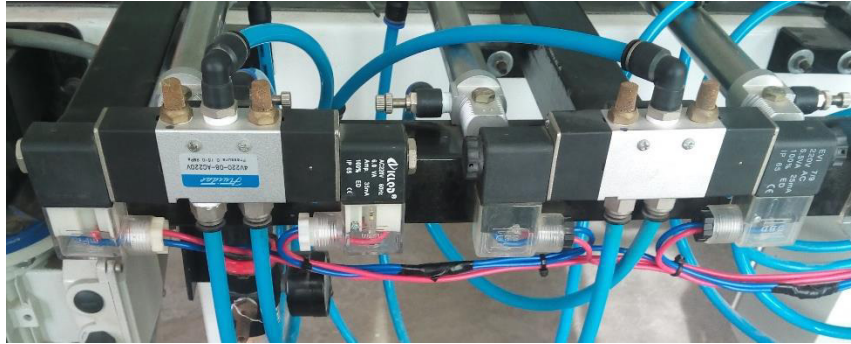


Figura 63. Electroválvulas instaladas en el equipo.
Elaboración: los autores.

En el caso que la punta del vástago impacte directamente con las mandarinas podría causarles algún daño por la fuerza de impacto, para evitar esta situación se tomaron dos medidas, primero colocar en los cilindros neumáticos reguladores de presión de tal manera que pueda ser regulada la fuerza de impacto del vástago del cilindro con la mandarina y segundo colocar espuma especial en la punta del vástago para que amortigüe aún más el impacto. La instalación de la espuma especial se puede observar en la Figura 64.

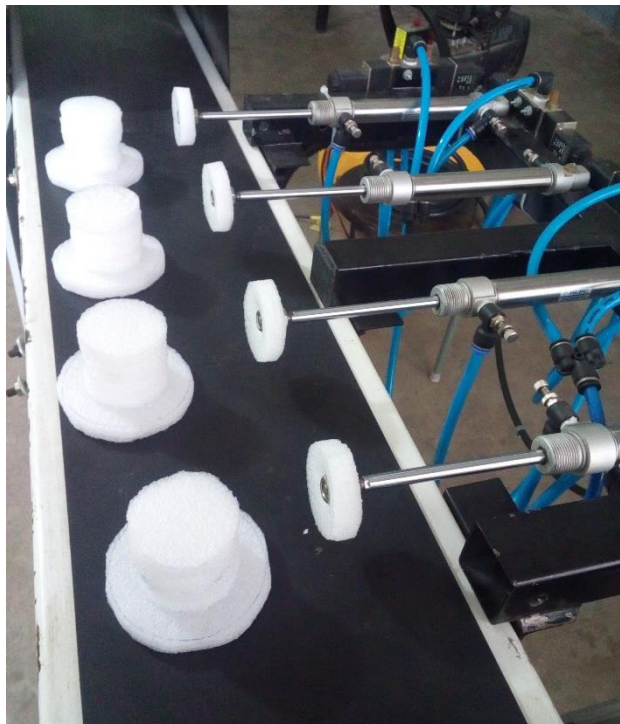


Figura 64. Instalación de espumas en los cilindros.
Elaboración: los autores.

3.5 Diseño del programa para el controlador lógico programable

3.5.1 Controlador Simatic S7-1200 de Siemens

El controlador utilizado en el diseño de la etapa de control es el PLC S7-1200 de Siemens de CPU 1212 y un módulo de expansión de entradas a 24 voltios con salidas a relé. La programación en el PLC se realizará utilizando el programa del TIA Portal V13 en Ladder o llamado también lenguaje de escalera.

Se utilizan pulsadores para dar el inicio y la parada de funcionamiento de la máquina clasificadora, cuenta con los elementos de seguridad necesarios para proteger a los operadores.

Tabla 12. Variables de entrada y salida del PLC.

Nombre de Var	Tipo de Variable	Dirección
Arranque	Tabla de variables estándar Bool	%I0.0
Parada	Tabla de variables estándar Bool	%I0.1
Cilindro1_Ent	Tabla de variables estándar Bool	%Q0.0
Cilindro1_Sal	Tabla de variables estándar Bool	%Q0.1
Cilindro2_Ent	Tabla de variables estándar Bool	%Q0.2
Cilindro2_Sal	Tabla de variables estándar Bool	%Q0.3
Cilindro3_Ent	Tabla de variables estándar Bool	%Q0.4
Cilindro3_Sal	Tabla de variables estándar Bool	%Q0.5
Cilindro4_Ent	Tabla de variables estándar Bool	%Q0.6
Cilindro4_Sal	Tabla de variables estándar Bool	%Q0.7
Sensor1	Tabla de variables estándar Bool	%I0.2
Sensor2	Tabla de variables estándar Bool	%I0.3
Sensor3	Tabla de variables estándar Bool	%I0.4
Sensor4	Tabla de variables estándar Bool	%I0.5
MarcaEnclava	Tabla de variables estándar Bool	%M0.0
Marca_Sensor1	Tabla de variables estándar Bool	%M0.1
Marca_Sensor2	Tabla de variables estándar Bool	%M0.2
Marca_Sensor3	Tabla de variables estándar Bool	%M0.3
Marca_Sensor4	Tabla de variables estándar Bool	%M0.4
MarcaTemp1	Tabla de variables estándar Time	%MD100
MarcaTemp2	Tabla de variables estándar Time	%MD104
MarcaTemp3	Tabla de variables estándar Time	%MD108
MarcaTemp4	Tabla de variables estándar Time	%MD112
Marca_Temp1	Tabla de variables estándar Bool	%M0.5
Marca_Temp2	Tabla de variables estándar Bool	%M0.6
Marca_Temp3	Tabla de variables estándar Bool	%M0.7
Marca_Temp4	Tabla de variables estándar Bool	%M1.0

Elaboración: los autores.

3.5.2 Variables de entrada y salida del PLC

Para proceder a realizar la programación del PLC, primero se identifica todas las variables de entrada y salida que se utilizaron en la programación del PLC asignándole un nombre y dirección, así como el tipo de variable. Parte de las variables asignadas se muestran en la Tabla 10; sin embargo, en el anexo 4 se puede observar todas las variables que se utilizaron en el desarrollo del programa de PLC.

La programación del PLC se realiza mediante el software TIA Portal V13 siendo el más utilizado en la actualidad para toda la gama de PLC de marca Siemens; en la Figura 65, se puede observar la ventana de trabajo del TIA Portal en la programación del PLC para el presente proyecto de selección de mandarinas por dimensiones físicas.

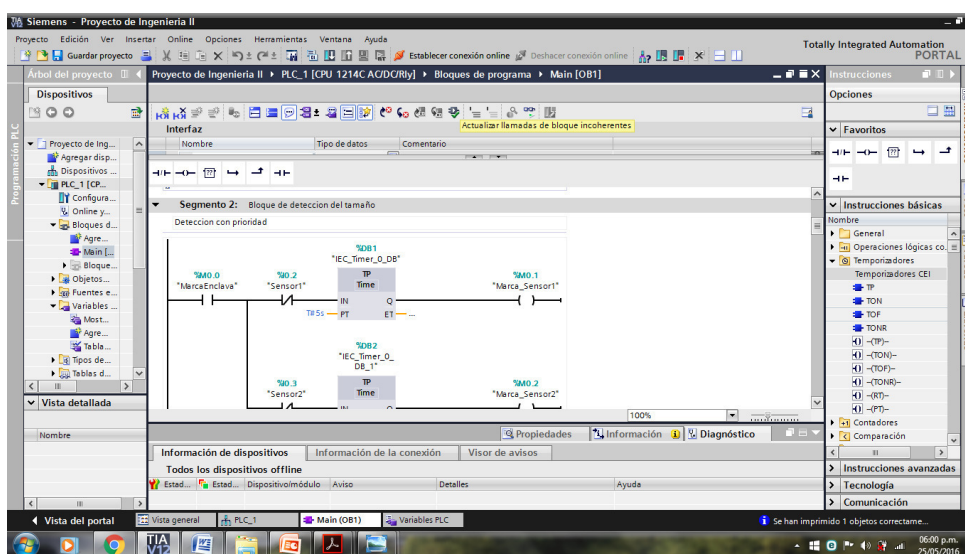


Figura 65. TIA Portal software de programación del PLC.
Elaboración: los autores.

3.6 Diseño del tablero eléctrico de control

3.6.1 Tablero eléctrico del prototipo

Todos los dispositivos y componentes eléctricos y electrónicos deben estar protegidos de los ambientes hostiles de una planta industrial y de acuerdo a la norma eléctrica nacional todos los componentes de control deben estar ubicados en el interior de un tablero eléctrico de control que proteja a los

dispositivos sobre algunas variables físicas externas. De acuerdo a la cantidad de componentes y dispositivos utilizados se determinó que el tablero eléctrico debe tener la siguiente medida:

Largo = 60cm

Ancho = 40cm

Profundidad = 20cm

El tablero seleccionado se puede observar en la Figura 66, con la disposición de todos los componentes que se ubicaran en el interior del tablero eléctrico, para un mayor detalle del tablero se puede observar el anexo 5b.

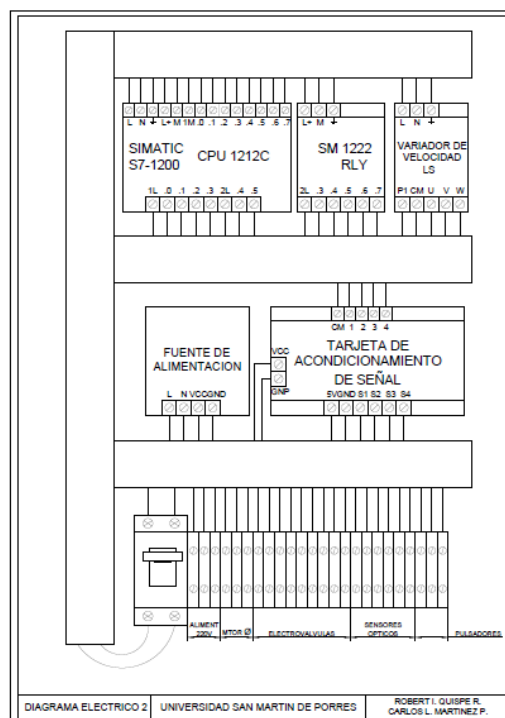


Figura 66. Tablero eléctrico de control.
Elaboración: los autores.

