



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LLENADO DE
JABAS CON ENVASES BASADO EN UN TRANSPORTE POR
CREMALLERA CON UNA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERA EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTORAS: LEÓN BUSTOS ANGÉLICA ETELVINA
AUCAPIÑA QUISHPE DIANA BEATRIZ
TUTOR: ING. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA

Riobamba – Ecuador
2017

©2017, Angélica Etelvina León Bustos, Diana Beatriz Aucapiña Quishpe.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El tribunal del trabajo de titulación certifica que la: “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LLENADO DE JABAS CON ENVASES BASADO EN UN TRANSPORTE POR CREMALLERA CON UNA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA”, de responsabilidad de las señoritas ANGÉLICA ETELVINA LEÓN BUSTOS y DIANA BEATRIZ AUCAPIÑA QUISHPE, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

| NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|---|--------------|--------------|
| Ing. Washington Luna. E DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA. | | |
| Ing. Freddy Chávez. V DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES. | | |
| Ing. Marco Viteri. B DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN. | | |
| Ing. Patricio Romero. MIEMBRO DEL TRIBUNAL. | | |

Nosotras, Angélica Etelvina León Bustos y Diana Beatriz Aucapiña Quishpe, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales.

Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Angélica Etelvina León Bustos
060352162-6

Diana Beatriz Aucapiña Quishpe
180477473-3

AUTORES

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de manera especial a mis padres Juan León y María Angélica Bustos por ser el pilar fundamental durante toda mi vida. A mis hermanos Juan y Gabriel por brindarme su apoyo incondicional. A Dios y a la Virgen por sus bendiciones.

Angélica

El presente trabajo de titulación quiero dedicar a mi esposo Edgar Vinicio, a mi hija Karen Jamileth y a mis padres Edgar y María, quienes me apoyaron de una u otra manera y fueron el pilar fundamental en este largo camino de mi vida estudiantil

Diana

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que me dio la fuerza para culminar una etapa más de mi vida. A mi madre que siempre estuvo en los más duros momentos, por sus consejos y su amor. A mis hermanos por depositar su confianza en mí.

Angélica

Primero quiero agradecer a Dios por permitirme llegar con éxito al final de este largo camino, a mi esposo quien estuvo conmigo en las buenas y malas apoyándome para alcanzar esta meta, a mi hija por ser el motor de mi vida, a mis padres quienes con sus consejos y atenciones han estado siempre junto a mí.

Diana

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|--------------|
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xi |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | xiv |
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS | xv |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xvi |
| RESUMEN | xvii |
| ABSTRACT | xviii |
| CAPÍTULO I | |
| 1.1 Introducción | 1 |
| 1.2 Antecedentes | 1 |
| 1.3 Formulación del problema | 3 |
| 1.4 Sistematización del problema | 3 |
| 1.5 Justificación | 4 |
| 1.6 Objetivos | 4 |
| 1.7 Alcance y delimitación | 5 |
| CAPÍTULO II | |
| 2. MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1 Llenadoras | 6 |
| 2.1.1 <i>Llenadoras manuales y semiautomáticas</i> | 6 |
| 2.1.2 <i>Llenadoras automáticas</i> | 9 |
| 2.2 Tipos de envases | 11 |
| 2.2.1 <i>Cartón</i> | 11 |
| 2.2.2 <i>Envases de vidrio</i> | 12 |
| 2.2.3 <i>Envases de metal</i> | 13 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| 2.2.4 | <i>Envases de plásticos</i> | 13 |
| 2.3 | Sistemas de transporte de envases | 14 |
| 2.3.1 | <i>Bandas transportadoras</i> | 14 |
| 2.3.2 | <i>Transportador asistido por aire</i> | 15 |
| 2.4 | Engranajes | 16 |
| 2.4.1 | <i>Tipos de engranajes</i> | 16 |
| 2.4.2 | <i>Cremallera</i> | 18 |
| 2.5 | Selección de elementos | 19 |
| 2.5.1 | <i>Actuadores</i> | 19 |
| 2.5.2 | <i>Controlador del motor</i> | 23 |
| 2.5.3 | <i>Controlador Lógico Programable (PLC)</i> | 26 |
| 2.5.4 | <i>Controladores</i> | 29 |
| CAPITULO III | | |
| 3. | MARCO METODOLÓGICO | 33 |
| 3.1 | Descripción del lugar de estudio | 33 |
| 3.2 | Alcance de la investigación | 34 |
| 3.3 | Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 36 |
| 3.4 | Tamaño muestral | 37 |
| CAPÍTULO IV | | |
| 4. | MARCO DE RESULTADOS | 38 |
| 4.1 | Introducción | 38 |
| 4.2 | Diseño de la estructura mecánica | 39 |
| 4.2.1 | <i>Selección del motor paso a paso</i> | 39 |
| 4.2.2 | <i>Diseño del transporte</i> | 40 |
| 4.2.3 | <i>Diseño del soporte del motor</i> | 44 |
| 4.2.4 | <i>Diseño de la base para el motor y el engrane</i> | 44 |
| 4.2.5 | <i>Rodamiento</i> | 45 |
| 4.2.6 | <i>Diseño de la malla</i> | 45 |
| 4.3 | Diseño del sistema de llenado | 46 |

| | | |
|----------------------|---|----|
| 4.4 | Montaje mecánico | 47 |
| 4.5 | Diseño del hardware y software del sistema de control | 49 |
| 4.5.1 | <i>Diseño de la tarjeta electrónica</i> | 50 |
| 4.5.2 | <i>Programación del PLC</i> | 51 |
| 4.6 | Diseño del interfaz hombre máquina | 58 |
| 4.7 | Pruebas y resultados del prototipo | 62 |
| 4.7.1 | <i>Pruebas de las dosificadoras para envases de 250ml</i> | 62 |
| 4.7.2 | <i>Pruebas de flexibilidad</i> | 64 |
| 4.7.3 | <i>Pruebas de repetitividad del prototipo</i> | 66 |
| 4.7.4 | <i>Pruebas Velocidad Vs Tiempo</i> | 71 |
| 4.8 | Análisis económico del prototipo | 73 |
| CONCLUSIONES..... | | 75 |
| RECOMENDACIONES..... | | 76 |
| BIBLIOGRAFÍA | | |
| ANEXOS | | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1.2: Ventajas y Desventajas de los Motores Paso a Paso..... | 21 |
| Tabla 2.2: Ventajas y Desventajas de los Servomotores..... | 22 |
| Tabla 3.2: Valorización de los Actuadores | 22 |
| Tabla 4.2: Selección de los Actuadores | 23 |
| Tabla 5.2: Valorización de los Drivers | 25 |
| Tabla 6.2: Selección del Driver..... | 25 |
| Tabla 7.2: Ventajas y Desventajas del PLC Siemens | 26 |
| Tabla 8.2: Código de colores -Identificación de Módulos | 28 |
| Tabla 9.2: Sección de PLC..... | 29 |
| Tabla 10.2: Ventajas y Desventajas del PIC16F877A | 30 |
| Tabla 11. 2: Ventajas y Desventajas de los Controladores | 31 |
| Tabla 12.2: Selección de Controladores | 32 |
| Tabla 1.3: Causas y Efectos de un transporte por cremallera. | 35 |
| Tabla 2. 3: Causas y efectos de un transporte por banda | 35 |
| Tabla 1.4: Especificaciones del motor nema 17..... | 39 |
| Tabla 2.4: Prueba de repetitividad. | 62 |
| Tabla 3.4: Estadística descriptiva del promedio de dosificadores. | 62 |
| Tabla 4.4: Datos de la trayectoria en L a 10(rpm). | 66 |
| Tabla 5.4: Resultados estadísticos de la trayectoria en L a 10(rpm)..... | 66 |
| Tabla 6.4: Datos de la trayectoria en L a 15(rpm). | 67 |
| Tabla 7.4: Resultados estadísticos de la trayectoria en L a 15(rpm)..... | 67 |
| Tabla 8.4: Datos de la trayectoria en L a 20(rpm). | 68 |
| Tabla 9.4: Resultados estadísticos de la trayectoria en L a 20(rpm)..... | 68 |
| Tabla 10.4: Datos de la trayectoria diagonal a 10(rpm)..... | 69 |
| Tabla 11.4: Resultados estadísticos de la trayectoria diagonal a 10(rpm). | 69 |
| Tabla 12.4: Datos de la trayectoria diagonal a (15 rpm)..... | 69 |
| Tabla 13.4: Resultados estadísticos de la trayectoria diagonal a 15(rpm). | 70 |
| Tabla 14.4: Datos de la trayectoria diagonal a 20(rpm)..... | 70 |
| Tabla 15.4: Resultados estadísticos de la trayectoria en diagonal a 20(rpm). | 70 |
| Tabla 16.4: Tiempo promedio de la trayectoria en L a tres velocidades | 71 |
| Tabla 17.4: Resultados de la regresión exponencial para la trayectoria en L | 72 |
| Tabla 18.4: Tiempo promedio de la trayectoria diagonal a tres velocidades | 72 |
| Tabla 19.4: Resultados de la regresión exponencial para la trayectoria diagonal..... | 73 |
| Tabla 20.4: Costos del prototipo. | 74 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. 1: Diagrama de espina de pescado..... | 3 |
| Figura 1.2: Llenadora contrapresión..... | 7 |
| Figura 2.2: Llenadora semiautomática por gravedad..... | 7 |
| Figura 3.2: Llenadora semiautomática por pistón..... | 8 |
| Figura 4.2: Llenadora por vacío..... | 8 |
| Figura 5.2: Llenadora lineal..... | 9 |
| Figura 6.2: Llenadora rotativa..... | 10 |
| Figura 7.2: Llenadora automática volumétrica..... | 10 |
| Figura 8.2: Llenadora automática por gravedad..... | 11 |
| Figura 9.2: Envases de cartón..... | 12 |
| Figura 10.2: Envases de vidrio..... | 12 |
| Figura 11.2: Envase de metal..... | 13 |
| Figura 12.2: Envases de plástico..... | 14 |
| Figura 13.2: Bandas transportadoras..... | 15 |
| Figura 14.2: Transportador asistido por aire..... | 15 |
| Figura 15.2: Engranajes helicoidales..... | 17 |
| Figura 16.2: Engranaje de dientes cónicos rectos..... | 17 |
| Figura 17.2: Dientes del engrane..... | 18 |
| Figura 18.2: Cremallera..... | 19 |
| Figura 19.2: Motores paso a paso..... | 20 |
| Figura 20.2: Servomotor..... | 22 |
| Figura 21.2: DRV 8825..... | 24 |
| Figura 22.2: Driver A4988..... | 25 |
| Figura 23.2: PLC Siemens..... | 26 |
| Figura 24.2: PLC Schneider..... | 27 |
| Figura 25.2: PLC WAGO..... | 28 |
| Figura 26.2: PIC16F877A..... | 30 |
| Figura 27.2: Arduino Mega 2560..... | 31 |
| Figura 1.3: Ubicación del escenario de pruebas..... | 33 |
| Figura 1.4: Etapas del diseño e implementación del prototipo..... | 38 |
| Figura 2.4: Motor nema 17..... | 40 |
| Figura 3.4: Cálculo del piñón y la cremallera..... | 41 |
| Figura 4.4: Diseño del engrane..... | 41 |
| Figura 5.4: Ensayo de fatiga..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 6.4: Parte posterior del engrane..... | 43 |
| Figura 7.4: Cremallera recta..... | 43 |
| Figura 8.4: Soporte del motor..... | 44 |
| Figura 9.4: Base para el motor y el engrane..... | 45 |
| Figura 10.4: Rodamiento..... | 45 |
| Figura 11.4: Malla..... | 46 |
| Figura 12.4: Diseño de los dispensadores..... | 47 |
| Figura 13.4: Montaje del primer conjunto de motores..... | 47 |
| Figura 14.4: Montaje mecánico..... | 48 |
| Figura 15.4: Montaje de los módulos sobre la malla..... | 48 |
| Figura 16.4: Prototipo del sistema de llenado..... | 49 |
| Figura 17.4: Esquema eléctrico..... | 49 |
| Figura 18.4: Diagrama del sistema de control..... | 50 |
| Figura 19.4: Placa de control..... | 50 |
| Figura 20.4: Datasheet del A4988..... | 51 |
| Figura 21.4: Diseño de la tarjeta electrónica..... | 51 |
| Figura 22.4: Interfaz de CoDeSys..... | 52 |
| Figura 23.4: Cable serial Wago 750-920..... | 52 |
| Figura 24.4: FBC Update..... | 53 |
| Figura 25.4: Actualización del Firmware..... | 53 |
| Figura 26.4: Selección del puerto serial..... | 54 |
| Figura 27.4: Verificación de la actualización..... | 54 |
| Figura 28.4: Reconocimiento de los módulos en Wago I/O Check..... | 55 |
| Figura 29.4: Selección del PLC..... | 55 |
| Figura 30.4: Selección del lenguaje de programación..... | 55 |
| Figura 31.4: Elementos de la barra de herramientas..... | 56 |
| Figura 32.4: Configuración de mando..... | 56 |
| Figura 33.4: Hardware configuration..... | 57 |
| Figura 34.4: Módulos I/O..... | 57 |
| Figura 35.4: Dirección de las variables..... | 58 |
| Figura 36.4: Área de trabajo para el HMI..... | 58 |
| Figura 37.4: Diseño del HMI para el prototipo..... | 59 |
| Figura 38.4: Configuración de los botones de inicio y paro..... | 59 |
| Figura 39.4: Programación de los botones..... | 60 |
| Figura 40.4: Programación de las figuras..... | 60 |
| Figura 41.4: Configuración del color de las figuras..... | 61 |
| Figura 42.4: Configuración de la figura..... | 61 |

| | |
|--|----|
| Figura 43.4: Encendido de los motores número 17, 12 y 6. | 64 |
| Figura 44.4: Encendido de los motores número 5,3, y 1 | 65 |
| Figura 45.4: Trayectoria en diagonal..... | 65 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1.4: Diagrama de dispersión de los dosificadores..... | 63 |
| Gráfico 2.4: Cantidad promedio de las dosificadoras | 63 |
| Gráfico 3.4: Regresión Exponencial de la trayectoria en L | 72 |
| Gráfico 4.4: Regresión exponencial de la trayectoria diagonal | 73 |

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|-------------|---------------------------------|
| PLC: | Controlador Lógico Programable. |
| HMI: | Interfaz Hombre Máquina. |
| RPM: | Revoluciones por minuto. |
| CC: | Corriente Continúa. |
| Kg: | Kilogramo. |
| ml: | Mililitros. |
| P: | Potencia. |
| I: | Corriente. |
| mm: | Milímetros. |
| seg: | Segundos. |
| AC: | Corriente Alterna. |
| T: | Torque |

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Planimetría del prototipo

Anexo B: Manual de usuario

Anexo C: Software del Arduino Mega 2560

Anexo D: Software del Codesys

Anexo E: HMI de la trayectoria en L

Anexo F: HMI de la Trayectoria en diagonal

Anexo G: Fotografías del prototipo

Anexo H: Placas electrónicas

Anexo I: Modulo de Entrada WAGO 750-400

Anexo J: Módulo de Entrada WAGO 750-402

Anexo K: Modulo de Salida WAGO 750-530

Anexo L: Modulo de Salida WAGO 750-504

Anexo M: Modulo de Salida WAGO 750-514

Anexo N: Cable de Comunicación WAGO

Anexo O: PLC WAGO 750-842

Anexo P: Proceso de Montaje de los Módulos WAGO

Anexo Q: Conexión del Driver A4988

Anexo R: Descripción del Driver A4988

Anexo S: Diagrama de Bloque del Driver A4988

Anexo T: Característica Eléctrica del Driver A4988

Anexo U: Tabla de Configuración de los Pasos del Motor mediante el Driver A4988

Anexo V: Característica Térmica del Driver A4988

Anexo W: Motor Nema 17

Anexo X: Válvula de Agua

RESUMEN

Se diseñó e implementó un sistema de llenado de jabs con envases basado en un transporte por cremallera con una interfaz hombre máquina, el prototipo presenta una nueva forma para transportar los diversos tipos de elementos dentro de un proceso tomando en cuenta que este no sobrepase el torque del motor. El prototipo tuvo como objetivo observar la flexibilidad que presenta el transporte por cremallera con respecto a los transportes tradicionales como son las bandas transportadoras o los asistidos por aire. Su diseño cuenta con 18 motores paso a paso con sus respectivos engranajes de 28 dientes, los mismos que encajan con los dientes de la cremallera recta produciendo el deslizamiento de esta en cualquier sentido, horizontal, vertical y diagonal. El material utilizado para la construcción de los engranes fue de nailon y para la cremallera fue de grilón, la selección se lo hizo por la dureza, la resistencia al desgaste y al calor que presenta. La manipulación de los movimientos que realiza el motor es generado a través de pulso emitidos por el controlador lógico programable (PLC) y son recibidos por la placa de control donde se encuentra el Arduino Mega 2560 conectado a los drivers y por último a los motores, de esta manera se programó la trayectoria que lleva las jabs con envases hacia la llenadora. El prototipo demostró en las pruebas una flexibilidad del 100% con respecto a las bandas transportadoras debido a que el transporte por cremallera permite desplazarse en cualquier sentido sin complicaciones, de manera fácil y eficiente, produciendo un aumento de volumen en el llenado de envases. Se recomienda tomar en cuenta que la dosificadora se encuentre equilibrada, la velocidad a la que trabaja no debe superar los 20 revoluciones por minuto (RPM), además se tiene que considerar la alineación de los engranes de los motores.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <MOTOR>, <ENGRANE>, <CREMALLERA>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <DISCO (DRIVER)>, <INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI)>.

ABSTRACT

A system of filling crates with containers based on a rack transport with a human machine interface was designed and implemented; the prototype presents a new way to transport the several types of elements within a process taking into account that this does not exceed the engine torque. The prototype has as objective to observe the flexibility that the rack transport presents with respect to the traditional transports like the conveyor belts or the ones assisted by air. Its design has 18 stepper motors with their respective gears of 28 teeth, the same that fits with the teeth of the straight rack producing the sliding of this in any direction, horizontal, vertical and diagonal. The material used for the construction of the movements made by the motor is generated through the pulse emitted by the programmable logic controller (PLC) and are received by the control board where the Arduino Mega 2560 is connected to the drivers and finally to the motors, in this way the trajectory carried by the crates with packages towards the filler was programmed. In the tests, the prototype demonstrated a flexibility of 100% with respect to the conveyor belts because the rack transport allows to move in any direction without complications, in an easy and efficient way, producing a volume increase in the filling of containers. It is recommended to take into account that the meter is balanced, the speed at which it works should not exceed 20 revolutions per minute (RPM), in addition it has to be considered the alignment of the gears of engines.

Keywords: <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <ENGINE>, <GEAR>, <RACK>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL (PLC)>, <DISK (DRIVER)>, <HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI)>.

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

En nuestro país existen pequeñas empresas llamadas PYMES que se dedican al llenado de envases de forma manual y en otros casos como la empresa Tesalia Springs CBC en Ecuador utilizan un sistema de llenado automático que en su mayoría utilizan como transporte del envase una banda, es por ello que el presente trabajo de titulación muestra la implementación de un prototipo de llenado de jabs con envases basado en un transporte por cremallera con un interfaz hombre máquina.

El propósito del prototipo es llenar envases con líquido en el menor tiempo posible aumentando el volumen de producción gracias al sistema de transporte por cremallera, presentando así una nueva opción de llenado automático con materiales apropiados y de bajo costo para las empresas dedicadas a esta actividad.

Gracias al movimiento que genera los motores paso a paso se establece la trayectoria adecuada para el posicionamiento de las jabs con envases bajo las llenadoras, el Controlador Lógico Programable se encarga de controlar el sistema de llenado y su transporte. Como complemento al prototipo se tiene el diseño del Interfaz Hombre Máquina el cual permite visualizar cada motor en ejecución.

1.2 Antecedentes

Los sistemas de llenado para líquidos han evolucionado en las últimas décadas con la aparición de las tecnologías asépticas, que aparecen por primera vez en la década de los 60 con la introducción del envase de cartón Brik. El aumento de la exigencia de los consumidores ha llevado a mejorar el proceso de producción para conseguir una mayor calidad en el producto. (MACHINE POINT, 2015)

La automatización no solo significa un bienestar para las personas, sino que implica un ahorro de energía y varias ventajas para el estilo de vida actual. Los sistemas de control se pueden

manejar mediante una amplia gama de interfaces, consolas, teclados numéricos, controles inalámbricos, teléfonos y varios softwares. (SARZOSA, 2013)

Hoy en día, los procesos industriales junto con la automatización han pasado de ser una herramienta de trabajo deseable a una herramienta indispensable para competir en el mercado. Ningún empresario puede omitir la automatización de sus procesos para aumentar la calidad de sus productos, reducir los tiempos de producción, realizar tareas complejas, reducir desperdicios o piezas mal fabricadas y aumentar la rentabilidad de la empresa.

La industria en nuestro país también se ha desarrollado de buena manera, haciendo que el tema de la automatización sea de interés principalmente en el proceso de llenado de bebidas, para ello las empresas invierten en la compra de máquinas modernas con el objetivo de producir y comercializar productos de excelente calidad para el beneficio de los consumidores. (AllNatural, 2014)

Al aumentar la demanda de procesos automatizados permite al fabricante satisfacer las necesidades sin ampliar las dimensiones de la planta de fabricación. Tomando en consideración que los tamaños de los envases también se han ido incrementando. En el inicio de la industria, los envases de 1/2, 1 y 5 galones eran los más frecuentes, hoy se utilizan bidones de 40 y 50 galones. (PRIETO, 2011)

Las empresas que se dedican al proceso de llenado en el Ecuador de bebidas son All Natural, Faccrom, Tropicifrutas S.A., Tesalia Springs CBC-Ecuador entre otras y cuentan con una etapa de llenado en donde todos los productos son conducidos por tuberías a la sala de llenado. Antes de iniciar el proceso, las máquinas deben estar completamente limpias y desinfectadas. (PRIETO, 2011)

La mayoría de las máquinas llenadoras se utilizan para tamaños de recipientes específicos. Los productos se mantienen dentro de las tuberías y los tanques durante el proceso de llenado para evitar la contaminación. Los recipientes llenos se trasladan con máquinas transportadoras al área de envasado. (PRIETO, 2011)

En la actualidad las empresas del Ecuador que se dedican a la producción de bebidas cuentan con un sistema de transporte por cinta o banda debido a que aún no se ha creado otro método para transportar los envases no solo a la etapa de llenado sino a las demás etapas que intervienen en el proceso de producción y si existiera otro método no la implementan debido a su bajo

rendimiento que puede ser uno de los motivos en comparación con el sistema de transporte por banda.

1.3 Formulación del problema

¿Cómo afectará el proceso de llenado de jabs con envases al no implementar un prototipo basado en un transporte por cremallera?

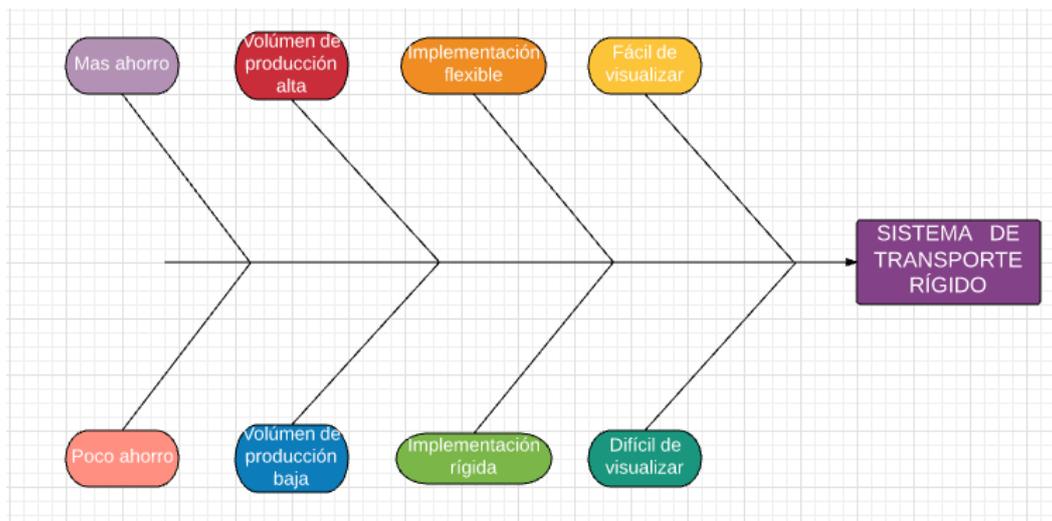


Figura 1. 1: Diagrama de espina de pescado.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

1.4 Sistematización del problema

¿Cuáles serán las variables que afectarán al momento del llenado de las jabs con envases?

¿Cómo efectuar el control y monitoreo del prototipo para el llenado de las jabs con envases con un Interfaz Hombre Máquina?

¿Cuáles son las ventajas de implementar un prototipo para el llenado jabs con envases con un transporte por cremallera?

¿Cuál será el grado de aceptación que tendrá el prototipo para un proceso de llenado de jabs con envases, de acuerdo a los resultados obtenidos?

1.5 Justificación

Realizar un proceso de llenado automático brinda muchos beneficios, actualmente existen muchas llenadoras en el mercado y en su mayoría utilizan un sistema de transporte por bandas, mediante brazos robóticos es por ello que se implementó un prototipo de llenado de jabs con envases basado en un transporte por cremallera con un Interfaz Hombre Máquina para brindar un transporte flexible que permita realizar la mejor trayectoria para el llenado.

La trayectoria se realiza con la ayuda de 18 motores paso a paso con sus respectivos engranajes. El movimiento circular que genera los motores y transmite a los engranes se convierten en rectilíneo cuando la cremallera se ubica encima de cada uno.

La secuencia que realiza el prototipo para generar el movimiento de los motores y definir la mejor trayectoria es: PLC, controlador, driver y motor. El motor paso a paso al necesitar de una frecuencia alta para realizar su trabajo requiere de un controlador adicional, siendo el controlador principal el PLC Wago.

La llenadora se ha diseñado con una electroválvula la misma que abrirá y cerrará por la señal que se envía desde el PLC. El control que se realiza de cada uno de los motores que conforma la cremallera es la parte fundamental del prototipo puesto que, del movimiento que se genera depende que el llenado de cada uno de los envases se realice sin ningún inconveniente.

El presente trabajo servirá como punto de partida para posibles mejoras en el campo de la automatización industrial puesto que la ventaja de acceder a un proceso de llenado automático con un transporte flexible, es el aumento de productividad y el ahorro económico.

1.6 Objetivos

Objetivos generales:

Implementar un prototipo de llenado de jabs con envases basado en un transporte por cremallera con una Interfaz Hombre Máquina.

Objetivos específicos:

- Analizar las variables de proceso que intervienen en el llenado de jabs con envases como la velocidad, el tiempo, la carga y el volumen de producción.
- Diseñar los sistemas: mecánicos, eléctricos, electrónicos, neumáticos, y de control, para el proceso de llenado.
- Seleccionar los elementos que componen el proceso de llenado de acuerdo a su dimensionamiento.
- Implementar los sistemas de automatización y la visualización del control de llenado a través de un Interfaz Hombre Máquina.
- Validar el prototipo de llenado de jabs con envases basado en un transporte por cremallera.

1.7 Alcance y delimitación

El prototipo está diseñado para cualquier industria que se dedique al llenado de envases con líquidos y requieran de un sistema de llenado automático con un transporte flexible que no se base en un transporte por banda y deseen aumentar el volumen de producción.