3.6.2 Conexión eléctrica del prototipo

Todos los dispositivos y componentes eléctricos se encuentran interconectados entre si eléctricamente ya sea con el fin de ser alimentados o energizados o con el fin de ser controlados, todo el cableado eléctrico del tablero eléctrico se observa en la Figura 67.

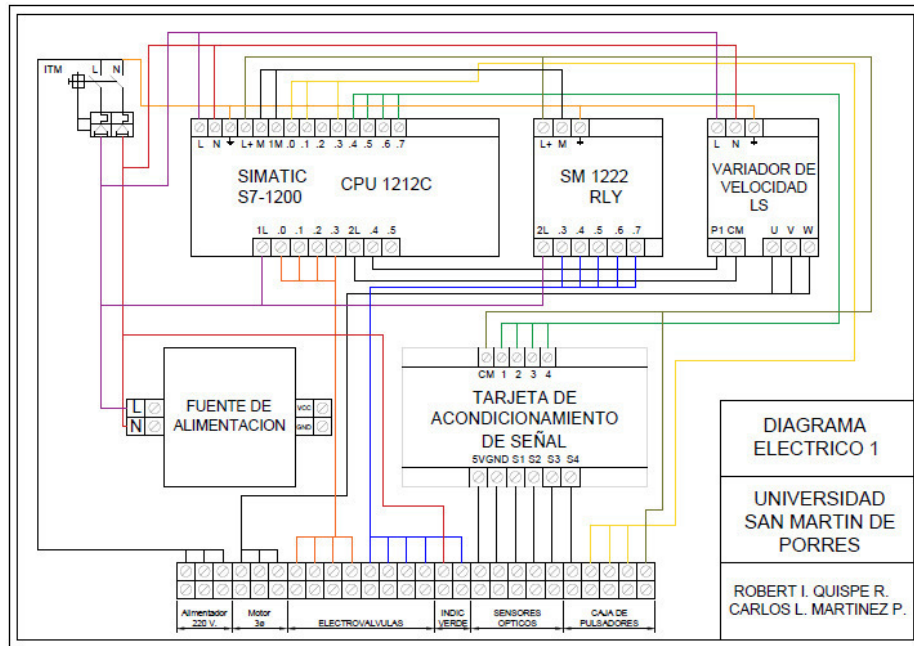


Figura 67. Cableado eléctrico del tablero.
Elaboración: los autores.

mediante una imagen reducida sin embargo en el anexo 5a se observa a detalle todo el cableado eléctrico realizado en el prototipo.

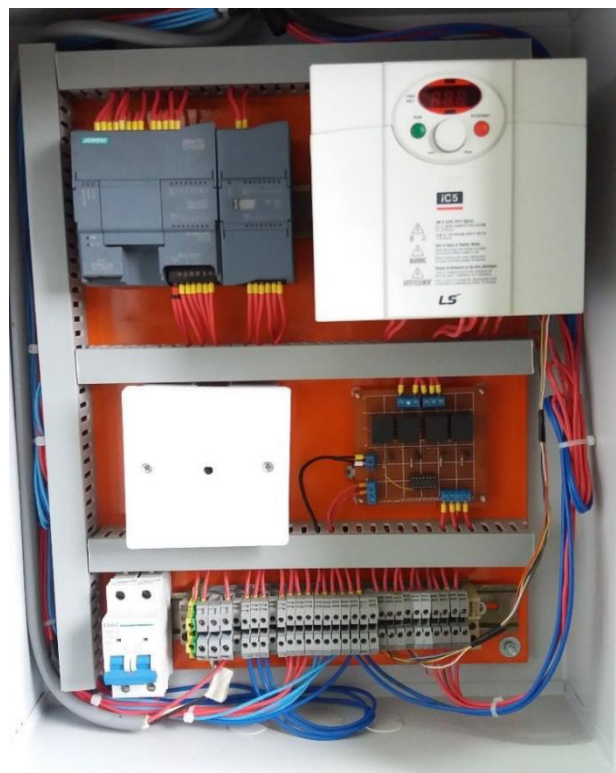


Figura 68. Tablero eléctrico de control.
Elaboración: los autores.

Una vista del tablero con los componentes ya instalados y conectados se observa en la Figura 68, en la parte superior lado izquierdo se ubica el controlador PLC y su módulo de expansión y hacia el lado derecho está el variador de velocidad de marca LS, en la parte central de tablero.

Se ubica al lado izquierdo la fuente de alimentación que energiza a los sensores ópticos y al lado derecho, se ubica el circuito acondicionador de señal del sensor óptico.

Al tablero eléctrico se encuentran conectados los pulsadores de encendido de equipo, lámpara indicadora de encendido de color verde, parada y parada de emergencia, se ubican en la caja de botoneras el plano se puede observar con mayor detenimiento en el anexo 5c y ya implementado físicamente en la Figura 69. Cabe mencionar la diferencia entre el pulsador de parada y parada de emergencia consiste en que no puede ser encendida nuevamente el equipo cuando se activa el pulsador de parada de emergencia hasta que se desactive lo que si sucede con el pulsador de parada.



Figura 69. Botoneras del equipo.
Elaboración: los autores.

En el presente capítulo, se realizó el diseño del prototipo clasificador de mandarinas cumpliendo con todos los objetivos específicos de diseño del prototipo en cada una de las etapas desde el selector óptico con las distancias de separación y el alcance que puedan tener los sensores ópticos, en el caso de la faja transportadora se determinó la velocidad de desplazamiento de la faja para lograr una producción de 2tn/día como mínimo, y en el caso del sistema electroneumático se tuvo en consideración el mayor

cuidado de las mandarinas para que no resulten dañadas, se programó el PLC para que realice la función de selección y el tablero para que proteja todos los componentes utilizados en el presente proyecto.

3.6.3 Características eléctricas del prototipo

En el tablero eléctrico, se encuentran todos los elementos eléctricos y electrónicos que utiliza el prototipo para su funcionamiento y para determinar la potencia de consumo del equipo y las demás características eléctricas del prototipo a diseñar se requiere como dato la potencia de consumo de cada elemento que se energizara con el tablero eléctrico.

Los elementos eléctricos que utilizaran energía eléctrica en forma directa se muestran en la tabla 15, con ello se determinara la potencia de consumo del prototipo.

Tabla 13. Elementos eléctricos que se ubican en el tablero

Elemento eléctrico	Cantidad	Potencia	Sub total
PLC siemens	01	120w	120w
Variador LS	01	746w	746w
Fuente de Aliment.	01	20w	20w
Electroválvulas	04	11w	44w
Total	07		930w

Elaboración: los autores.

De acuerdo a la potencia eléctrica que se determinó se puede deducir las características eléctricas del prototipo los cuales se mostraran en la tabla 14.

Tabla 14. Características eléctricas del prototipo

Características eléctricas	Valores
Potencia	930w
Voltaje	220v
# de fases	Monofásico
Frecuencia	50-60Hz
Corriente	4.7 ^a
FP	0.9
IP	44
Máxima Altura de trabajo	1000msm

Elaboración: los autores.

CAPÍTULO IV PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Pruebas

4.1.1 Pruebas iniciales de funcionamiento en el prototipo

Para realizar las pruebas iniciales, se adquirieron un total de 5kg de mandarinas de diferentes dimensiones como se observa en la Figura 70, donde las más pequeñas tenían una altura de 3.2cm y la de mayor tamaño 5cm haciendo un total de 50 mandarinas en conjunto.



Figura 70. Mandarinas utilizadas para las pruebas.
Elaboración: los autores.

Para iniciar las pruebas, se agruparon a las mandarinas en cuatro tamaños de 10 unidades cada una y se procedió a realizar una serie de pruebas en el prototipo para verificar su funcionamiento las cuales consistieron en pasar mandarinas del mismo tamaño y de forma consecutiva obteniendo los resultados que se muestran en las tablas debidamente ordenadas.

Antes de realizar las pruebas indicadas, se deduce como obtener el error en las pruebas de validación. Cuando se han realizado más de 15 pruebas como es en este caso, entonces el porcentaje de correcta clasificación se puede calcular por la ecuación 25.

$$\% \text{ de correcta clasificación} = \frac{N_{cc}}{N} \cdot 100 \quad (25)$$

Donde:

N_{cc} = Número de mandarinas con correcta clasificación

N = Número total de mandarinas utilizada en la prueba

Sin embargo, el porcentaje de error de clasificación se obtiene aplicando la ecuación 26:

$$\% \text{ de error de clasificación} = 100\% - \% \text{ de correcta clasificación} \quad (26)$$

Se observa que el porcentaje de error de clasificación depende directamente del porcentaje de correcta clasificación, en las pruebas realizadas de determinan los errores mediante las ecuaciones 25 y 26.

Para la mandarina de tamaño A la cual tiene una media de 3.4 cm al pasar por prototipo del clasificador se obtuvo el resultado que se muestra en la tabla 15, haciendo un total de 50 mandarinas procesadas.

Tabla 15. Pruebas de Validación de la mandarina de tamaño A

Pruebas	Mandarina de tamaño A	% de correcta clasificación	% de error de clasificación
Prueba 1	9	90%	10%
Prueba 2	10	100%	0%
Prueba 3	8	80%	20%
Prueba 4	9	90%	10%
Prueba 5	9	90%	10%
% Promedio		90%	10%

Elaboración: los autores.

Para la mandarina de tamaño B la cual tiene una media de 3.8 cm al pasar por prototipo del clasificador se obtuvo el resultado que se muestra en la tabla 16, el cual también hace un total de 50 mandarinas procesadas.

Tabla 16. Pruebas de Validación de la mandarina de tamaño B

Pruebas	Mandarina de tamaño B	% de correcta clasificación	% de error de clasificación
Prueba 1	10	100%	0%
Prueba 2	10	100%	0%
Prueba 3	9	90%	10%
Prueba 4	10	100%	0%
Prueba 5	9	90%	10%
% promedio		96%	4%

Elaboración: los autores.

Para la mandarina de tamaño C la cual tiene una media de 4.4 cm al pasar por prototipo del clasificador se obtuvo el resultado que se muestra en la tabla 17, haciendo un total de 50 mandarinas procesadas.

Tabla 17. Pruebas de Validación de la mandarina de tamaño C

Pruebas	Mandarina de tamaño C	% de correcta clasificación	% de error de clasificación
Prueba 1	10	100%	0%
Prueba 2	10	100%	0%
Prueba 3	10	100%	0%
Prueba 4	10	100%	0%
Prueba 5	9	90%	10%
% promedio		98%	2%

Elaboración: los autores.