Este prototipo está limitado para trabajar con pesos que sobrepase el torque del motor.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Llenadoras

Las llenadoras son aquellos equipos cuyo propósito es colocar un producto, en este caso líquido dentro de un envase, el cual puede ser de vidrio, de metal, de plástico o cartón. En la actualidad existen varios tipos de llenadoras a la venta, estas pueden ser semiautomáticas o automáticas, cada una está diseñada por la forma de llenado, tipo de producto a ser envasado, tipo de transporte etc.

2.1.1 *Llenadoras manuales y semiautomáticas*

Las llenadoras manuales se encuentran más comúnmente en empresas PYMES que se dedican al llenado de envases en poca cantidad. Este tipo de llenadora obligatoriamente necesita de un operario que este pendiente en todo el proceso de llenado. Por otro lado están las llenadoras semiautomáticas que, aunque tenga una parte automática es indispensable la presencia de un operario para la supervisión.

A. *Llenadora manual por contrapresión*

Este tipo de llenadora es utilizada más para envasar aquellos líquidos que requieren de contrapresión como es el líquido espumoso, uno de los productos que requieren de este tipo de llenadora para ser envasados es la cerveza, como podemos observar en la Figura 1.2. El Primero se encarga de presurizar el envase dando comienzo al llenado, manteniendo siempre la contrapresión para evitar al máximo el espumado, Está diseñada para adaptar distintos tamaños de botellas.

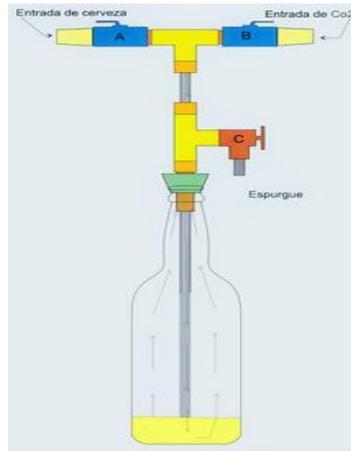


Figura 1.2: Llenadora contrapresión.

Fuente: <http://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/llenador.html>

B. Llenadora semiautomática por gravedad

Este es uno de los medios de llenados más tradicionales, ya que no requiere de la ayuda de ningún elemento externo para que se produzca el llenado. Este tipo de llenadora es más utilizada para llenar aquellos productos sin gas y trabaja a una velocidad media – baja.



Figura 2.2: Llenadora semiautomática por gravedad.

Fuente: <http://www.tiendainvia.com/es/llenadoras-para-botellas.html>

C. Llenadora semiautomática por pistón volumétrica neumática

Este tipo de llenadora son actualmente uno de los sistemas de llenado más precisos disponibles en el mercado. El método por pistón es ideal para el llenado de diversos tipos de productos,

debido a que este cuenta con un diseño robusto, preciso y repetitivo. Este método trabaja con elementos externos para forzar el paso de los productos como es el uso de cilindros. En este caso el movimiento lo realizamos mediante la carga y la descarga del producto en dosis iguales.



Figura 3.2: Llenadora semiautomática por pistón.
Fuente: <https://www.hotfrog.es>

D. Llenadora semiautomática por vacío

Este método trabaja con un sistema cerrado, teniendo como objetivo principal, evitar la contaminación de producto el cual está siendo envasado, además cuenta con una característica especial la que permite regular el nivel de llenado de forma individual, esto se logra haciendo unos ajustes en el pistón, el mismos que puede ser ejecutado durante el proceso de llenado.



Figura 4.2: Llenadora por vacío.
Fuente: <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/llenadora-vacio-80764.html>

2.1.2 *Llenadoras automáticas*

Son aquellas llenadoras que utilizan dispositivos electrónicos, que tiene como controlador principal un PLC y en muchos de estos sistemas se realiza un monitoreo mediante una Interfaz Hombre Máquina, este tipo de llenadoras no requiere de un operario que este por completo.

Por su forma de construcción física se dividen en llenadoras lineales y rotativas y por el principio utilizado en la dosificación se clasifican en llenadoras volumétricas y por gravedad a nivel.

A. *Llenadoras lineales*

Este tipo de llenadora es utilizada para dosificar envases de vidrio o plásticos de diferentes formas y tamaño, pero simétricas. Los envases llegan a través de bandas transportadoras en forma ordenada una a continuación de otra como podemos observar en la Figura 5.2, luego son detenidas y ubicadas bajo las válvulas dosificadoras. Una vez que están llenos los envases son enviados para el tapado del mismo. Debido a como se realiza el procedimiento la velocidad de producción es lenta. (ORTIZ, y otros, 2005)



Figura 5.2: Llenadora lineal

Fuente: <http://www.packsystem.com.mx/producto-llenadoras-lineales-para-liquidos.html>

B. *Llenadoras rotativas*

Empleadas en la dosificación a envases de plásticos o vidrio, hasta un tamaño limitado. En este tipo de sistema se manejan estrellas para sincronizar el ingreso y salida de botellas. Cuando los envases ingresan a la máquina son transportados y al mismo tiempo son llenados, por lo cual la máquina nunca se detiene. (ORTIZ, y otros, 2005). La ventaja de este tipo de llenadora es la velocidad a la que trabaja y la producción alta que ofrece con respecto a otras.



Figura 6.2: Llenadora rotativa.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña, 2017

C. Llenadoras volumétricas

Es apropiada para llenar productos viscosos como aceite vegetal, mineral, detergentes, etc. Donde lo más importante es la máxima precisión en la cantidad del llenado. El depósito de la máquina está situado en la parte superior del grupo de válvulas y es de gran capacidad. Los envases entran por la cinta transportadora por medio de una estrella, que las coloca sobre soportes móviles que a su vez las elevan hasta introducir las válvulas en las mismas, produciéndose el llenado hacia las paredes del envase. (ORTIZ, y otros, 2005)



Figura 7.2: Llenadora automática volumétrica.

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/cozzoli-machine-company.html>

D. *Llenadora por gravedad a nivel*

Es ideal para productos muy fluidos como agua vinagre, vino, detergentes o cualquier otro producto. El depósito de la máquina está situado en la parte superior y su control está directamente hecho desde un PLC.



Figura 8.2: Llenadora automática por gravedad.

Fuente: <http://www.diseyco.com.co/envasadoras-de-gravedad-automatica/>

2.2 Tipos de envases

Un envase debería proteger al producto y preservar su valor alimenticio y vitaminas. Los alimentos líquidos tienden a ser perecederos con lo que un envase limpio y que aisle es absolutamente esencial. El envase debería también proteger al producto de golpes en la manipulación, luz y oxígeno.

2.2.1 *Cartón*

Un envase de cartón normalmente se compone de papel y plástico, por su consistencia este tipo de envases es muy resistente a los golpes que sufre en la manipulación, actualmente también es uno de los más usados en las industrias.

Una fina capa de polietileno para alimentación, en cualquiera de los dos lados del papel hace que el envase sea estanco. Al poner el plástico en la parte de afuera también protege al cartón de la condensación cuando los productos refrigerados son extraídos de la cámara. Debido a su pureza, este polietileno causa un impacto medioambiental mínimo cuando es incinerado o depositado en vertederos. (AB, Tetra Pak Processing Systems, 2007)



Figura 9.2: Envases de cartón.

Fuente: <http://www.packaging.enfasis.com>

2.2.2 *Envases de vidrio*

Los envases de vidrio, según su capacidad, aplicación y forma, se clasifican en botellas, frascos, potes y ampollas. Ofrecen una versatilidad de diseños en forma, tamaño y color. Los más utilizados son: transparente, ámbar, verde y ópalo. (MATHON, 2012)

Este tipo de envases ofrece muchas ventajas entre ellas está que son: reciclables, retornables, versatilidad de formas, no altera el sabor del producto y es transparente pudiendo visualizar el producto. La desventaja es su costo, la fragilidad que posee y lo peligroso que puede llegar a ser cuando este se rompe.



Figura 10.2: Envases de vidrio.

Fuente: <http://www.inti.gob.ar/atp/pdf/cuademilloEnvasesyEmbalajes.pdf>

2.2.3 *Envases de metal*

Un envase metálico, en términos generales, se define como un recipiente rígido para contener tanto productos líquidos como sólidos, y que además tiene la capacidad de ser cerrado herméticamente. (MATHON, 2012). Este envase es: reciclable, degradable, liviano, ofrece muy buenas propiedades de barrera como el vidrio. El problema que se encuentra en este tipo de envase es que pueden oxidarse y generar olores si no se limpian pudiendo alternar el sabor del producto.

Los envases de metal para envasar alimentos o artículos de uso doméstico son principalmente los envases de hojalata y aluminio, como por ejemplo: latas, botellas y cajas. Para evitar la interacción entre el producto y el envase, en su interior se aplican lacas y recubrimientos. (MATHON, 2012)



Figura 11.2: Envase de metal.

Fuente: <http://www.inti.gob.ar/atp/pdf/cuadernilloEnvasesyEmbalajes.pdf>

2.2.4 *Envases de plásticos*

Los envases de plástico que actualmente se comercializan pueden ser de tipo: rígido como, botellas, frascos, cajas y estuches; termo formado como bandejas para viandas o flexibles como mallas tejidas, multicapas y film. (MATHON, 2012)

Los envases de plástico son de lo más seleccionados por los emprendedores por ser, principalmente, económicos, funcionales, livianos y versátiles de forma es decir se ablanda a alta temperatura y se fragiliza a bajas temperaturas, si bien algunos son permeables, también hay envases de plástico con las propiedades de resistencia, barrera y sellado. (MATHON, 2012)



Figura 12.2: Envases de plástico.

Fuente: <http://www.inti.gob.ar/atp/pdf/cuadernilloEnvasesyEmbalajes.pdf>

2.3 Sistemas de transporte de envases

Son accesorios mecánicos utilizados para transportar materiales de una instalación a otra, el uso de estos transportes pueden ser adquiridos por cualquier tipo de industria que tenga que realizar varios proceso para llegar a un producto terminado.

El objetivo de un sistema de transporte es agilizar el proceso designado y economizar costos En el mercado existen varios mecanismos de transportación de envases en un proceso de llenado y los más utilizados son las cintas o bandas transportadoras y los transportadores asistidos por aire.

2.3.1 *Bandas transportadoras*

Son los transportes de envases más utilizados en la industria, cabe mencionar que las bandas transportadoras son utilizadas en distintos campos y pueden ser rectas o curvas según la distribución física de la industria en la que va ser instalada y de acuerdo al proceso que se requiera. La construcción de las bandas en su mayoría es por eslabones de acero inoxidable, o de algún tipo de cuero o caucho muy resistente, los materiales utilizados deben ser de la mejor

calidad para evitar posibles averías al momento de transportar algún producto de un proceso a otro. (ORTIZ, y otros, 2005)



Figura 13.2: Bandas transportadoras.

Fuente: <http://buenos-aires.all.biz/cintas-transportadoras-para-lineas-de-empaque-g120582>

2.3.2 Transportador asistido por aire

Este tipo de transportador es utilizado para llevar los envases Pet vacíos hacia la llenadora. La transferencia de las botellas desde el transportador hacia el sistema de sujeción por el cuello de la llenadora se realiza mediante una estrella de separación especial que lleva las botellas a la distancia justa. (ORTIZ, y otros, 2005)

En la zona de la llenadora y taponadora de los envases se sujetan exclusivamente por el anillo de soporte en el cuello, de manera que independiente de la forma del envase y de tamaño, el transporte se lo realiza con seguridad y libre de perturbaciones a través del sistema, minimizando los tiempos de cambio de formato. (ORTIZ, y otros, 2005)



Figura 14.2: Transportador asistido por aire.

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/krones/product-7266-572110.html>

2.4 Engranajes

“Los engranajes y la transmisión de los engranajes están presentes en muchas de las maquinas que podemos encontrar a nuestro alrededor, además de ayudar a mover las ruedas y hélices de medios de transporte, ya sea por tierra, mar o aire.” (PINTO, 2015)

El engranaje es el conjunto de dos ruedas dentadas permitiendo que los dientes de una de estas encajen en los huecos de la otra rueda mientras está en funcionamiento, de esta manera se produce un movimiento mixto lineal o rotacional, sin apenas presión sobre los cojinetes de los ejes en los que van montadas las rudas y que recibe el nombre de engrane. (PALACIO, y otros).

Para el diseño del engranaje se deben regir a una ley la misma que se enuncia a continuación:

“Para que la relación de transmisión entre dos perfiles se mantenga constantemente es necesario y suficiente que la normal a los perfiles en el punto de contacto pase en todo instante por un punto fijo de la línea de centro”. (ALTAMIRANO)

2.4.1 Tipos de engranajes

Existen diversos tipos de engranajes, cada uno destinado a una función y labor específica como se muestra a continuación:

A. Engranajes de dientes helicoidales

En este tipo de engranaje los bordes de los dientes no se encuentran de forma paralela al eje de rotación, pero se posicionan por ángulo dando forma curva al diente como si fuese un segmento de una hélice.

Para que dos ruedas dentadas helicoidales se engranen deben tener el mismo ángulo de inclinación pero en sentidos contrarios, como se puede observar en la Figura 15.2. (ALTAMIRANO)



Figura 15.2: Engranajes helicoidales.

Fuente: <http://tecnoblogueando.blogspot.com/2012/03/mecanismos.html>

Existen cuatro tipos de engranajes helicoidales que son:

- *De ejes paralelos:* Son más silenciosos que los engranajes rectos al realizar el movimiento.
- *Ejes cruzados:* Acción de tornillo, posee una capacidad limitada en la transmisión de la carga.
- *Helicoidales dobles:* Son conocidos en el nombre de “espina de pescado”, posee la mitad del error en el deslizamiento que el engrane recto o de una hélice.