Para la mandarina de tamaño D la cual tiene una media de 4.8 cm al pasar por prototipo del clasificador se obtuvo el resultado que se muestra en la tabla 18, haciendo un total de 50 mandarinas procesadas

Tabla 18. Pruebas de Validación de la mandarina de tamaño D

Pruebas	Mandarina de tamaño D	% de correcta clasificación	% de error de clasificación
Prueba 1	10	100%	0%
Prueba 2	9	90%	10%
Prueba 3	10	100%	0%
Prueba 4	10	100%	0%
Prueba 5	9	90%	10%
% promedio		96%	4%

Elaboración: los autores.

4.1.2 Análisis de las Pruebas iniciales de funcionamiento

Las pruebas iniciales se resumen en la tabla 15 y muestran los primeros resultados del prototipo clasificador con un alto nivel de asertividad en el proceso de selección con niveles por encima del 90% de selección.

Tabla 19. Resultados de las pruebas iniciales de funcionamiento

Producto	% de correcta clasificación	% de error de clasificación
Tamaño A	90%	10%
Tamaño B	96%	4%
Tamaño C	98%	2%
Tamaño D	96%	4%
% Promedio	95%	5%

Elaboración: los autores.

Se puede observar lo más relevante que el nivel de clasificación tiene un promedio del 95% cuando el proceso se realiza con mandarinas de un solo tamaño y en forma continua, también se observa en la tabla 15 que la clasificación para las mandarinas de menor tamaño presenta un error muy alto del 10% esto se debe a que las mandarinas de tamaño B son muy cercanas a las mandarinas de tamaño A, en cambio las mandarinas de tamaño C presentan un alto nivel de clasificación del 98% con un error mínimo del 2%.

4.1.3 Pruebas realizadas en el prototipo en forma aleatoria.

Para realizar las pruebas de funcionamiento en forma aleatoria se utilizaron 40 mandarinas los cuales ingresaban de manera continua y en cualquier orden con respecto a su tamaño, en la Figura 71, se realizaron un total de 4 pruebas de forma consecutiva.

En la tabla 20, se observa los resultados del proceso de clasificación de las mandarinas en forma aleatoria, es decir al equipo clasificador ingresaron las mandarinas de cualquier tamaño y en cualquier orden, este proceso se repitió hasta en cuatro veces.



Figura 71. Clasificación de mandarinas en forma aleatoria.
Elaboración: los autores.

Tabla 20. Validación de funcionamiento de la unidad selectora

Producto	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	% de correcta clasificación	% de error de clasificación
Tamaño 1	10	10	9	9	95%	5%
Tamaño 2	10	9	10	10	97.5%	2.5%
Tamaño 3	9	10	10	10	97.5%	2.5%
Tamaño 4	10	10	9	9	95%	5%
Promedio	39	39	38	38	96.25%	3.75%

Elaboración: los autores.

4.1.4 Análisis de las pruebas realizadas en el prototipo en forma aleatoria

En las pruebas realizadas, se obtuvo los resultados que son mostrados en la tabla 16, en el cual se puede observar un 96.25 % en el nivel de clasificación de mandarinas al que podríamos definir como óptimo con un bajo nivel de error del 2.75%, los resultados de clasificación de los diversos tamaños se ubican por encima del 90%, permitiendo que el prototipo cumpla su objetivo de funcionamiento. Se puede observar que las mandarinas con tamaños medios tienen un mejor nivel de clasificación con el 97.5% de asertividad.

4.1.5 Pruebas de producción en el prototipo con mandarinas

Para realizar las pruebas de producción, se realizaron con mandarinas de diferentes tamaños en forma continua durante el lapso de tiempo de un minuto controlado con un cronometro, se utilizó un total de 70 mandarinas para realizar la presente prueba, cuyos resultados se muestran en la tabla 21.

Tabla 21. Pruebas de producción del prototipo por minuto

	N° de mandarinas por minuto
Prueba 1	56
Prueba 2	58
Prueba 3	60
Prueba 4	59
Prueba 5	61
Prueba 6	62
Prueba 7	59
Prueba 8	58
Prueba 9	61
Prueba 10	61
Promedio	59.5

Elaboración: los autores.

4.1.6 Análisis de las pruebas de producción en el prototipo con mandarinas

De acuerdo con pruebas realizadas se tiene una media de 59.5 mandarinas por minuto, considerando que se realizaron 10 pruebas durante un minuto, este resultado permite tener una idea clara sobre el trabajo que está realizando el prototipo clasificador. Los pesos de las mandarinas son muy variados, sin embargo, como están agrupados se tiene los valores promedio en la tabla 22 y también el promedio de todas las mandarinas.

Tabla 22. Peso promedio de las mandarinas

	Peso promedio
Tamaño A	50g
Tamaño B	65g
Tamaño C	125g
Tamaño D	155g
Promedio	98.75g

Elaboración: los autores.

Las mandarinas que se utilizaron para las pruebas presentan una variación notoria en cuanto a su peso, se puede observar que el peso promedio es de 98.75 gramos para las mandarinas, si tomamos a este dato como referencia de peso de las mandarinas y el dato de producción de mandarinas por minuto, podremos obtener la producción por hora y la posible producción por día.

Entonces lo primero que se debe realizar es determinar la producción por minuto, teniendo los datos del peso promedio de mandarinas y el promedio de mandarinas por minuto se reemplaza estos datos en la Ecuación 27.

$$Prmin = Pma \cdot Nma \quad (27)$$

Donde:

$Prmin$ = Producción por minuto

Pma = Peso promedio de mandarina

Nma = Numero de mandarinas por minuto

Luego de Reemplazar se tiene:

$$Prmin = (59,5) \cdot (98,75g) = 5875,6g = 5,875kg/min$$

Luego la producción por hora($Prhor$) será de:

$$Prhor = (5,875kg) \cdot (60min) = 353,5kg/h$$

Ahora la producción por día se puede determinar en función de las horas de trabajo del personal y de la cantidad de fruta a procesar, en un primer caso se puede considerar las 8 horas de trabajo diario y otro para 10 horas diarias.

Caso 1: Producción de 8 horas diarias

$$Prdia = (353,5kg/h) \cdot (8h) = 2828kg/dia = 2,82tn/día$$

Caso 2: Producción de 10 horas diarias

$$Prdia = (353,5kg/h) \cdot (10h) = 3535kg/dia = 3,53tn/día$$

Se puede observar en ambos casos que la producción obtenida por día supera uno de los objetivos del presente proyecto de lograr una producción de solo 2tn/día.

4.2 Resultados

4.2.1 Resultados en el diseño del prototipo

Al iniciar el presente proyecto de investigación se planteó como objetivo general diseñar un prototipo clasificador de mandarinas por dimensiones físicas, y los resultados que se obtuvieron en las pruebas, validaciones y análisis confirman el correcto funcionamiento del prototipo, en un primer caso con el 95% de asertividad donde las mandarinas se colocaban de forma continua, pero del mismo grupo o tamaño y en un segundo caso en forma aleatoria en el que se logró un 96.25%. ambos resultados se observan en la tabla 15 y 16. Es decir, si tomamos el primer resultado como referencia podemos interpretar que de 100 mandarinas que ingresan al equipo clasificador 95 mandarinas son clasificados correctamente de acuerdo a su tamaño en uno de los grupos previamente definidos y solo 5 mandarinas no son seleccionadas adecuadamente.

El circuito selector óptico cumplió la función para la que fue diseñada que mediante una detección por barrera puede determinarse la dimensión física o altura con mucha facilidad de cualquier tipo de producto que no sea transparente.

La faja transportadora permitió el desplazamiento de las mandarinas para q sean primero “medidas” y luego ubicadas en uno de los cuatro lugares de salida de acuerdo a su tamaño, la velocidad a la cual fue ajustada permitió que la etapa del selector óptico cumpla su función adecuadamente.

Los cilindros neumáticos no dañaron a las mandarinas puesto que tenían en la parte frontal esponjas y la presión de accionamiento fue ajustado en el equipo compresor.

El programa realizado en el PLC cumplió con el objetivo específico de realizar el control de selección, los tiempos de temporización y retardo, cumplieron con el objetivo.

4.2.2 Resultados de la producción

Los resultados de la producción fueron optimas, en un primer instante tomando como referencia la necesidad de los agricultores del valle de cañete de procesar 2tn/día de mandarinas se realizó el diseño correspondiente, luego de realizar las pruebas de funcionamiento se obtuvo una producción de 2,82tn/día para un trabajo diario de 8 horas y en caso de incrementar a 10 horas por día, la producción diaria seria de 3,53tn/día superando notablemente el objetivo planteado.

4.3 Informe económico

4.3.1 Informe económico del proyecto de investigación

Para desarrollar el presente proyecto de investigación se realizó una inversión económica con el cual se adquirieron los diferentes dispositivos y componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos y de software. En la Tabla 23, se puede observar una lista detallada de los elementos utilizados y el costo invertido en cada uno de ellos.

Tabla 23. Inversión realizada en el proyecto de investigación.

Nombre	Uso	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Diodos Led Infrarrojo	Unidad clasificadora	30	S/0.6	S/18
Fototransistores	Unidad Clasificadora	20	S/4.0	S/80
Componentes varios	Unidad Clasificadora	01	S/20	S/20
Cables y conectores	Unidad Clasificadora	05	S/2.0	S/10
Soporte	Unidad Clasificadora	02	S/50	S/100
Placa Impresa	Unidad Clasificadora	01	S/50	S/50
Accesorios adicionales	Unidad Clasificadora	01	S/200	S/200
Módulo de micro Controlador	Unidad de control	02	S/300	S/600
Accesorios	Unidad de control	02	S/100	S/200
PLC	Unidad de control	01	S/1200	S/1200

Accesorios del PLC	Unidad de control	02	S/500	S/1000
Software del TIA portal V13	Unidad de control	01	S/1200	S/1200
Tablero eléctrico	Unidad de control	01	S/200	S/200
Motor eléctrico 1/4Hp	Sistema de transporte	01	S/210	S/210
Estructura mecánica Faja Transportadora	Sistema de transporte	01	S/2000	S/2000
Variador de velocidad	Sistema de transporte	01	S/510	S/510
Moto Reductor	Sistema de transporte	01	S/210	S/210
Cilindros neumáticos	Sistema de clasificación	06	S/205	S/1230
Electroválvulas	Sistema de Clasificación	06	S/115	S/690
Estructura mecánica del clasificador	Sistema de Clasificación	01	S/ 800	S/800
Mangueras conectores y otros	Sistema de Clasificación	01	S/100	S/100
Regulador de electro válvula	Equipo clasificador	08	S/16	S/128
Mandarinas	Prueba	10	S/3	S/30
Gastos por movilidad	Varios	1	S/600	S/600
Equipo compresor	Equipo clasificador	1	S/550	S/550
Gastos varios	Equipo clasificador	1	S/400	S/400
Total				S/12346.00

Elaboración: los autores.