B. Engranaje de dientes cónicos rectos

Para transmitir un movimiento que se realiza entre dos ejes, los mismos que se cortan se utilizan los engranajes cónicos. La relación que debe cumplir los ángulos de cada uno de los conos primitivos con el ángulo formado por los ejes y la transmisión. (PAZMIÑO) .

En este tipo de engranes los dientes convergen en el punto donde se intersecan los ejes. Posee más ruido que los engranes anteriormente mencionados, es ideal para tareas que requiera bajas velocidades. Hoy en día este tipo de engranajes se usa muy poco.



Figura 16.2: Engranaje de dientes cónicos rectos.

Fuente: <http://www.engranesfinos.com/service3.html>

C. Engranaje de dientes rectos

Los engranajes más simples y comunes que hay son los engranajes rectos, se caracterizan por tener ejes paralelos y dientes rectos. Estos engranajes provocan ruido según la velocidad a la cual este girando, la intensidad del ruido depende del tallado de los dientes, trabajan a velocidades medias y bajas, una desventaja también es la vibración.

Es muy importante considerar el tamaño del diente ya que de este depende el acople de los piñones para que se pueda producir el movimiento mecánico.

Una parte fundamental del engrane son los dientes considerados como salientes que son el resultado al torneado de una superficie que puede ser plana, cilíndrica, etc. Las ranuras de los dientes al encajar una con otra cumplen con la función de transmitir el giro para generar un movimiento.



Figura 17.2: Dientes del engrane.

Fuente: <http://www.anemsa.com/productos/engranajes-rectos/>

Para el diseño del diente se considera el diámetro primitivo, externo, interno del engrane, el modulo, el número de dientes, la altura del diente, espesor del diente, ancho del espacio, ancho de la cara y el paso circular.

2.4.2 Cremallera

Toda máquina está formada por un conjunto de mecanismos, los mismos que se encuentran enlazados entre sí, con el propósito de realizar un movimiento predeterminado.

Una cremallera es un dispositivo mecánico que tienes como objetivo convertir un movimiento circular en lineal y viceversa.

La cremallera está formado de dos engranajes, el primero es un piñón que es el encargado de producir el movimiento circular o rotacional y la cremallera la misma que se encargará de dar el movimiento lineal o rectilíneo.

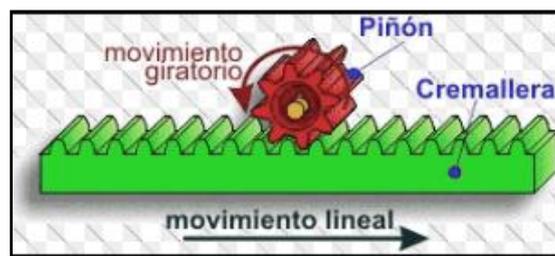


Figura 18.2: Cremallera.

Fuente: <http://concurso.cnice.mec.es>

2.5 Selección de elementos

Para la implementación del prototipo de llenado de jabs con envases con un transporte por cremallera los componentes se dividen en dos grupos, los elementos mecánicos y los elementos electrónicos, los cuales serán analizados para la selección de los más óptimos.

2.5.1 Actuadores

Existen diversos tipos de actuadores eléctricos que trabajan con una considerable cantidad de corriente. Tienen como punto principal generar un movimiento, acatando las órdenes que son transmitidas por la unidad de control.

Para realizar el análisis de la selección de los elementos mecánicos se considera los servomotores de corriente continua y los motores paso a paso como posibles candidatos para la implementación del prototipo. A continuación se indica las características, ventajas y desventajas que presenta cada uno de ellos y en base a eso proceder a la selección de los más óptimos.

Opción A: Motores Paso a Paso

Los motores paso a paso son ideales para aquellos mecanismos en los que se requiera ejecutar movimientos de gran precisión. En su rotor se encuentran los imanes permanentes y en su estator se encuentra la bobina.

La excitación de esta bobina debe ser controlada mediante un controlador o driver, el cual tiene como función activar o desactivar el puerto en el que se encuentre, de esta manera se enclavará manteniendo una posición específica.

Una de las características principales de este tipo motor es que mueve un paso a la vez, el mismo que puede variar entre 90° (4 paso equivale a 1 vuelta) y 1.8° (200 pasos equivale 1 vuelta).



Figura 19.2: Motores paso a paso.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña, 2017

Los motores paso a paso de imanes permanentes son:

- **Bipolares:** Posee dos bobinas de las cuales se obtienen cuatro hilos, permitiendo un fácil reconocimiento. Para su control se requiere una secuencia apropiada de combinaciones para ejecutar una vuelta, debido al cambio de flujo de la corriente en las bobinas.
- **Unipolares:** Su control es aún más simple, tienes seis hilos los cuales tienen dos devanados con sus 3 puntos de conexión, en donde un punto se encuentra en el medio del devanado.

Los motores paso a paso presentan ventajas y desventajas las mismas que se detalla a continuación como se puede observar en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2: Ventajas y Desventajas de los Motores Paso a Paso.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|--|--|
| Control más simple | Una mal control generará el fenómeno de resonancia |
| Buena respuesta en el arranque, paro y reversa | Altas velocidades, difícil de operar |
| Error de 3-5% del paso | |
| Gran rango de velocidad de rotación | |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Opción B: Servomotores de Corriente Continua

Los servomotores son actuadores mecánicos, formados por un motor y un reductor, para evitar perder la posición en la que se halla el servomotor se debe mandar periódicamente señales al puerto de control, es decir trabaja por ancho de pulso.

Actualmente en las industrias se utilizan más los motores que no poseen escobillas del tipo Brushless, tienen un estator segmentado donde el espacio del relleno del cobre es casi el doble que en los motores tradicionales. (SERVOACCIONAMIENTO, 2007).

Este tipo de motores son capaces de alcanzar un alto torque aproximadamente el triple de su torque nominal además la inercia es mucho menor que los motores asíncronos jaula de ardilla, permite rápidas aceleraciones y deceleración, así como control preciso en altas velocidades. (ESCOBAR).



Figura 20.2: Servomotor.
 Fuente: <http://www.directindustry.es>

Los servomotores presentan ventajas y desventajas las mismas que se detalla a continuación como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Ventajas y Desventajas de los Servomotores

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|--|--|
| Puede ubicarse en cualquier posición. | Precio elevado. |
| El control de posición se realiza en lazo cerrado. | El ángulo de rotación se limita a 180° |
| Posee alta precisión y resolución. | Necesitan mantenimiento. |
| Control absoluto de la velocidad y posición. | El Sistema de ventilación se contamina fácilmente. |
| Momento de torsión elevado. | |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Para la elección de los actuadores se considera la siguiente tabla de calificación como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Valorización de los Actuadores

| PESO | INCIDENCIA |
|------|--------------|
| 0 | Insuficiente |
| 1 | Óptimo |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Selección del mejor Actuador

Para seleccionar el mejor actuador para la elaboración del prototipo se aplica el método de Brown & Gibson que combina factores posibles de cuantificar con factores subjetivos a los que se asignan valores ponderados de peso relativo como se puede observar en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Selección de los Actuadores

| ACTUADORES FACTORES | PESO | OPCIÓN A | | OPCIÓN B | |
|------------------------|------|--------------|----------------|--------------|---------|
| | | Calificación | Valor | Calificación | Valor |
| Ruido y Vibración | 0,1 | 0,23529 | 0,02353 | 0,17647 | 0,01765 |
| Método de Control | 0,25 | 0,27273 | 0,06818 | 0,09091 | 0,02273 |
| Costos | 0,2 | 0,20000 | 0,04000 | 0,20000 | 0,04000 |
| Torque | 0,15 | 0,25000 | 0,03750 | 0,25000 | 0,03750 |
| Precisión | 0,15 | 0,37500 | 0,05625 | 0,25000 | 0,03750 |
| Circuito Driver | 0,15 | 0,27273 | 0,04091 | 0,18182 | 0,02727 |
| | | | 0,26637 | | 0,18265 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Después de la valoración respectiva que se da a los actuadores se tiene como mejor resultado la Opción A, que corresponde a los motores paso a paso bipolares, debido a la precisión que posee, al costo y a su facilidad de control.

2.5.2 Controlador del motor

Son dispositivos electrónicos que facilitan el control de los pasos generados por el motor para obtener una mayor exactitud en los movimientos, de esta manera permite el control de los altos voltajes y el paso de la corriente necesaria al motor para evitar posibles daños al motor.

Opción A: DRV8825

El DRV 8825 al igual que el A4988 son dispositivos controladores de los pasos de un motor bipolar. Posee dos controladores de puente H, este controlador es la versión mejorada del driver A4988.

Trabaja con una tensión de 45V y a una intensidad de 2.5 A, consta de un modo adicional de microstepping (1/32), es decir, permite el control de hasta treintaidosavos de paso, es un dispositivo robusto y posee un potenciómetro incorporado el cual permite regular su corriente.

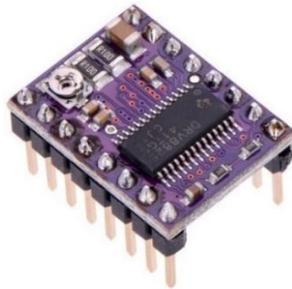


Figura 21.2: DRV 8825

Fuente: <https://www.pololu.com/product/2982>

Opción B: DRIVER A4988

El driver A4988 es el encargado de controlar motores paso a paso bipolares de hasta 2A de corriente de salida por bobina del motor. El control de la corriente se lo calibra mediante un potenciómetro incorporado en el driver.

Existen tres tipos de controladores y estos se distinguen por la temperatura máxima a la que pueden trabajar, el driver que se utilizó trabaja a temperaturas no mayores a 60°.

Este controlador permite el control de diferentes paso: pasos completos, medios pasos, cuartos de pasos, octavos de pasos y decimosextos de pasos.



Figura 22.2: Driver A4988
 Fuente: <https://www.pololu.com/product/1182>

Para la elección de los drivers se considera la siguiente tabla de calificación como se muestra en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Valorización de los Drivers

| PESO | INCIDENCIA |
|------|--------------|
| 0 | Insuficiente |
| 1 | Optimo |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Selección del mejor Controlador para un Motor Paso a Paso

Después de valorar las características que posee cada uno se procede a seleccionar el mejor driver para el motor paso a paso, para ello se aplica el método de Brown & Gibson que combina factores posibles de cuantificar con factores subjetivos a los que se asignan valores ponderados de peso relativo como se puede observar en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2: Selección del Driver

| FACTORES | DRIVER | PESO | OPCIÓN A | | OPCIÓN B | |
|------------|--------|------|--------------|-------|--------------|-------|
| | | | Calificación | Valor | Calificación | Valor |
| Intensidad | | 0,29 | 0,5 | 0,14 | 0,5 | 0,14 |
| Tensión | | 0,43 | 0,33 | 0,14 | 0,67 | 0,29 |

| | | | | | |
|------------|------|------|------|------|-------------|
| Costo | 0,14 | 0,33 | 0,05 | 0,67 | 0,10 |
| Microsteps | 0,14 | 0,67 | 0,10 | 0,33 | 0,05 |
| | | | 0,43 | | 0,57 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Después de la valoración respectiva da como mejor resultado la Opción B que corresponde a los driver A4988, como mejor controlador para los motores paso a paso, debido a su bajo costo y su fácil conexión.

2.5.3 Controlador Lógico Programable (PLC)

Es un dispositivo electrónico programable usado en las industrias para la automatización de varios procesos permitiendo tener un control sobre estos, con el beneficio de aumentar la producción ahorrando tiempo y disminuyendo costos.

Opción A: Siemens S7



Figura 23.2: PLC Siemens.
Fuente: <https://www.amelero.com>

Los PLC Siemens presentan ventajas y desventajas las mismas que se presenta a continuación como se muestra en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2: Ventajas y Desventajas del PLC Siemens

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|------------------------------|--|
| Fácil de programar | Elevado costo |
| Fácil instalación | No debe tener impurezas la red eléctrica |
| Detección de fallas sencilla | Si falla el PLC todo lo demás deja de funcionar. |

Opción B: Schneider

El software que se emplea para la programación del PLC Schneider es el TwidoSwite, cuenta con una interfaz amigable y fácil de usar, una vez cargado el programa en el PLC permite ver en línea el proceso como se está ejecutando mientras el computador esté conectado al PLC.



Figura 24.2: PLC Schneider

Fuente: <http://fanaticodeelectronica.blogspot.com>

Características

- Comunicación por Modbus y Ethernet
- Hay 7 módulos de expansión en un controlador de 40 E/S.
- Poseen una fuente de alimentación integrada.
- Cuentan con módulos opcionales como es el caso de los visualizadores numéricos.
- Módulos de ampliación analógicas de E/S.
- Comunicación vía RS-485

Opción C: Wago I/O System 750

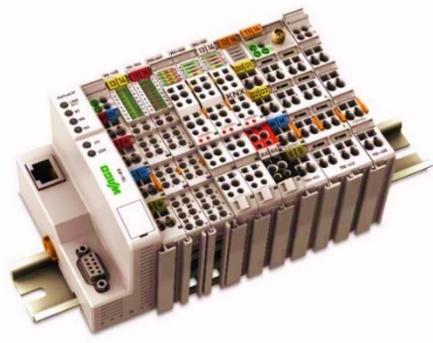


Figura 25.2: PLC WAGO

Fuente: <http://global.wago.com>

Este PLC es ideal para trabajar en condiciones ambientales, sus módulos son fáciles de extraer debido a que son independientes, posee un módulo final el cual hace que se cierre el lazo de la comunicación garantizando una buena transmisión de datos.

Para la programación del PLC Wago se usa el software libre CODESYS o el propio software de Wago, cuenta con una interfaz amigable, ofreciendo seis lenguajes de programación. Permite realizar simulaciones y testear el programa que se encuentra en ejecución. Dispone de un editor para realizar interfaces gráficas lo cual se encuentra en el mismo software.

Los módulos son de fácil reconocimiento por sus etiquetas de color, como se muestra en la siguiente Tabla 8.2.