Se puede observar que la inversión realizada en el presente proyecto está alrededor de los **S/12346.00** soles, con el que se logró obtener el primer prototipo clasificador de mandarinas por dimensiones físicas para el valle de Cañete.

Sin embargo, este costo es solo de la parte de investigación y desarrollo del prototipo, para un aspecto comercial en cuanto a los componentes utilizados sería un menor costo porque se considerará solo a los componentes a utilizar.

4.3.2 Informe económico del prototipo desarrollado

Considerando solo los componentes, dispositivos electrónicos y estructura mecánica utilizadas en el prototipo se reduce el costo lo cual se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Inversión realizada solo en el prototipo.

Nombre	Uso	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Diodos Led Infrarrojo	Unidad clasificadora	4	S/0.6	S/2.4
Fototransistores	Unidad Clasificadora	4	S/4.0	S/1.6
Componentes varios	Unidad Clasificadora	01	S/10	S/10
Cables y conectores	Unidad Clasificadora	05	S/2.0	S/10
Soporte	Unidad Clasificadora	02	S/50	S/100
Placa Impresa	Unidad Clasificadora	01	S/10	S/10
Accesorios	Unidad de control	02	S/100	S/200
PLC	Unidad de control	01	S/1200	S/1200
Accesorios del PLC	Unidad de control	01	S/500	S/500
Tablero eléctrico	Unidad de control	02	S/50	S/100
Motor eléctrico 1/4Hp	Sistema de transporte	01	S/210	S/210
Estructura mecánica Faja Transportadora	Sistema de transporte	01	S/2000	S/2000
Variador de velocidad	Sistema de transporte	01	S/510	S/510
Moto Reductor	Sistema de transporte	01	S/210	S/210
Cilindros neumáticos	Sistema de clasificación	04	S/205	S/820
Electroválvulas	Sistema de Clasificación	04	S/115	S/460
Estructura mecánica del clasificador	Sistema de Clasificación	01	S/ 800	S/800

Mangueras conectores y otros	Sistema de Clasificación	01	S/100	S/100
Regulador de electro válvula	Equipo clasificador	08	S/16	S/128
Total				S/7372.00

Elaboración: los autores.

CONCLUSIONES

1. El diseño propuesto permite realizar la clasificación de mandarinas por dimensiones físicas los cuales pueden oscilar desde los 3cm hasta los 11cm.
2. El diseño propuesto permite clasificar con las mandarinas en 4 tamaños distintos, los cuales pueden ser ajustados de acuerdo a la necesidad de los usuarios para ello la etapa de selección óptica esta atornillada en un soporte metálico el cual permite regular la altura de los productos como también la sensibilidad.
3. El diseño propuesto permite realizar la clasificación a un nivel de asertividad del 96.25% en las pruebas realizadas.
4. El diseño propuesto permite medir mandarinas de hasta 15 cm de diámetro, lo que amplía a otros tipos de frutos cítricos o de otra naturaleza
5. El diseño permite el ingreso de mandarinas en forma continua, uno detrás de otro con una separación mínima de 20cm siendo la correcta para la velocidad a la que trabaja la faja transportadora.
6. Las mandarinas seleccionadas no sufren daño debido al uso de esponjas especiales en los cilindros neumáticos.

7. La producción obtenida con el prototipo logra superar notablemente lo deseado por los agricultores de 2tn/día a 2,82tn/día e inclusive se puede incrementar a 3.53tn/día si se incrementan 2 horas de trabajo.

RECOMENDACIONES

1. La detección de las dimensiones físicas de una mandarina debe de realizarse en condiciones de iluminación natural mínima de preferencia debe estar cerrado permitiendo solo el ingreso y salida de mandarina.
2. La velocidad de la faja permite incrementar la capacidad de procesamiento, pero los tiempos de temporizado en el controlador tienen que variarse para que no se produzca un desfase
3. Para obtener mejoras en resultados de pruebas, y medidas más precisas de las mandarinas se podría utilizar otra tecnología como el procesamiento de imágenes, permitiendo también otros parámetros de la mandarina como la coloración.
4. En caso de querer ahondar con mayor profundidad en la programación del PLC se puede realizar que el sistema sea realimentado, utilizando las entradas analógicas de PLC y el variador y que el cambio de los tiempos del temporizador sea automático.
5. Se recomienda utilizar acero inoxidable para todas las partes metálicas del presente prototipo cuando se desee utilizar con productos alimenticios.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográficas:

Aguilar K., Ferrin C. (2013). Diseño e implementación de un clasificador de granos mediante un sistema por sensores de color Teach-in. Ecuador. Escuela Superior politécnica de Chimborazo.

Bazurto P., Murillo M., Guingla D. (2014) “*Modelamiento y Simulación de un Sistema Electro-Neumático*” Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) Guayaquil-Ecuador.

Bonifaz C. y Pallasco M. (2017) tesis de titulación “Diseño y construcción de una maquina clasificadora de fresas a razón de 100kg/hora” Ecuador. Escuela superior politécnica de Chimborazo.

Boylestad R. y Nashelsky L. (2009) Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos Décima edición. Editorial Pearson.

Castro, J. y Martínez y Ravelo, F. (2011). *Diseño de una banda transportadora semiautomática para la fabricación de tanques de combustible de vehículos de carga. (Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica. México D.F.)*

Cruz E. (2013). Sistema electrónico de calibración de fruta por diámetro. UVIC Universidad central de Catalunya.

Cubero C. (2012). En su tesis doctoral: Diseño e implementación de nuevas

tecnologías basadas en visión artificial para la inspección no destructiva de la calidad de fruta en campo mínimamente procesada. Universidad Politécnica de Madrid.

Departamento de ingeniería electrónica y de control (2011). Manual del Controlador lógico programable PLC. Universidad de Extremadura. España.

Felipe C., Victor D., Raul G., Mathematical Modeling of an Electropneumatic Regulator Servo-Valve, ABCM Symposium Series in Mechatronics- Vol. 1, 2004, (Págs. 725-734).

Gallegos C. y Jarrin J. (2012). Diseño e implementación de un módulo didáctico para clasificación, empaquetado e inspección de huevos aplicando PLC. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador.

García J.L.; Ruiz-Altisent, M. y Orihuel, B. (1999). Estudio de tres tipos de calibradores en líneas de clasificación de melocotón y albaricoque en la provincia de Valencia.. En: "VIII Congreso Nacional de Sociedad Española de Ciencias Hortícolas", 20-23, abril-1999, Murcia (España).

Gómez J. (2013). *Diseño e implementación de un variador de velocidad de costo para un motor trifásico de inducción de 4Hp.* (Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú).

Guaguancela, X. y Sáez, G. (2011). *Dotación y aplicación de un módulo con variador de velocidad para la simulación de control de arranque y velocidad de motor de una grúa para el laboratorio de control industrial.* (Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. Riobamba, Ecuador).

Hugh Young and Roger Freedman, Física Universitaria.: Pearson, 2009.

- Igno O. (2012) tesis de maestría “Sistema para clasificación de jitomates basado en metrología laser y algoritmos computacionales” México. Centro de investigaciones ópticas.
- Maza D. y Martínez A. (2017). Tesis de grado. Fabricación de dispositivos fotónicos integrados. Barcelona. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Modelon AB, Modeling of Pneumatic Systems. Suecia, 2010.
- Nieto, H. (2016). *Diseño de un sistema mecánico eléctrico para la selección de chirimoyas*. (Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Postgrado. Lima, Perú).
- Piñero J. (2015) *Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia*. Tesis de titulación Universidad de Sevilla. España.
- Romero, A., Marín, A. y Jiménez, J. (2015) Implementación de un esquema de navegación reactiva con sensores RGB-D. Rev.UIS Ingenierías, vol.14, (Págs. 21- 31).
- Suarez, A. (2016). *Sistema de información de tráfico en cintas transportadoras mediante WSN*. (Tesis de grado, Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Sevilla, España).
- Velásquez J. (2013). Sistemas neumáticos y electroneumáticos. Lima. Laboratorio de Automatización. Universidad Ricardo Palma.

Electrónicas:

Agencia Agraria Cañete. (2016). *Reporte sectorial N°10 – noviembre 2016*.

Recuperado de: <http://www.dral.gob.pe/informacion-agraria>.

Autodesk Inventor (2018). <https://www.autodesk.com/education/free-software/inventor-professional>.

GESTIÓN. (2018). Agroindustria sorprende y toma relevancia en mercado del mundo de las fusiones y las adquisiciones. Recuperado de: <https://gestion.pe/panelg/agroindustria-sorprende-y-toma-relevancia-mercado-m-peruano-2205531>

MINCETUR. (2018). *Oficina de comunicación y protocolo*. Recuperado de: <https://www.mincetur.gob.pe/mincetur-peru-es-el-principal-exportador-de-mandarina-clementina-y-tangelo-en-america/>

Siemens (2018). https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/es/brochure_simatic-step7_tia-portal_es.pdf.

Toshiba. (2018). Laptop Toshiba Satellite L515 Intel Pentium. Recuperado de: <https://support.toshiba.com/support/modelHome?freeText=2707732>

ANEXOS

1. Hoja de datos de diodo led infrarrojo
2. Hoja de datos del fototransistor
3. Tabla de variables del PLC
4. Programa del PLC
5. Planos del tablero eléctrico

Anexo 1. Hoja de datos de diodo led infrarrojo



Technical Data Sheet 5mm Infrared LED, T-1 3/4

SIR383C

Features

- High reliability
- 2.54mm lead spacing
- Low forward voltage
- Good spectral matching to Si photodetector
- Pb free
- The product itself will remain within RoHS compliant version.



Descriptions

- EVERLIGHT'S Infrared Emitting Diode(SIR383C) is a high intensity diode , molded in a water clear plastic package.
- The device is spectrally matched with phototransistor , photodiode and infrared receiver module.