Tabla 8.2: Código de colores -Identificación de Módulos

| COLORES | REPRESENTACIÓN |
|--------------|--|
| Amarillo | Entradas Digitales |
| Rojo | Salidas Digitales |
| Verde | Entradas Analógicas |
| Azul | Salidas Analógicas |
| Transparente | Especiales y los módulos de alimentación |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Características

- Funciona fiablemente a temperaturas de -40°C a 70°C
- Contiene protección contra fallos.
- Protegido contra emisiones negativas electromagnéticas.

- Resistencias a vibraciones de hasta 5g
- Alta flexibilidad.
- Facilidad al manipular.
- Es robusto

Selección del PLC más óptimo

Par seleccionar el mejor PLC para la elaboración del prototipo se aplica el método de Brown & Gibson que combina factores posibles de cuantificar con factores subjetivos a los que se asignan valores ponderados de peso relativo como se puede observar en la Tabla 9.2.

Tabla 9.2: Sección de PLC.

| PLC | PESO | OPCIÓN A | | OPCIÓN B | | OPCIÓN C | |
|---------------------------------|-------|----------|------|----------|------|----------|-------------|
| | | Cal | Val | Cal | Val | Cal | Val |
| FACTORES | | | | | | | |
| Costo | 0,25 | 0,4 | 0,10 | 0,2 | 0,05 | 0,4 | 0,10 |
| Soporte de Módulos de Expansión | 0,063 | 0,33 | 0,02 | 0,33 | 0,02 | 0,33 | 0,02 |
| Software | 0,063 | 0,33 | 0,02 | 0,33 | 0,02 | 0,33 | 0,02 |
| Conexión (Modbus, Ethernet) | 0,125 | 0,33 | 0,04 | 0,33 | 0,04 | 0,33 | 0,04 |
| Rendimiento | 0,063 | 0,25 | 0,02 | 0,25 | 0,02 | 0,5 | 0,03 |
| Velocidad de Transmisión | 0,313 | 0,33 | 0,10 | 0,33 | 0,10 | 0,33 | 0,10 |
| Memoria | 0,125 | 0,4 | 0,05 | 0,2 | 0,03 | 0,4 | 0,05 |
| | | | 0,35 | | 0,28 | | 0,37 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Después de realizar la valoración respectiva da como mejor resultado la Opción C que corresponde al PLC Wago I/O System 750-842, como mejor controlador para el prototipo de llenado de jabs con envase mediante un transporte por cremallera con Interfaz Hombre-Máquina.

2.5.4 Controladores

Permiten realizar el control de diferentes dispositivos electrónicos, existen una variedad de controladores, para lo cual nos centramos en los PIC 16F877A y en el Arduino Mega 2560.

Opción A: PIC 16F877A

Es un circuito integrado programable utilizado para el desarrollo de diversos programas electrónicos, fabricados con tecnología CMOS, se caracterizan por tener un consumo de potencia bajo, aunque su programación es un poco compleja.

Cuentan con una memoria programable flash de 8k, su frecuencia a las que oscila es 20MHz, se alimentan con 5V, cuentan con 40 pines los mismos que se agrupan según sus puertos, el puerto A con 6 pines, puerto B con 8 pines, puerto C con 8 pines, puerto D con 8 y el puerto E con 3.



Figura 26.2: PIC16F877A

Fuente: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F877A>

A continuación se detalla algunas de las ventajas y desventajas que presentan el microcontrolador PIC16F877A como se muestra en la Tabla 10.2.

Tabla 10.2: Ventajas y Desventajas del PIC16F877A

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|--------------------------------------|--|
| Robustez. | Costo |
| Variedad de software para programar. | Tiempo que emplea en cargar un programa. |
| Frecuencia de operación alta. | Requiere de elementos electrónicos para construir su circuito. |
| Módulo PWM incorporado. | La programación es un poco compleja |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Opción B: Arduino Mega 2560

Es una plataforma de código abierto con un hardware y software fácil de manipular el mismo que ha sido diseñado para realizar diversas tareas multidisciplinares. Cuenta con E/S digitales y analógicas. Actualmente los arduinos están ganando mercado debido a que cuenta con una gran variedad de complementos y trabaja con diversos dispositivos.

El Arduino Mega 2560 cuenta con 54 pines digitales que pueden ser utilizados como E/S, y 16 analógicas, tiene incorporado un botón de reset, además cuenta con un convertidor USB-Serie. El voltaje al que opera es de 5V, se obtiene una intensidad de 40mA en cada pin de E/S, su velocidad de reloj es de 16MHz con una memoria flash de 256KB.



Figura 27.2: Arduino Mega 2560
Fuente: <http://comohacer.eu>

A continuación se detalla algunas de las ventajas y desventajas que presentan el Arduino Mega 2560.

Tabla 11. 2: Ventajas y Desventajas de los Controladores

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|-------------------------------|--|
| Fácil de programar. | No viene incorporado todas las librerías en el software. |
| Transmisión de datos directa. | |
| Frecuencia de operación alta. | |
| Multiplataforma. | |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Selección del controlador

Par seleccionar el mejor controlador para la elaboración del prototipo se aplica el método de Brown & Gibson que combina factores posibles de cuantificar con factores subjetivos a los que se asignan valores ponderados de peso relativo como se puede observar en la Tabla 12.2.

Tabla 12.2: Selección de Controladores

| CONTROLADOR FACTORES | PESO | OPCIÓN A | | OPCIÓN B | |
|--------------------------|------|--------------|-------|--------------|-------------|
| | | Calificación | Valor | Calificación | Valor |
| Frecuencia de Oscilación | 0,13 | 0,33 | 0,04 | 0,67 | 0,08 |
| Memoria Flash | 0,38 | 0,33 | 0,13 | 0,67 | 0,25 |
| Costo | 0,13 | 0,5 | 0,06 | 0,5 | 0,06 |
| Robustez | 0,13 | 0,5 | 0,06 | 0,5 | 0,06 |
| Complejidad | 0,25 | 0,5 | 0,13 | 0,5 | 0,13 |
| | | | 0,42 | | 0,58 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Después que se realizó la valoración respectiva da como mejor resultado la Opción B, que corresponde al Arduino Mega 2560 debido a su simplicidad, frecuencia de oscilación y porque no requiere de componentes externos para la transmisión de datos como en el caso del PIC.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Descripción del lugar de estudio

El trabajo de titulación se planteó en la ciudad de Riobamba, las pruebas que se desarrollaron en el prototipo puntualmente se han realizado en el laboratorio de redes industriales en la Facultad de Informática y Electrónica. Perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo como se puede apreciar en la Figura 1.3.

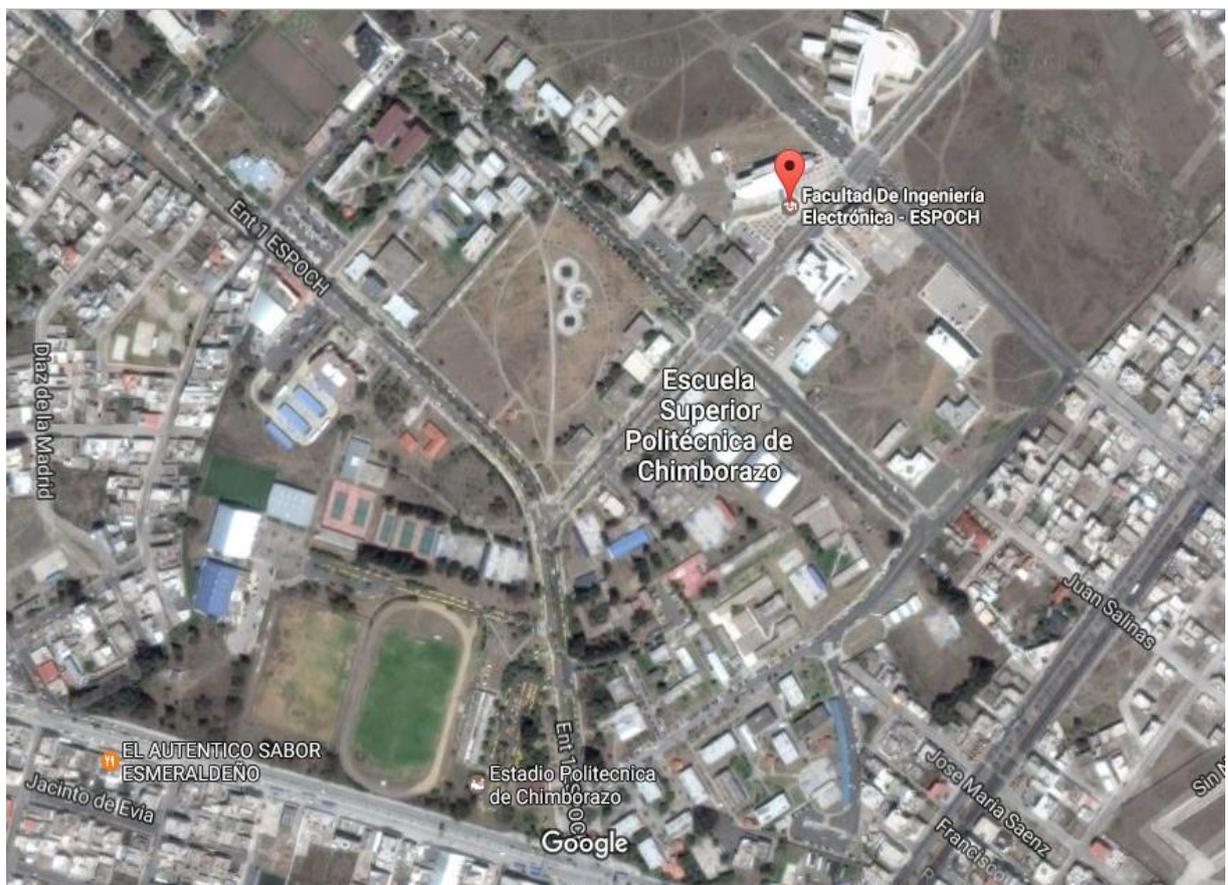


Figura 1.3: Ubicación del escenario de pruebas.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

3.2 Alcance de la investigación

Las industrias, las PYMES que se dedican a los diferentes tipos de actividades productivas como es el caso del llenado de productos líquidos y sólidos, estas utilizan procesos los mismos que cuentan con un sistema de transporte por banda, también existen sistemas asistido por aire que son utilizados para el llenado de productos líquidos con la característica de tipo PET. Estos tipos de transportes poseen una ruta predefinida haciendo que el sistema sea rígido.

Tomando en cuenta el párrafo anterior se debe citar que en el trabajo de titulación para obtener informaciones adecuadas y veraces se está utilizando el método experimental por que el equipo construido para la obtención de la información no existe en el mercado.

El método experimental se basa en el método científico, permitiendo que el investigador controle las variables para delimitar relaciones entre ellas, recopilando datos para luego ser comparados con las mediciones de un grupo experimental para ello se puede utilizar variables dependientes como independientes.

Bajo estas consideraciones se diseña un sistema de transporte por cremallera para el llenado de jabs las cuales contiene cuatro envases en los cuales se dosificara el producto que en este caso es simplemente agua.

Para demostrar la flexibilidad del transporte por cremallera con respeto a una banda transportadora se utiliza el diagrama de Ishikawa conocido con varios nombres como: diagrama de espinas de pescado, diagrama de causa- efecto, diagrama de Grandal o diagrama causal como se muestra en la Figura 1.1.

Los efectos que se tiene al implementar un transporte por cremallera para un sistema de llenado se detalla en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3: Causas y Efectos de un transporte por cremallera.

| Causa | Efecto |
|--|----------------------------|
| ➤ Mayor rapidez en el tiempo de llegada de las jabas con envases hacia los dosificadores. | Volumen de producción alta |
| ➤ Movimiento en dos direcciones X, Y del transporte. ➤ Diseño de la ruta más corta. ➤ Variación de velocidad. | Implementación flexible |
| ➤ La Interfaz Hombre Máquina la misma que permite el monitoreo del proceso de producción así como la trayectoria que sigue | Fácil de visualizar |
| ➤ Se omite un proceso de producción que puede ser el empaquetado del producto. ➤ Reducción del personal. | Ahorro económico. |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Los efectos que tiene la banda transportadora respecto al prototipo implementado se detalla en la Tabla 2.3.

Tabla 2. 3: Causas y efectos de un transporte por banda

| Causa | Efecto |
|--|----------------------------|
| ➤ Los envases ingresan a las dosificadas es fila generando un mayor tiempo hasta llegar a los dosificadores. | Volumen de producción baja |
| ➤ Trayectoria definida. ➤ No existe variedad de trayectorias. | Implementación rígido |
| ➤ Algunos transportes por banda no cuentan una Interfaz Hombre Máquina. | Difícil de visualizar |
| ➤ No permití omitir etapas en el proceso de producción. | Ahorro económico. |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Como se puede observar en las tablas anteriores aplicar un sistema de transporte por cremallera brinda una mayor ventaja respecto a los sistemas de banda, esto se debe gracias a la flexibilidad que tiene la cremallera al poder moverse en cualquier dirección, permitiendo un ahorro de tiempo al trasladarse con la jaba de envase desde el punto de partida y colocarse debajo de la dosificadora para su respectivo llenado además con este sistema propuesto economizar costos al omitir un proceso de producción que puede ser el empaquetado del producto.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de información son procedimientos especiales utilizados para obtener y evaluar las evidencias necesarias, suficientes y competentes que le permitan formar un juicio profesional y objetivo, que facilite la calificación de los hallazgos detectados en la materia examinada.

Los analistas utilizan una variedad de métodos a fin de recopilar los datos sobre una situación existente, como entrevistas, cuestionarios, inspección de registros (revisión en el sitio) y observación. Cada uno tiene ventajas y desventajas. Generalmente, se utilizan dos o tres para complementar el trabajo de cada una y ayudar a asegurar una investigación completa.