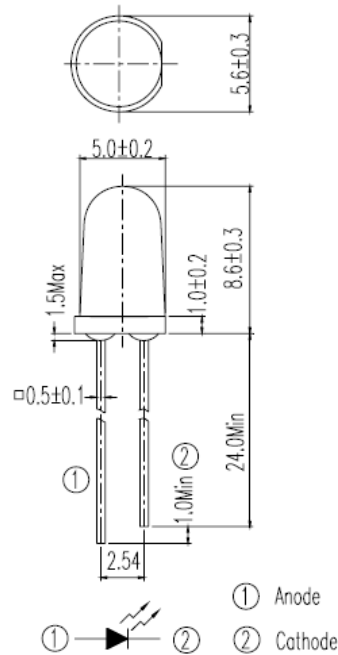
Applications

- Free air transmission system
- Optoelectronic switch
- Floppy disk drive
- Infrared applied system
- Smoke detector

Device Selection Guide

LED Part No.	Chip	Lens Color
	Material	
SIR	GaAlAs	Water clear

Package Dimensions



- Notes:** 1.All dimensions are in millimeters
2.Tolerances unless dimensions $\pm 0.25\text{mm}$

Absolute Maximum Ratings (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Rating	Units
Continuous Forward Current	I_F	100	mA
Peak Forward Current *1	I_{FP}	1.0	A
Reverse Voltage	V_R	5	V
Operating Temperature	T_{opr}	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature	T_{stg}	-40 ~ +85	°C
Soldering Temperature *2	T_{sol}	260	°C
Power Dissipation at(or below) 25°C Free Air Temperature	P_d	150	mW

Notes: *1: I_{FP} Conditions--Pulse Width $\leq 100 \mu s$ and Duty $\leq 1\%$.

*2:Soldering time ≤ 5 seconds.

Electro-Optical Characteristics (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
Radiant Intensity	E _e	I _F =20mA	11	20	--	mW/sr
		I _F =100mA Pulse Width ≤ 100 μs and Duty ≤ 1%	--	95	--	
		I _F =1A Pulse Width ≤ 100 μs and Duty ≤ 1%	--	950	--	
Peak Wavelength	λ _p	I _F =20mA	--	875	--	nm
Spectral Bandwidth	Δλ	I _F =20mA	--	80	--	nm
Forward Voltage	V _F	I _F =20mA	--	1.3	1.6	V
		I _F =100mA Pulse Width ≤ 100 μs and Duty ≤ 1%	--	1.4	1.8	
		I _F =1A Pulse Width ≤ 100 μs and Duty ≤ 1%	--	2.6	4.0	
Reverse Current	I _R	V _R =5V	--	--	10	μA
View Angle	2θ 1/2	I _F =20mA	--	20	--	deg

Typical Electro-Optical Characteristics Curves

Fig.1 Forward Current vs. Ambient Temperature

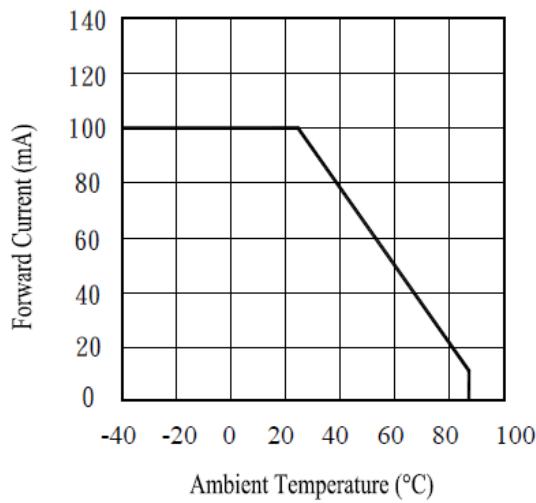


Fig.2 Spectral Distribution

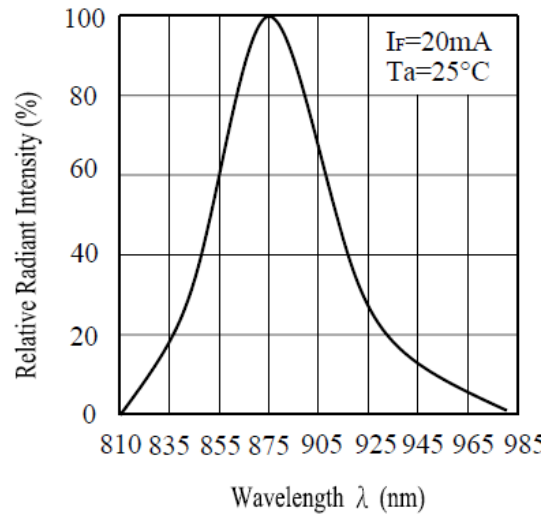


Fig.3 Peak Emission Wavelength vs. Ambient Temperature

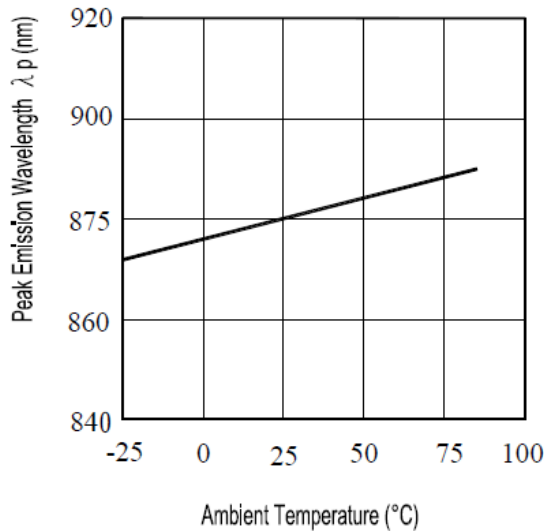
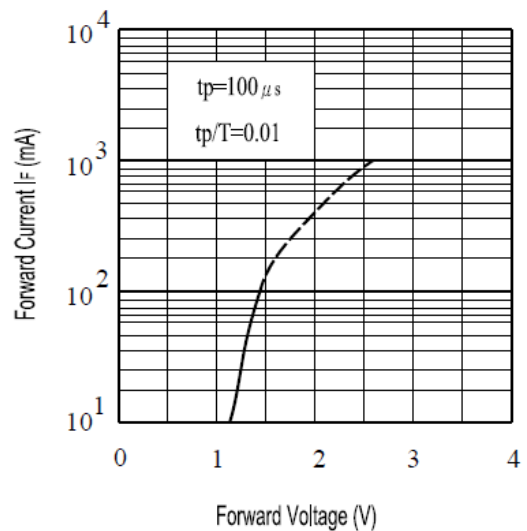


Fig.4 Forward Current vs. Forward Voltage



Typical Electro-Optical Characteristics Curves

Fig.5 Relative Intensity vs.

Forward Current

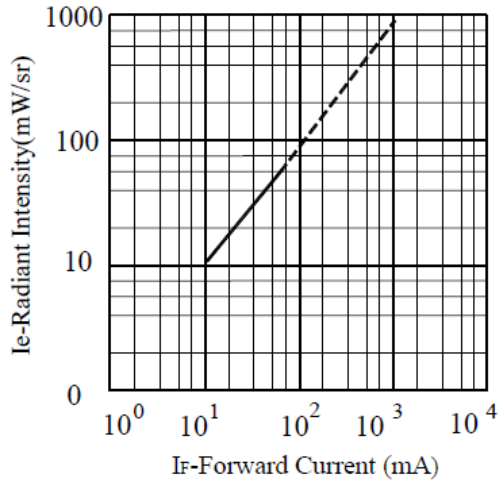


Fig.6 Relative Radiant Intensity vs.

Angular Displacement

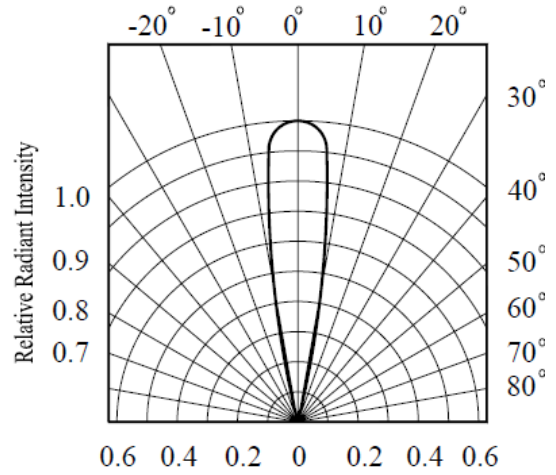


Fig.7 Relative Intensity vs.

Ambient Temperature(°C)

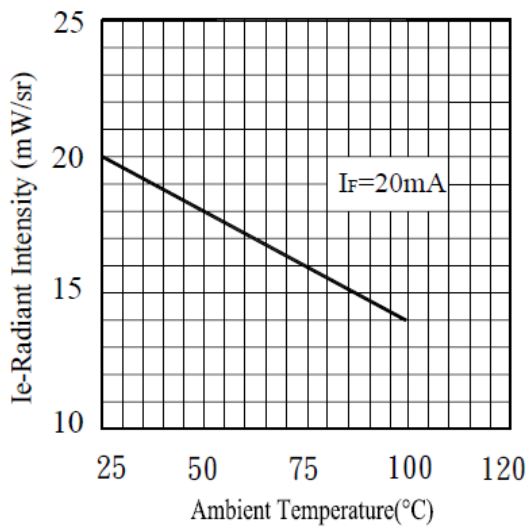
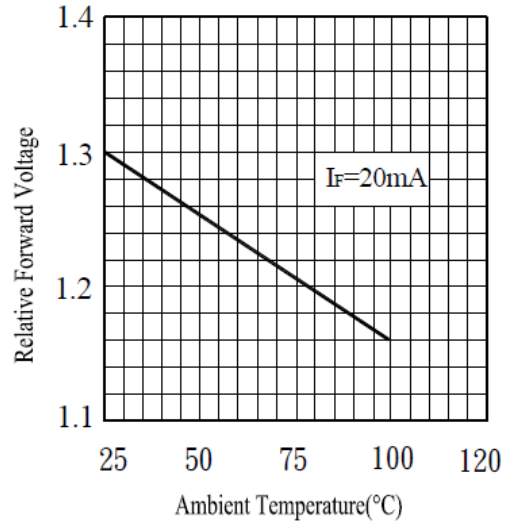


Fig.8 Forward Voltage vs.

Ambient Temperature(°C)



Reliability Test Item And Condition

The reliability of products shall be satisfied with items listed below.