Para llevar a cabo el trabajo de titulación se dispone de gran variedad de métodos para diseñar un plan de recolección de datos. Tales métodos varían de acuerdo con cuatro dimensiones importantes: estructura, confiabilidad, injerencia del investigador y objetividad.

La presencia de estas dimensiones se reduce al mínimo en los estudios cualitativos, mientras que adquieren suma importancia en los trabajos cuantitativos, no obstante a menudo se tiene la posibilidad de adaptar la estrategia a las necesidades existentes. Cuando la investigación está altamente estructurada, a menudo se utilizan instrumentos o herramientas para la recolección formal de datos.

Las tres principales técnicas de recolección de datos son: 1. Entrevistas; 2. La encuesta y 3. La observación de todas estas en este caso se utiliza la tercera por ser la más adecuada para este trabajo.

La observación, consiste en observar a las personas cuando efectúan su trabajo. La tarea de observar no puede reducirse a una mera percepción pasiva de hechos, situaciones o cosas. Anteriormente se habla de una percepción "activa", lo cual significa concretamente un ejercicio constante encaminado a seleccionar, organizar y relacionar los datos referentes al trabajo que se está implementando.

No todo lo que aparece ante el campo del observador tiene importancia y, si la tiene, no siempre en el mismo grado; no todos los datos se refieren a las mismas variables o indicadores, y es preciso estar alerta para discriminar adecuadamente frente a todo este conjunto posible de informaciones.

Como técnica, la observación tiene amplia aceptación científica. Los sociólogos, psicólogos e ingenieros industriales utilizan extensamente ésta técnica con el fin de estudiar a las actividades que incluye en este caso el prototipo implementado. El propósito es múltiple: permite determinar que se está haciendo, como se está haciendo, cuando se lleva a cabo, cuánto tiempo toma, dónde se hace y por qué se hace.

Para la recolección de datos el instrumento que se utiliza es el cronometro el cual permite obtener el tiempo que se demora en desplazarse la cremallera con la jaba de envase desde el punto de partida hasta llegar a la dosificadora así como también el tiempo que se demora en llenar los envase en el respectivo líquido.

3.4 Tamaño muestral

Al tratarse de la construcción de un prototipo del cual no existe ningún tipo de antecedente no es necesario el establecimiento de una muestra ni se requiere de una población. Además no es necesario hacer énfasis debido a que este prototipo es nuevo en el mercado.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE RESULTADOS

4.1 Introducción

En el presente capítulo se presenta las etapas del diseño e implementación del prototipo de llenado de jabs con envases basado en un transporte por cremallera y a su vez el diseño del Interfaz Hombre Máquina, de acuerdo al método expuesto en el capítulo anterior como se muestra en la Figura 1.4.

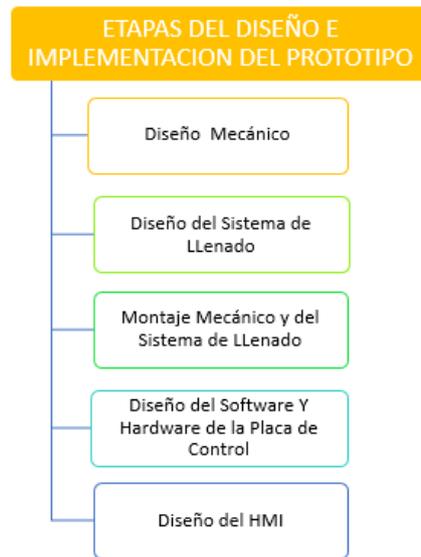


Figura 1.4: Etapas del diseño e implementación del prototipo.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

En cada etapa se detalla las dimensiones reales que posee el prototipo, utilizando el software SOLIDWORK para el diseño de cada una de las piezas que lo conforma, también se presenta el diseño de la placa de control de los motores así como el esquema de relación desde la señal de salida del PLC hacia el motor permitiendo que este ejecute la orden generado por el controlador.

Como parte final del capítulo se presenta los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al prototipo y adicional se presenta un análisis de costos generados del proyecto.

4.2 Diseño de la estructura mecánica

Para realizar cualquier tipo de trabajo, por ejemplo un trabajo de electrónica como es este caso, en donde el diseño de la estructura mecánica es esencial y fundamental para un buen funcionamiento, se requiere diseñar y seleccionar cada una de las partes que va a formar la estructura previo al montaje de la misma.

Una de las partes más importantes que tiene el prototipo de llenado de jabas con envases basado en un transporte por cremallera con un Interfaz Hombre Máquina es el diseño de la parte mecánica, es por ello que se procedió primeramente a la selección del motor y luego al diseño de los piñones y la cremallera.

4.2.1 Selección del motor paso a paso

En el Capítulo II se mostró la selección de los actuadores, dando como resultado el motor paso a paso como mejor actuador para el prototipo, por la precisión que posee y su bajo costo.

El objetivo que se tiene al construir la cremallera es convertir el movimiento circular en rectilíneo, es por ello que se selecciona un motor bipolar nema 17 con las siguientes especificaciones como se muestra en la tabla 1.4.

Tabla 1.4: Especificaciones del motor nema 17

| ESPECIFICACIONES DEL MOTOR NEMA 17 | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Ángulo de paso | 1,8 grados |
| Pasos por revolución | 200 |
| Precisión angular | ± 3% |
| Fases | 2 |
| Temperatura de funcionamiento | -20 a 40 ° C |
| Carga | 15 lb (6,8 kg) en el centro del eje |
| Empuje axial | 6 lb (2,7 kg) |
| Tirón axial | 15 lb (6,8 kg) |
| Dimensiones | 42x42 mm |

Fuente: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-311>

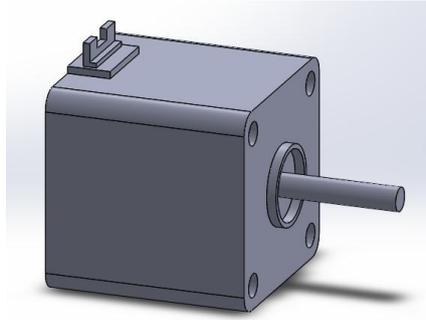


Figura 2.4: Motor nema 17.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.2.2 Diseño del transporte

Con referencia del motor paso a paso nema 17 se diseñó los engranes y la cremallera para el transporte de los envases.

A. Calculo del diente del piñón y la cremallera

Para el cálculo de los dientes del engrane se utilizó el software de sistemas de engranajes del Ing. Humberto Matheu Aguilar, versión 1.0, como se observa en la Figura 3.4, dando como reporte los siguientes datos:

Módulo: 2

Numero de dientes del piñón: 28

Número de dientes de la cremallera: 64

Constante de divisor: 1.5

Diámetro primitivo piñón: 56

Diámetro exterior piñón: 60

Diámetro interior piñón: 51.33

Altura del diente del piñón y cremallera: 4.33

Espesor del diente: 3.14

Vaciado: 3.14

Paso de la cremallera: 6.28

Ancho del diente: 16

Ruedas Rectas

PIÑÓN Y CREMALLERA

Datos :

| | | | | | |
|---|----|---------------------|---|-----|---------------------|
| m | 2 | ← Módulo | K | 1,5 | ← Constante Divisor |
| z | 28 | ← Número de Dientes | | | |

Resultados :

| | | | | | | | | |
|----|-------|-----------------------|---|------|-------------------|----|-------|---------------------------|
| d' | 56.00 | ←< Diámetro Primitivo | h | 4.33 | ←< Altura Diente | h̄ | 4.33 | ←< Altura Diente Cremall. |
| da | 60.00 | ←< Diámetro Exterior | s | 3.14 | ←< Espesor Diente | p | 6.28 | ←< Paso Cremallera |
| df | 51.33 | ←< Diámetro Interior | e | 3.14 | ←< Vaciado | b | 16.00 | ←< Ancho del Diente |
| | | | | | | M | 0.05 | ←< Giro manivela |

Retornar

Figura 3.4: Cálculo del piñón y la cremallera.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

B. Diseño del engrane y ensayo de fatiga

Para el diseño del engrane con los datos obtenidos anteriormente se procedió a realizarlo en el programa SolidWork, como se muestra en la Figura 4.4. Luego se procedió a realizar un ensayo de fatiga para observar el daño, agrietamiento y fracturación del cuerpo el mismo que fue sometido a cargas fluctuantes, variables o cíclicas.

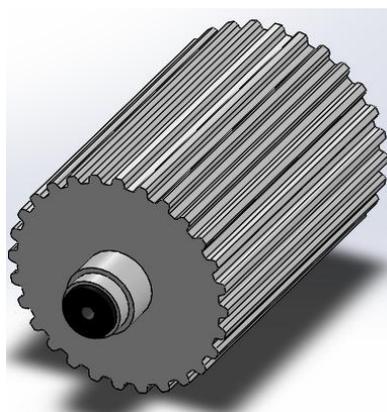


Figura 4.4: Diseño del engrane.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Para que ocurra la fatiga se requiere de al menos tres condiciones: al menos una parte del ciclo de carga con un esfuerzo de tensión, una amplitud de variación del esfuerzo superior a un valor

mínimo llamado límite de fatiga y número suficiente de ciclos o fluctuaciones de esfuerzo; si alguna de estas condiciones no están presente, la fatiga no ocurre.

Durante la fatiga, la acumulación de daño interno en el material eventualmente conduce al desarrollo de una grieta que crece hasta alcanzar tu tamaño crítico y causa la fractura final del cuerpo. Si el cuerpo fatigado tiene grietas preexistentes o concentraciones de esfuerzos agudos, la etapa de acumulación de daño se suprime y la grieta puede propagarse desde los primeros ciclos de carga.

La fatiga es un proceso de agrietamiento progresivo que culmina en la fractura de un material el mismo que está sujeto a cargas repetitivas o fluctuantes, cuyo valor máximo es menor a la resistencia de tensión.

Es por eso que se desarrolla el análisis de la fatiga para el engrane con el propósito de verificar el daño que se generará en el mismo, este tipo de análisis se realiza en el mismo programa que se diseñó el engrame, previamente se debe desarrollar un análisis estadístico para los cual se escoge el material del cual está hecho el engrame.

El la Figura 5.4 se puede apreciar el ensayo de fatiga del engrame con una escala de colores, el color azul representa la robustez la misma que puede soportar el materia y el color rojo representa el daño que se puede generar a lo largo del tiempo.

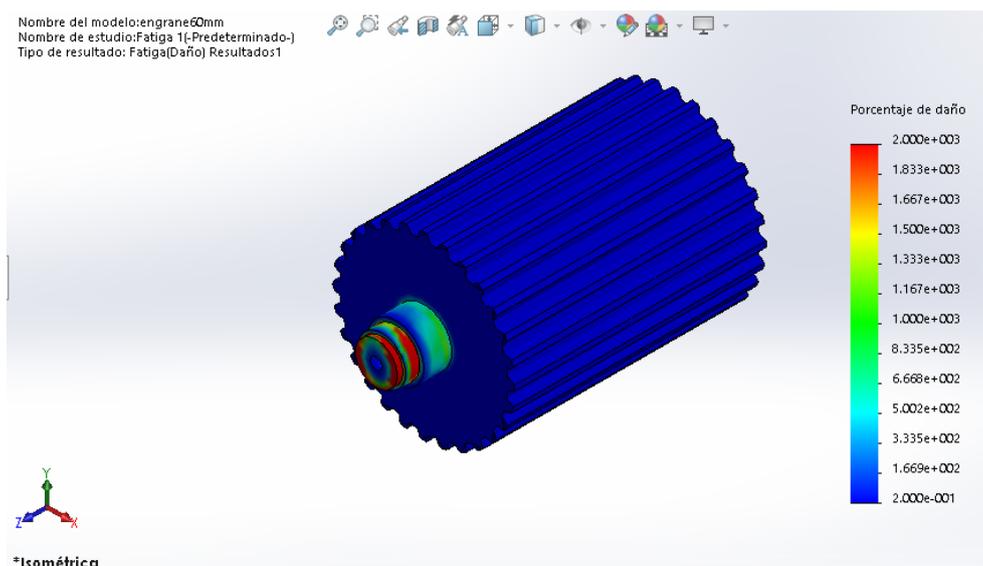


Figura 5.4: Ensayo de fatiga.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

El material que se utilizó para la construcción del engrane es nylon, su selección se realizó en base a las características que presentan como son: su dureza, capacidad de amortiguación (golpes, ruidos y vibraciones) y por la resistencia que presenta al desgaste y al calor.

En la parte posterior del engrane se hizo un orificio de 32mm de diámetro y profundidad de 11mm con el fin de acoplar un rodamiento a la base del motor para evitar posibles daños en el eje, como se muestra en la Figura 6.4.

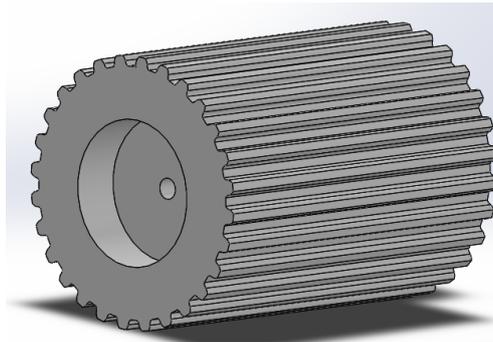


Figura 6.4: Parte posterior del engrane.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

De la misma manera se procede al diseño de la cremallera de 20x20 cm como se muestra en la Figura 7.4, con espesor de 15mm, la misma que cuenta con 32 dientes por cada lado. El cálculo de los dientes se lo hizo con el mismo módulo utilizado para el engrane, con el objetivo de engranar el uno con el otro. Al hacer dientes tanto verticales como horizontales en la cremallera, el movimiento circular se convierte en movimiento vertical y horizontal.