Confidence level : 90%

LTPD : 10%

NO.	Item	Test Conditions	Test Hours/ Cycles	Sample Sizes	Failure Judgement Criteria	Ac/Re
1	Solder Heat	TEMP. : 260°C ±5°C	10secs	22pcs	$I_R \geq U \times 2$ $E_e \leq L \times 0.8$ $V_F \geq U \times 1.2$ U : Upper Specification Limit L : Lower Specification Limit	0/1
2	Temperature Cycle	H : +100°C 15mins ↕ 5mins ↕ L : -40°C 15mins	300Cycles	22pcs		0/1
3	Thermal Shock	H : +100°C 5mins ↕ 10secs ↕ L : -10°C 5mins	300Cycles	22pcs		0/1
4	High Temperature Storage	TEMP. : +100°C	1000hrs	22pcs		0/1
5	Low Temperature Storage	TEMP. : -40°C	1000hrs	22pcs		0/1
6	DC Operating Life	$I_F = 20\text{mA}$	1000hrs	22pcs		0/1
7	High Temperature/ High Humidity	85°C / 85% R.H	1000hrs	22pcs		0/1

Anexo 2. Hoja de datos del fototransistor

Photo transistors

KODENSHI

ST - 1KL3A · ST - 1KL3B

The ST - 1KL3A and 1KL3B are high - sensitivity NPN silicon phototransistors mounted in durable, hermetically sealed TO - 18 metal can which provide years of reliable performance, even under demanding conditions such as use outdoors.

FEATURES

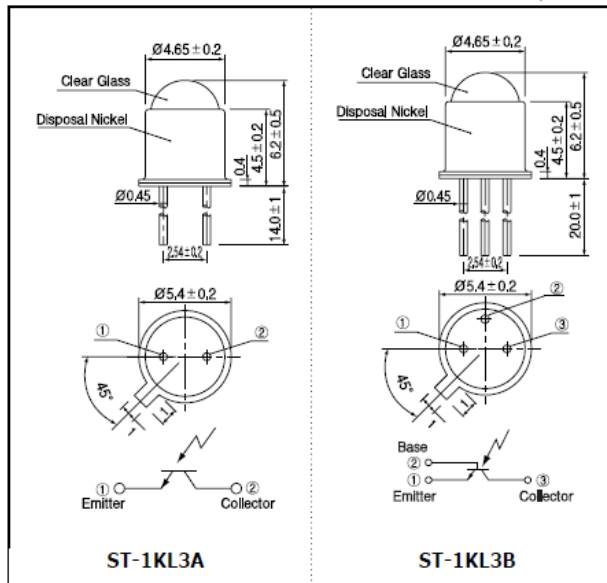
- Narrow angular response
- Durable
- High reliability in demanding environments
- Two leads (Collector, Emitter) ST - 1KL3A
- Three leads (Collector, Emitter, Base) ST - 1KL3B

APPLICATIONS

- Optical switches
- Optical detectors
- Infrared sensors
- Encoders
- Smoke detectors

DIMENSIONS

(Unit : mm)



MAXIMUM RATINGS

(Ta = 25°C)

Item	Symbol	Rating	Unit
C - E voltage	V_{CE0}	40	V
E - C voltage	V_{ECO}	6	V
Collector current	I_C	50	mA
Collector power dissipation	P_C	150	mW
Operating temp.	$T_{opr.}$	- 30 - + 100	°C
Storage Temp.	$T_{stg.}$	- 50 - + 150	°C
Soldering temp. *1	$T_{sol.}$	260	°C

*1. For MAX.5 seconds at the position of 2 mm from the package

ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS

(Ta = 25°C)

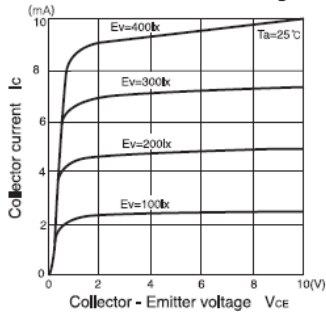
Item	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit.
Collector dark current	I_{CEO}	$V_{CE0} = 10V$		1	200	nA
Light current	I_L	$V_{CE} = 10V, 200lx^{*2}$	1.5	5.0	15	mA
C - E saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 5mA, 2,000lx^{*2}$		0.2	0.4	V
Switching speeds	Rise time	$V_{CC} = 10V, I_C = 5mA, R_L = 100\Omega$		3.2		µsec.
	Fall time			4.8		µsec.
Spectral sensitivity	λ			500 - 1,050		nm
Peak wavelength	λ_p			880		nm
Half angle	$\Delta \theta$			± 6		deg.

*2. Color temp. - 2856K standard Tungsten lamp

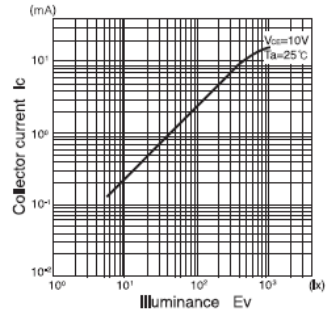
Photo transistors

ST - 1KL3A · ST - 1KL3B

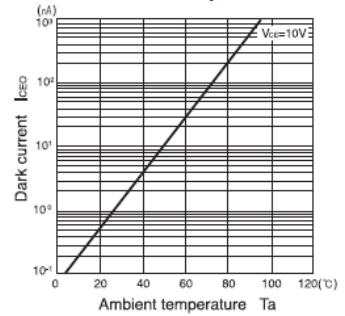
Collector current Vs. Collector - Emitter voltage



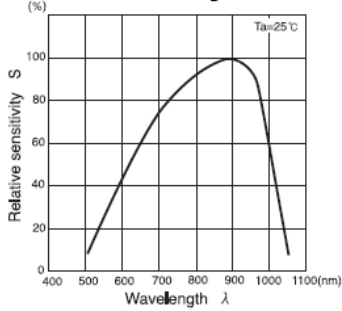
Collector current Vs. Illuminance



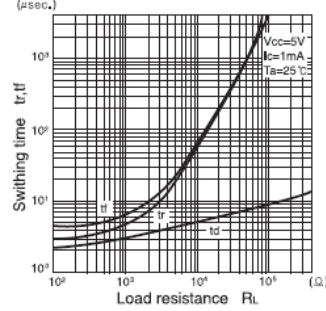
Dark current Vs. Ambient temperature



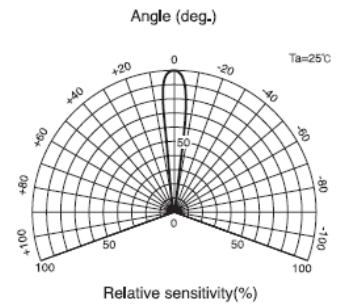
Relative sensitivity Vs. Wavelength



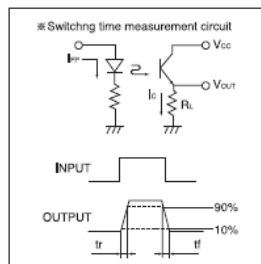
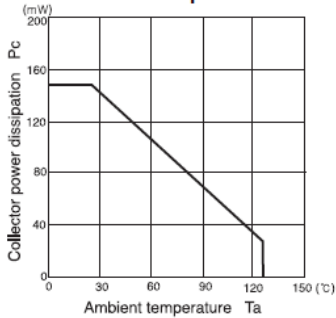
Switching time vs. Load resistance







































Radiant Pattern



Collector power dissipation Vs. Ambient temperature



Anexo 3. Taba de variables del PLC

Totally Integrated Automation Portal						
Proyecto de tesis 2018 / PLC_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly]						
Variables PLC						
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI	Comentario
 Parada de Emergencia	Bool	%I0.0	False	True	True	
 Arranque	Bool	%I0.1	False	True	True	
 Parada	Bool	%I0.3	False	True	True	
 Sensor4	Bool	%I0.4	False	True	True	
 Sensor3	Bool	%I0.5	False	True	True	
 Sensor2	Bool	%I0.6	False	True	True	
 Sensor1	Bool	%I0.7	False	True	True	
 Electrovalvula1A	Bool	%Q0.0	False	True	True	
 Electrovalvula1B	Bool	%Q0.1	False	True	True	
 Electrovalvula2A	Bool	%Q0.2	False	True	True	
 Electrovalvula2B	Bool	%Q0.3	False	True	True	
 VariadorRUN	Bool	%Q0.4	False	True	True	
 Electrovalvula3A	Bool	%Q8.3	False	True	True	
 Electrovalvula3B	Bool	%Q8.4	False	True	True	
 Electrovalvula4A	Bool	%Q8.5	False	True	True	
 Electrovalvula4B	Bool	%Q8.6	False	True	True	
 IndicadorVerde	Bool	%Q8.7	False	True	True	
 Marca_ParadaEmergencia	Bool	%M0.0	False	True	True	
 Marca_Enclavamiento	Bool	%M0.1	False	True	True	
 Marca_Indicador Verde	Bool	%M0.2	False	True	True	
 Marca_Retardo_Variador	Bool	%M0.3	False	True	True	
 Marca_Sensor1	Bool	%M0.4	False	True	True	
 Marca_Sensor2	Bool	%M0.5	False	True	True	
 Marca_Sensor3	Bool	%M0.6	False	True	True	
 Marca_Sensor4	Bool	%M0.7	False	True	True	
 Marca_Control1	Bool	%M1.0	False	True	True	
 Marca_Control2	Bool	%M1.1	False	True	True	
 Marca_Control3	Bool	%M1.2	False	True	True	
 Marca_Control4	Bool	%M1.3	False	True	True	
 Marca_Logica_ElectroV1A	Bool	%M1.4	False	True	True	
 Marca_Logica_ElectroV1B	Bool	%M1.5	False	True	True	
 Marca_Logica_ElectroV1C	Bool	%M1.6	False	True	True	
 Marca_Logica_ElectroV1D	Bool	%M1.7	False	True	True	
 Marca_Logica_ElectroV1E	Bool	%M2.0	False	True	True	
 Marca_Logica_ElectroV1F	Bool	%M2.1	False	True	True	
 Marca_Logica_ElectroV1G	Bool	%M2.2	False	True	True	

Totally Integrated Automation Portal							
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI	Comentario
	Mdoble1	Time	%MD100	False	True	True	
	Mdoble2	Time	%MD104	False	True	True	
	Mdoble3	Time	%MD108	False	True	True	
	Marca_Logica_ElectroV1H	Bool	%M2.3	False	True	True	
	Marca_Logica_ElectroV1I	Bool	%M2.4	False	True	True	

Anexo 4. Programa del PLC

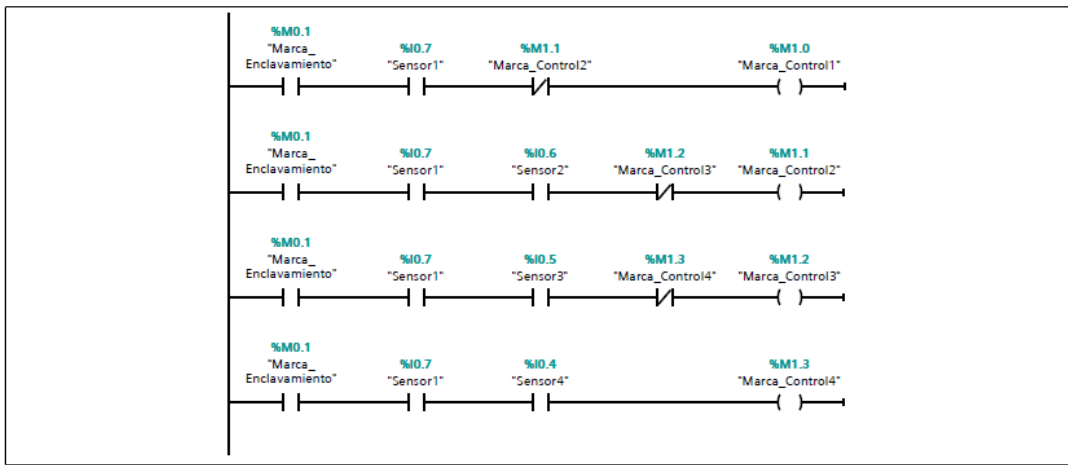
Totally Integrated Automation Portal			
<p>Proyecto de tesis 2018 / PLC_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Bloques de programa</p> <p>Main [OB1]</p>			
Main Propiedades			
General			
Nombre	Main	Número	1
Idioma	KOP	Tipo	OB.ProgramCycle
Información			
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor	
Familia		Versión	0.1
		Comentario	
		ID personalizada	
Nombre			
Temp	Tipo de datos	Offset	Comentario
Segmento 1: Parada de emergencia			
<p>La entrada I0.0 esta conectado al pulsador de parada de emergencia el cual activara a una marca M0.0 y desactivara automaticamente a todas las salidas del PLC y detendra el proceso que se esta ejecutando.</p>			
Símbolo			
"Parada de Emergencia"	%I0.0	Bool	
"Marca_ParadaEmergencia"	%M0.0	Bool	
Segmento 2: Circuito de enclavamiento de Arranque y Parada			
<p>Circuito encargado de producir el enclavamiento del Arranque y Parada del equipo, intervienen la entrada de Arranque, Parada y Parada de Emergencia. La parada de emergencia tiene prioridad en todo momento del proceso.</p>			
Símbolo			
"Parada de Emergencia"	%I0.0	Bool	
"Marca_ParadaEmergencia"	%M0.0	Bool	

Totally Integrated Automation Portal			
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Arranque"	%I0.1	Bool	
"Marca_Enclavamiento"	%M0.1	Bool	
"Parada"	%I0.3	Bool	
Segmento 3: Activacion del Indicador Verde de encendido del equipo			
<p>Quando se enciende el equipo y se presiona el pulsador de arranque de color verde inmediatamente se enciende el indicador de color verde, esta accion se realiza con una marca destinada a este fin.</p>			
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca_Enclavamiento"	%M0.1	Bool	
"Marca_Indicador Verde"	%M0.2	Bool	
Segmento 4: Activacion Retardada del Variador por 3s			
<p>Al encender el equipo se produce un pequeño retardo de 3s para que recién se active el variador de velocidad</p>			
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca_Enclavamiento"	%M0.1	Bool	
"IEC_Timer_0_DB"	%DB1	IEC_Timer	
"Marca_Retardo_Variador"	%M0.3	Bool	
T#3s	T#3s	Time	
Segmento 5: Entrada del sensor 1 al sensor 4			
<p>Se asigna una marca a cada sensor del selector optico.</p>			
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Sensor4"	%I0.4	Bool	
"Marca_Sensor1"	%M0.4	Bool	

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Sensor3"	%I0.5	Bool	
"Marca_Sensor2"	%M0.5	Bool	
"Sensor2"	%I0.6	Bool	
"Marca_Sensor3"	%M0.6	Bool	
"Sensor1"	%I0.7	Bool	
"Marca_Sensor4"	%M0.7	Bool	

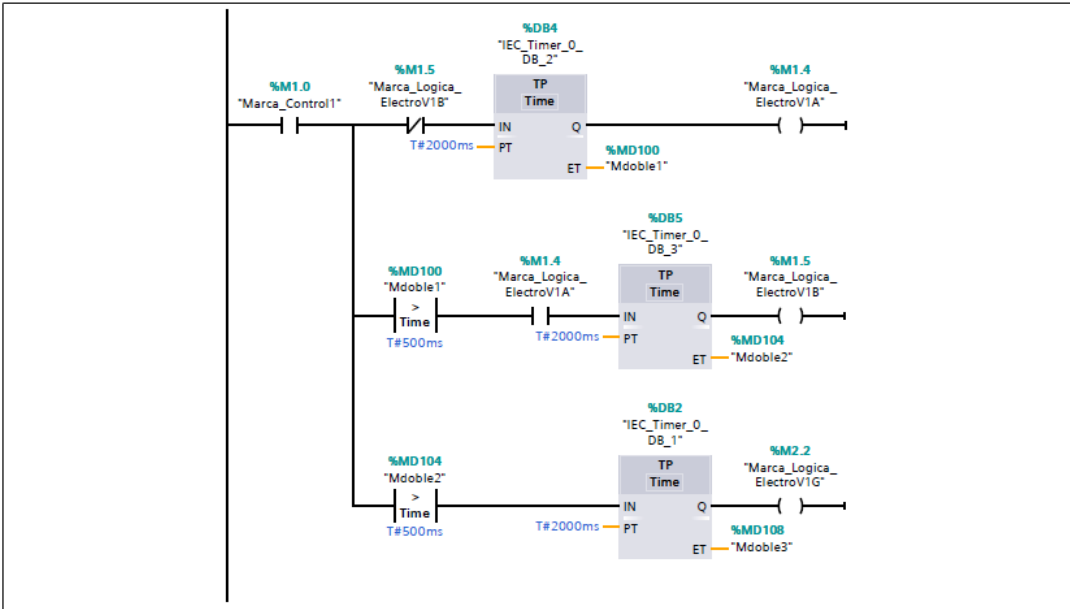
Segmento 6: Logica de control de las Electrovalvulas



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca_Enclavamiento"	%M0.1	Bool	
"Sensor4"	%I0.4	Bool	
"Sensor3"	%I0.5	Bool	
"Sensor2"	%I0.6	Bool	
"Sensor1"	%I0.7	Bool	
"Marca_Control1"	%M1.0	Bool	
"Marca_Control2"	%M1.1	Bool	
"Marca_Control3"	%M1.2	Bool	
"Marca_Control4"	%M1.3	Bool	

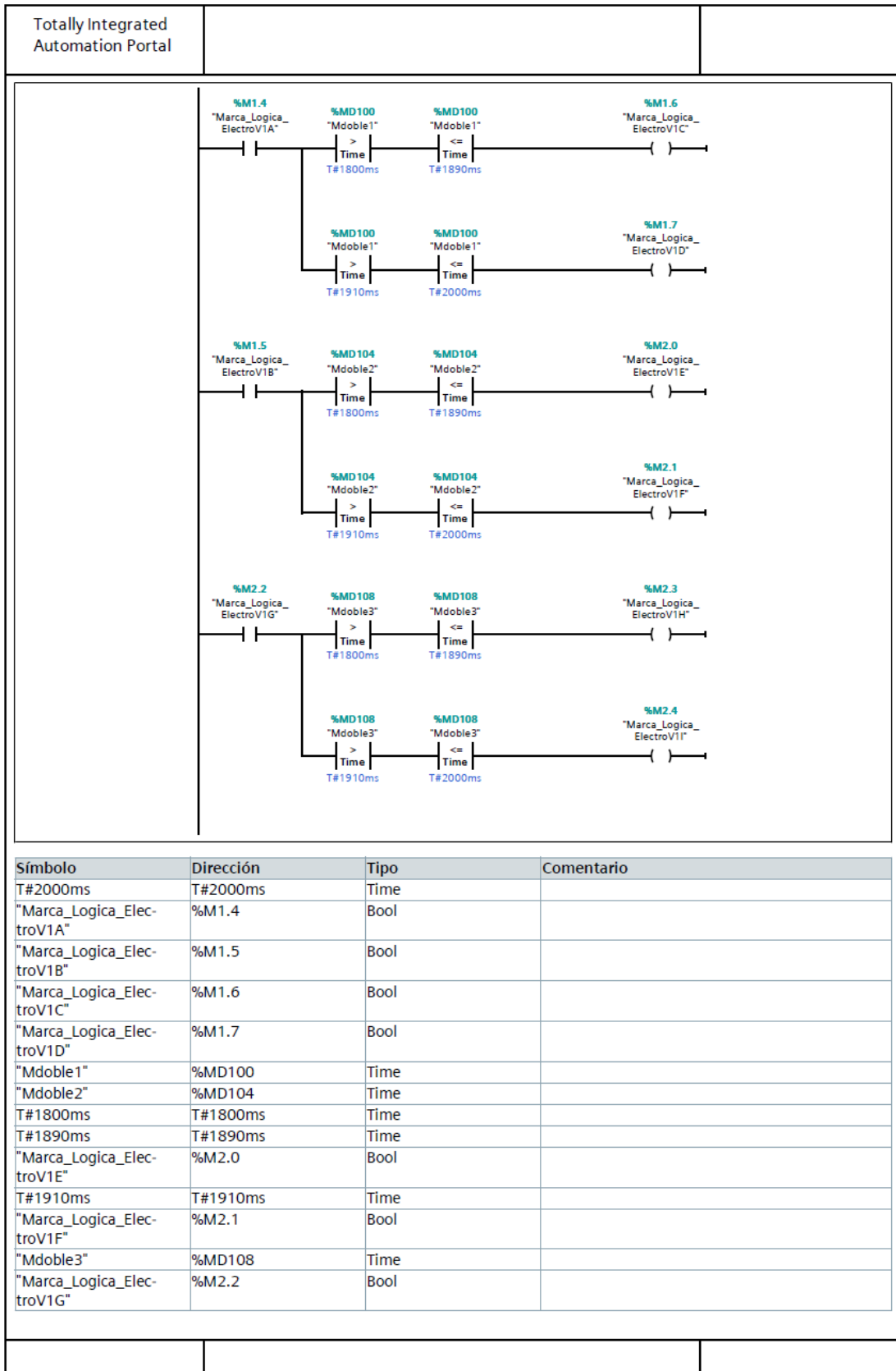
Segmento 7: Circuito de control de la Electrovalvula 1