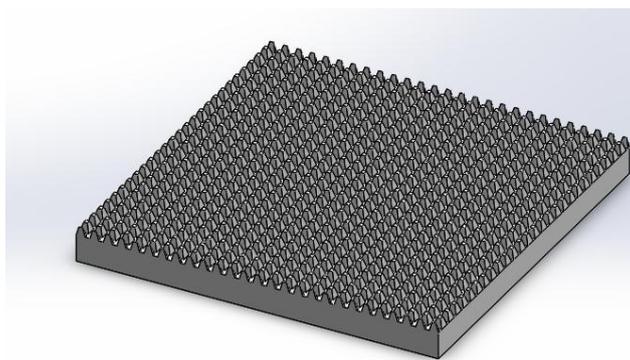


Figura 7.4: Cremallera recta.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.2.3 *Diseño del soporte del motor*

Para el diseño del soporte de los motores se tomó en cuenta las dimensiones del motor y la longitud del piñón, los mismos que se encuentran suspendidos a una altura de 30mm con respecto al soporte del motor. El material utilizado para este diseño es una lámina de tol de 1.5mm de espesor, dando la forma rectangular con medidas de 14.5cm de largo, 60mm de ancho y 61 de alto como se puede ver en la Figura 8.4. En su interior posee dos orificios los cuales se sujetan a la base de la Figura 9.4 con tornillos para madera.

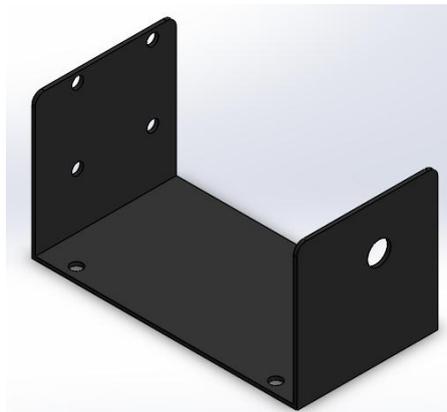


Figura 8.4: Soporte del motor.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.2.4 *Diseño de la base para el motor y el engrane*

Su diseño está basado en las dimensiones del soporte del motor conjuntamente con las dimensiones que tiene la cremallera. El material que se utiliza para la bases es madera MDF de 15 líneas.

Se diseñó 9 bases, cada uno tienen los mismos tamaños. Sus dimensiones son: 20cm de largo, 20cm de ancho y espesor de 15mm, obteniendo una forma cuadrada con 6 orificios, 2 con diámetro de 16mm para la salida de los cable provenientes de cada motor y cuatro para sujetar el soporte de cada motor (ver Figura 9.4).

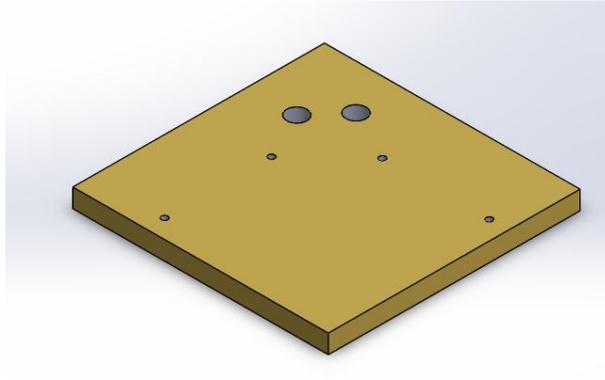


Figura 9.4: Base para el motor y el engrane.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.2.5 Rodamiento

El rodamiento se adapta al sistema motriz con el propósito de evitar que el eje del motor sufra y se produzca posibles daños, para ello se utilizó uno de 32mm en diámetro externo, 15mm en su diámetro interno y de altura 11mm como se muestra en la Figura 10.4, el mismo que se colocó en la parte posterior de cada engrane.

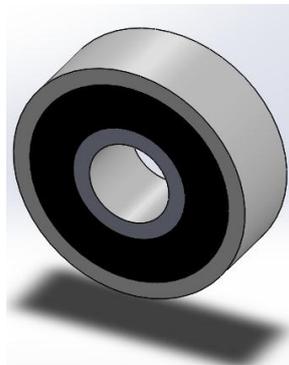


Figura 10.4: Rodamiento.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.2.6 Diseño de la malla

El material que se utilizó para la construcción de esta malla es platina y ángulo de 2mm de espesor y 20mm de ancho. El objetivo que tiene esta malla es sostener a los 9 módulos que conforma la cremallera. Sus dimensiones es de 60,3x 60,3cm de largo y ancho, con una altura de 20mm. El diseño se muestra en la Figura 11.4.



Figura 11.4: Malla.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.3 Diseño del sistema de llenado

Al concluir con la parte mecánica de la cremallera se procedió al diseño e implementación del sistema de llenado, el cual está formado por una electroválvula, una válvula check, una bomba, cuatro dispensadores y un tanque de agua.

Para el depósito de agua se utilizó un tanque de plástico de 30cm de altura y radio de 28cm para una de capacidad de almacenamiento de 12 litro, el mismo que se ubica en la parte interna de la mesa del prototipo junto a la bomba de agua.

También se utilizó una bomba de 0.5 HP a 110V de agua para que el líquido que se encuentra en reposo en el interior del tanque pueda alcanzar una altura de 125 cm, altura a la que se encuentra los cuatro dosificadores.

La electroválvula tiene dos posiciones abierto y cerrado, ON/OFF la misma que permite el paso o no del fluido que circula por la tubería, dicha acción se ejecuta siempre y cuando el PLC emita una señal al puerto de salida en la que se encuentra la electroválvula.

Se diseñó una llenadora de plástico con cuatro dispensadores de agua, los cuales están ubicados equidistantemente al centro, con el fin de llenar la misma cantidad de líquido en cada envase como se muestra en la Figura 12.4. Las jabs con envases son ubicados bajo los dispensadores por el movimiento que genera la cremallera y según la trayectoria que se le dio.

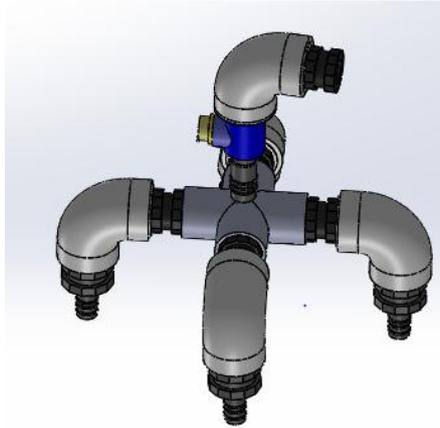


Figura 12.4: Diseño de los dispensadores.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.4 Montaje mecánico

Una vez finalizado el diseño de las partes mecánicas y del sistema de llenado se procedió al ensamblaje de las piezas del primer conjunto de motores con sus respectivos engranes como se muestra en la Figura 13.4. Antes de implementar los 8 módulos restantes se probó que el movimiento circular que genera los engranes se convierta en vertical y rectilíneo al montar la cremallera sobre los mismos.

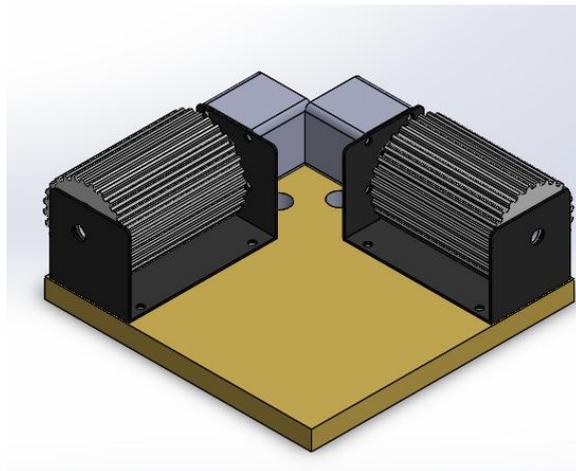


Figura 13.4: Montaje del primer conjunto de motores.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Ya comprobado el funcionamiento del primer módulo se procedió a la implementación de los módulos faltantes para completar el transporte por cremallera, formando así una matriz de tres por tres como se muestra en la Figura 14.4.

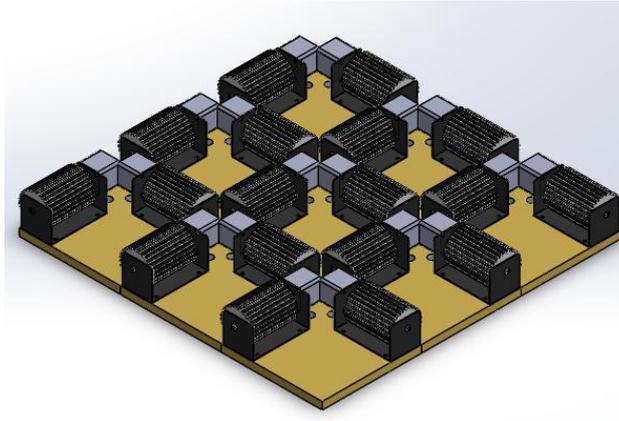


Figura 14.4: Montaje mecánico.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Como siguiente paso se colocó la malla como soporte para los nueve módulos, la misma que no permite que los módulos se separen con el movimiento de la cremallera debido a la fuerza ejercida por los motores. En la figura 15.4 se aprecia con más claridad cómo se encuentra la malla vista desde la parte posterior de los módulos.

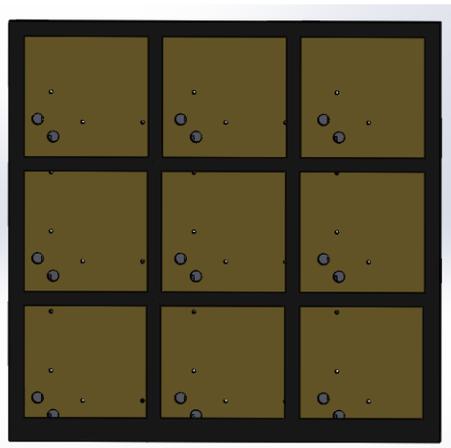


Figura 15.4: Montaje de los módulos sobre la malla.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Después del montaje de cada una de las piezas que conforma el prototipo se procedió al ensamblaje total del sistema de llenado de jabs con envases basado en un transporte por cremallera como se muestra en la Figura 16.4.

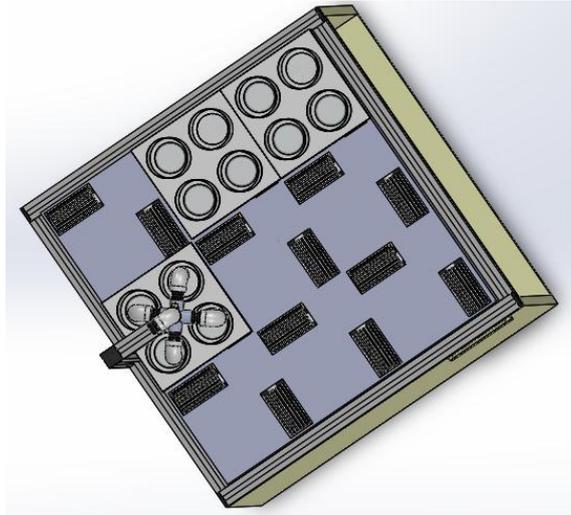


Figura 16.4: Prototipo del sistema de llenado.
 Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.5 Diseño del hardware y software del sistema de control

Para el diseño del sistema de control se basó en el esquema de la Figura 17.4, donde se explica la trayectoria que se realiza para obtener el movimiento rectilíneo, circular y diagonal de la cremallera, el cual va desde el PLC hacia el motor Nema 17.

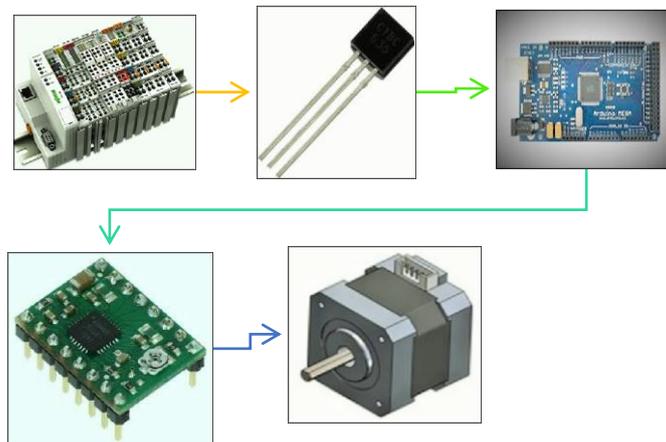


Figura 17.4: Esquema eléctrico.
 Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

El sistema de control implementado contiene varias etapas y para una mejor explicación se diseñó un diagrama de bloques que se muestra en la Figura 18.4, siendo el PLC la unidad principal de control del prototipo.



Figura 18.4: Diagrama del sistema de control.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.5.1 *Diseño de la tarjeta electrónica*

El diseño de la tarjeta electrónica se realizó en el software libre Proteus 8.5, uno de los programas más utilizados en el área de la electrónica y en carreras tecnológicas debido a su no complejidad al momento de diseñar un circuito. A demás ayuda a entender de mejor manera el funcionamiento de un elemento o dispositivo electrónico al ejecutar la simulación.

Cuenta con diversas herramientas que permite desarrollar casi cualquier tipo de circuitos que van desde circuitos básicos hasta los más complejos. Proteus 8.5 cuenta con dos programas principales que son el Ares e Isis, que permiten el diseño del circuito e impresión de las pistas diseñadas.

Debido a que el Arduino Mega 2560 trabaja con 5V, y la señal que se envía desde el PLC es de 24V se procede a diseñar un divisor de voltaje con un transistor npn 2N3904 y dos resistencias de 10K como se puede observar en la Figura 19.4.