--	--	--



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca_Control1"	%M1.0	Bool	
"IEC_Timer_0_DB_2"	%DB4	IEC_Timer	
"IEC_Timer_0_DB_3"	%DB5	IEC_Timer	
T#2000ms	T#2000ms	Time	
"Marca_Logica_ElectroV1A"	%M1.4	Bool	
"Marca_Logica_ElectroV1B"	%M1.5	Bool	
"Mdoble1"	%MD100	Time	
"Mdoble2"	%MD104	Time	
T#500ms	T#500ms	Time	
"IEC_Timer_0_DB_1"	%DB2	IEC_Timer	
"Mdoble3"	%MD108	Time	
"Marca_Logica_ElectroV1G"	%M2.2	Bool	

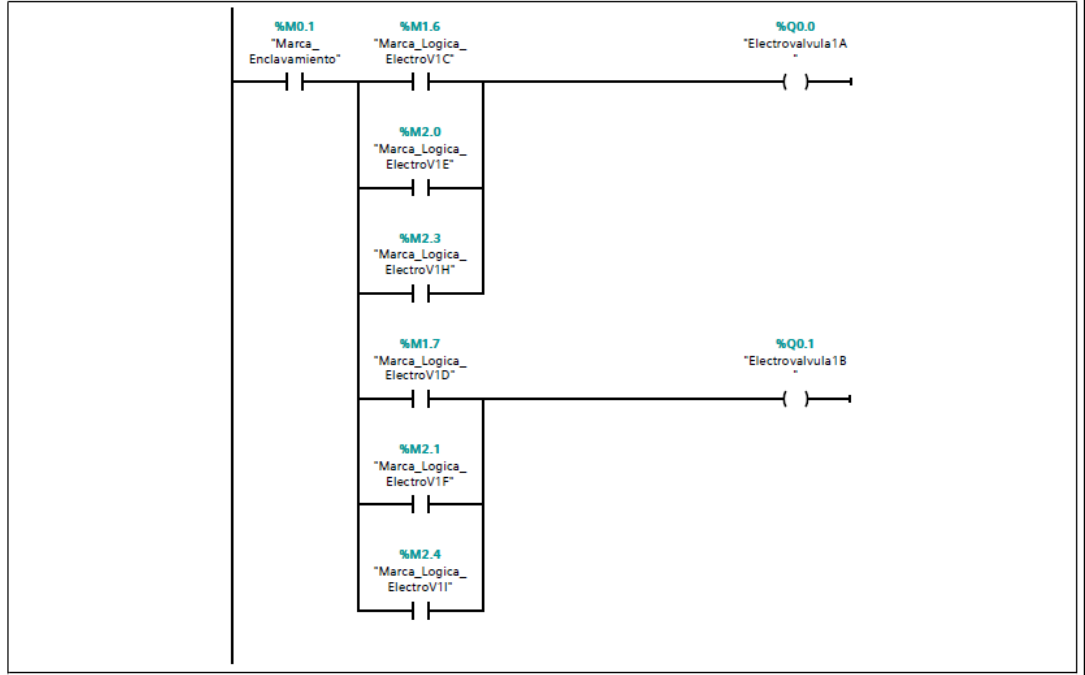
Segmento 8: Circuito de retardo de la Electrovalvula1



Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca_Logica_ElectroV1H"	%M2.3	Bool	
"Marca_Logica_ElectroV1I"	%M2.4	Bool	

Segmento 9: Salida de la electrovalvula1



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca_Enclavamiento"	%M0.1	Bool	
"Marca_Logica_ElectroV1C"	%M1.6	Bool	
"Marca_Logica_ElectroV1D"	%M1.7	Bool	
"Marca_Logica_ElectroV1E"	%M2.0	Bool	
"Marca_Logica_ElectroV1F"	%M2.1	Bool	
"Electrovalvula1A"	%Q0.0	Bool	
"Electrovalvula1B"	%Q0.1	Bool	
"Marca_Logica_ElectroV1H"	%M2.3	Bool	
"Marca_Logica_ElectroV1I"	%M2.4	Bool	

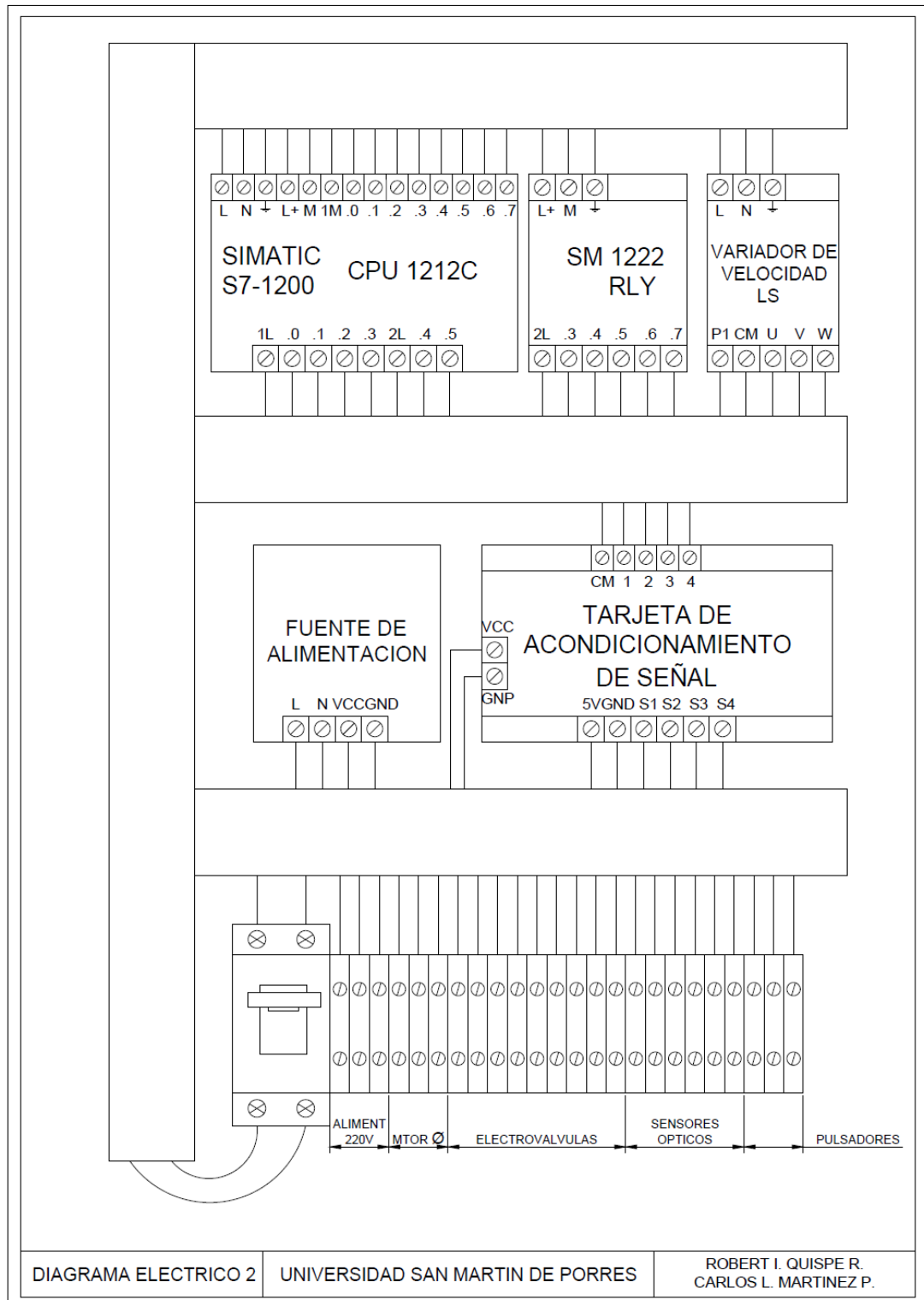
Segmento 10: Salida del indicador verde

Activa el Indicador de color verde ubicado en el panel frontal del equipo. Hace referencia que el equipo esta encendido y en pleno funcionamiento.

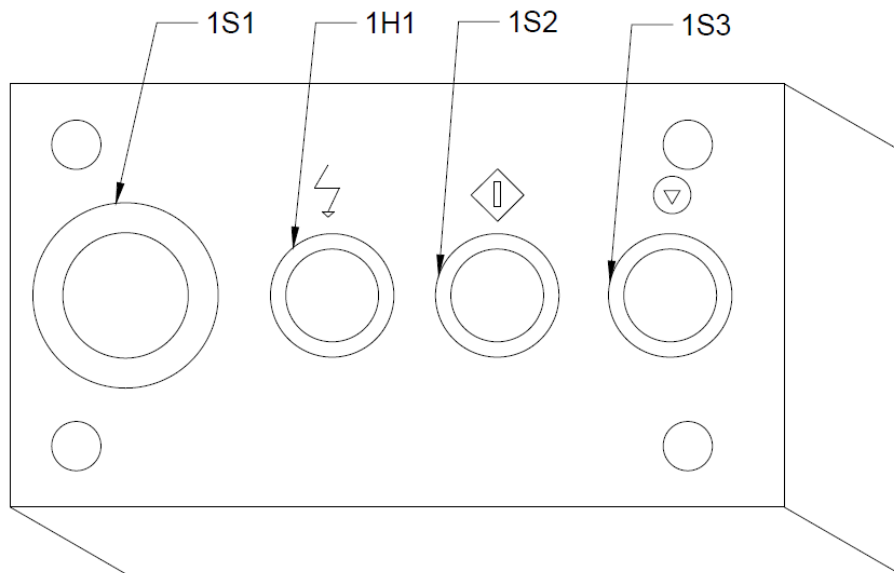
--	--	--

Totally Integrated Automation Portal			
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca_ParadaEmergencia"	%M0.0	Bool	
"Marca_Indicador Verde"	%M0.2	Bool	
"IndicadorVerde"	%Q8.7	Bool	
Segmento 11: Salida de Activacion del Variador			
Se activa la salida para encender el variador de velocidad			
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca_ParadaEmergencia"	%M0.0	Bool	
"Marca_Retardo_Variador"	%M0.3	Bool	
"VariadorRUN"	%Q0.4	Bool	

Anexo 5. Planos del tablero eléctrico



CAJA DE BOTONERAS



LISTA DE PARTES ELECTRICAS

1S1	PULSADOR DE PARADA DE EMERGENCIA
1H1	LAMPARA DE ENCENDIDO
1S2	PULSADOR DE INICIO
1S3	PULSADOR DE PARADA