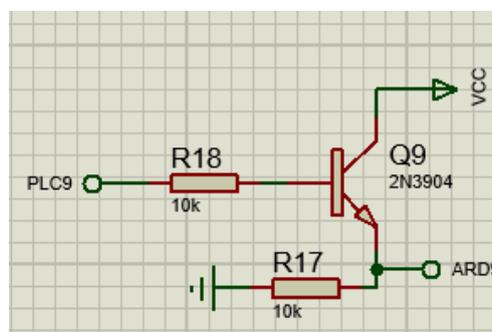


Figura 19.4: Placa de control.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Del Arduino Mega 2560 salen dos cables por motor que van al driver A4988, estos son el pin del STEP y del DIR (ver Figura 20.4). El control del cambio de giro lo realiza el pin del DIR cuando este recibe un alto del PLC y el STEP son los pasos que realiza el motor. El driver A4988 recibe cuatro cables que corresponden a las dos bobinas del motor. Para saber cuáles son los cables que pertenecen a cada bobina simplemente se comprueba continuidad utilizando un multímetro a cada uno de ellos.

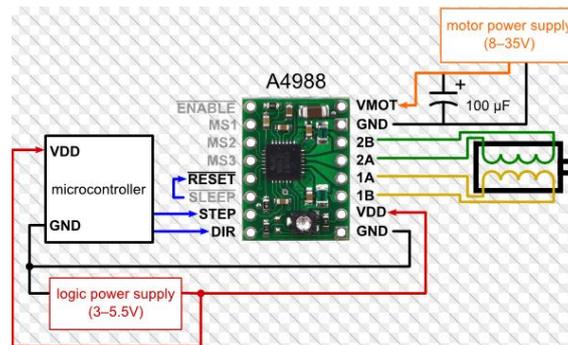


Figura 20.4: Datasheet del A4988.
 Fuente: <https://www.pololu.com/product/1182>

Como son 18 motores que conforman el transporte por cremallera se utilizó, 18 drivers uno para cada motor, 36 divisores de voltaje uno para cada señal que se transmite desde el PLC y dos Arduinos 2560 como se muestra en la Figura 21.4.

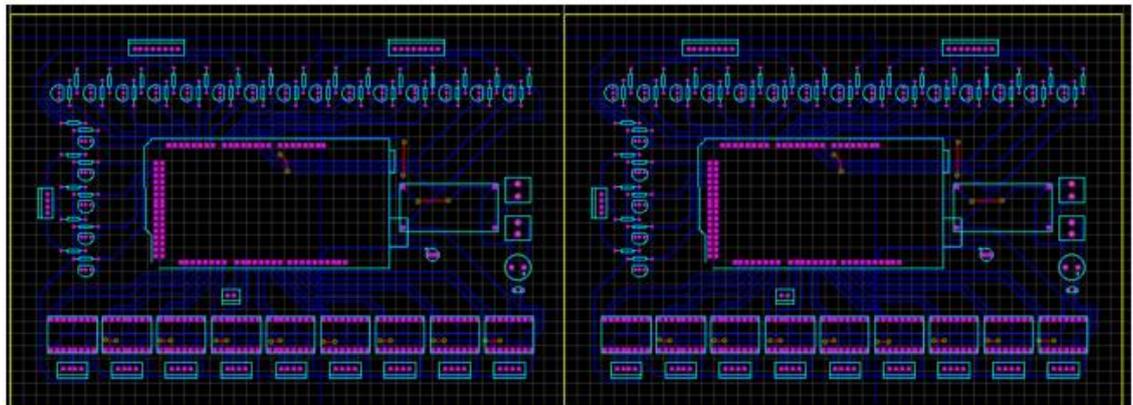


Figura 21.4: Diseño de la tarjeta electrónica.
 Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.5.2 Programación del PLC

Para programar el PLC se utilizó el software CoDeSys versión 3.5. A continuación se detalla los pasos que se siguió para la configuración del PLC para comenzar con su programación.

1. Se instala el software CoDeSys versión 3.5 la misma que consta de una Interfaz Hombre Maquina. Al lado izquierdo se muestra una ventana para la programación en lenguaje ladder y en el lado derecho para programar el HMI como se muestra en la Figura 22.4.

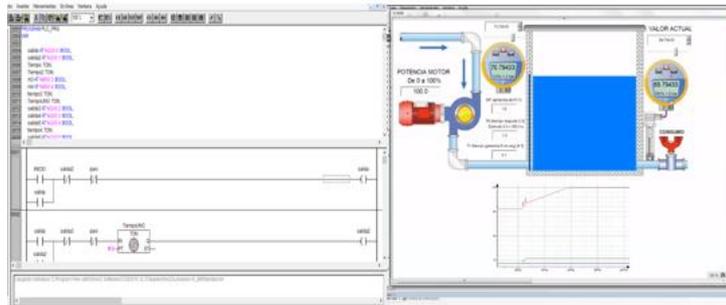


Figura 22.4: Interfaz de CoDeSys.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

2. La transmisión de datos se lo realiza mediante el cable serial de comunicación propio de WAGO 750-920. Entre las características que cuenta es que: soporta de 0°C hasta 55°C de temperatura, la transmisión de datos es rápida y el cable tiene una longitud bastante considerada. Para poder conectar el cable con la computadora se acopló el cable DB 9 macho con puerto USB debido a que el cable posee en uno de sus extremos el conector para el PLC y en el otro un conector DB-9 hembra (ver Figura 23.4)



Figura 23.4: Cable serial Wago 750-920.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

3. Antes de cargar el programa al PLC primero se actualizó el Firmware, para ello se instaló el Software FBC Update para el cable 750-920, terminada su instalación aparece una pantalla como se muestra en la figura 24.4.

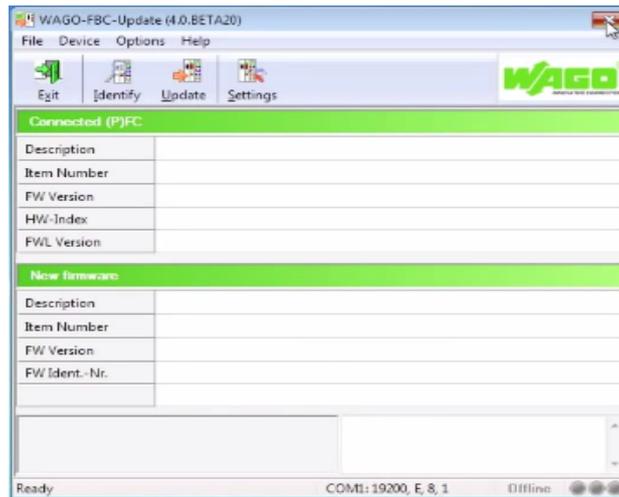


Figura 24.4: FBC Update.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4. Después se procedió con la instalación de la última tarjeta firmware del procesador que soporta Wago. Cuando este ya fue instalado aparece una pantalla como se muestra en la figura 25.4.



Figura 25.4: Actualización del Firmware.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

5. A una vez terminada con las dos instalaciones se abrió WAGO-FBC y se procedió a seleccionar el puerto COM en el que está conectado el cable Serial 750-920 de Wago, como se muestra en la Figura 26.4



Figura 26.4: Selección del puerto serial.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

6. Después de realizar todos los pasos anteriores el programa está listo para ser cargado al PLC. En la Figura 27.4 indica la pantalla de la verificación actualizada.



Figura 27.4: Verificación de la actualización.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

7. Para probar si los módulos PLC están bien conectados se utilizó el Software Wago I/O Check, un simulador que permite mandar pulso desde el mismo programa hacía el PLC, como se muestra en la Figura 28.4. Es aquí donde se seleccionó el tipo de comunicación sea este por Ethernet o cable Serial, en este caso para la programación del prototipo se utilizó el puerto serial. Para mostrar los módulos que están conectado al PLC basta con seleccionar Identify.

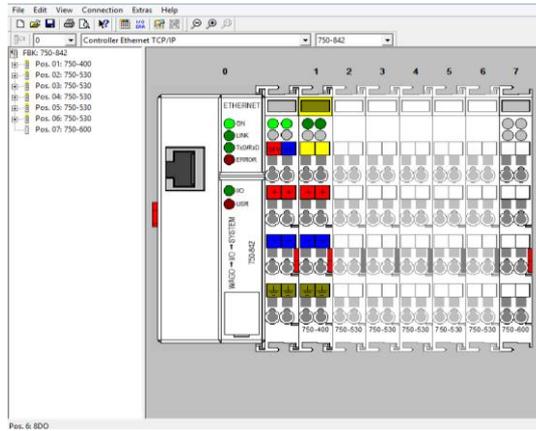


Figura 28.4: Reconocimiento de los módulos en Wago I/O Check.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Para empezar con la programación en CoDeSys se siguieron los siguientes pasos:

1. Se abrió CoDeSys 3.5 y dando click en la barra de menú de la configuración del sistema de destino, se escogió el PLC con el que se va trabajar. En este caso se seleccionó el WAGO 750-842 que es el PLC utilizado para implementar el prototipo como se muestra en la Figura 29.4.

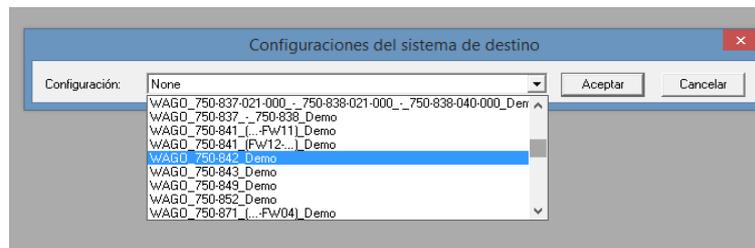


Figura 29.4: Selección del PLC.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

2. Una vez que se seleccionó el PLC, se procedió a escoger el lenguaje de programación. En este caso se escogió el lenguaje ladder por su facilidad de entendimiento. En la Figura 4.26 de muestra la selección del lenguaje.

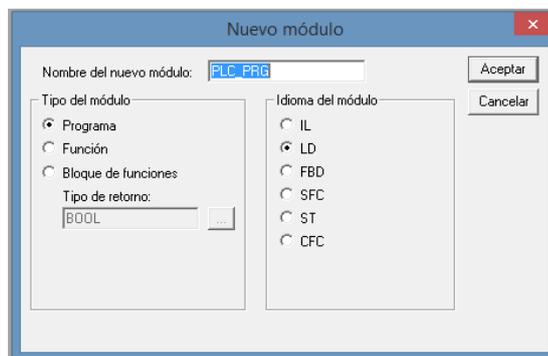


Figura 30.4: Selección del lenguaje de programación.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

3. En la barra de herramientas se encuentran todos los elementos necesarios para iniciar con la programación, como temporizadores, contactos, bobinas, bloque de funciones, entre otros (ver figura 31.4).

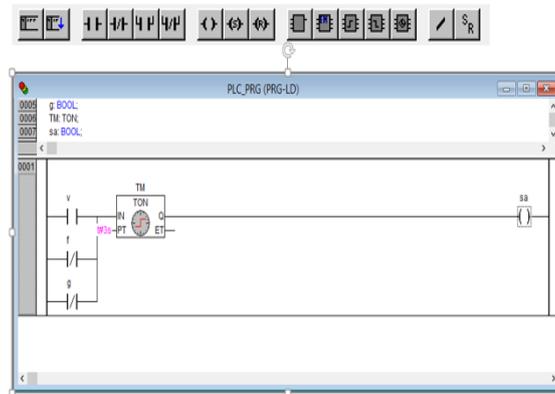


Figura 31.4: Elementos de la barra de herramientas.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Para obtener los módulos del PLC en el CoDeSys se siguen los siguientes pasos:

1. En la parte izquierda inferior se encuentran 4 pestañas que son de módulo, tipo de datos, visualización y recursos, se da click en la pestaña de recursos y aparece un lista en la que se escoge Configuración de mando como se muestra en la Figura 32.4.

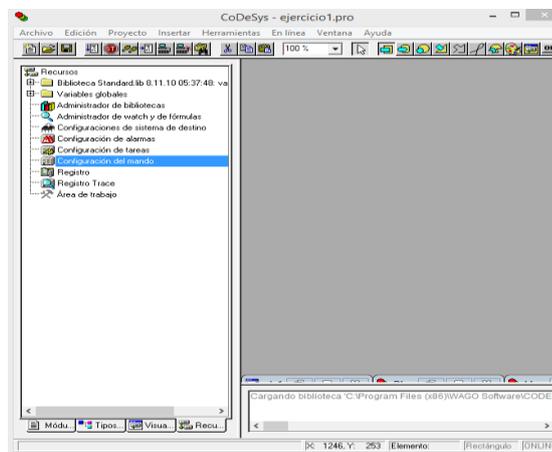


Figura 32.4: Configuración de mando.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

2. Se da doble click en Configuración de mando, aparece una ventana y se despliega en la opción Hardware Configuration, se selecciona K-Bus [FIX] dando click derecho y editar como se ve en la figura 33.4.

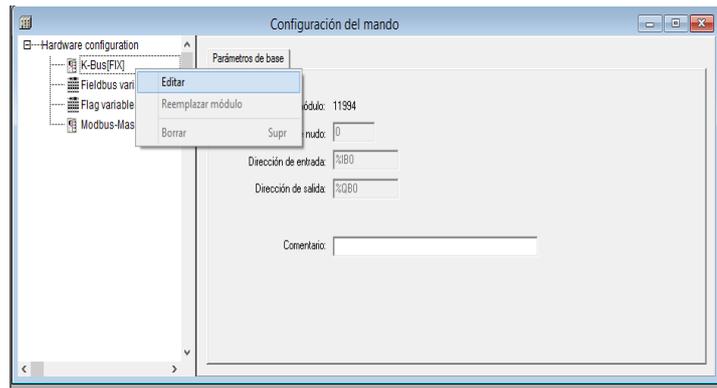


Figura 33.4: Hardware configuration.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

3. Se muestra una ventana de configuración de entradas y salidas del PLC al dar click en símbolo de más, permite seleccionar los módulos según la numeración que poseen. Para los módulos de entrada es el 750-400, módulos de salidas transistorizadas es el 750-530. El número de módulos que se tiene físicamente es igual al número de módulos virtuales. Ver figura 34.4.

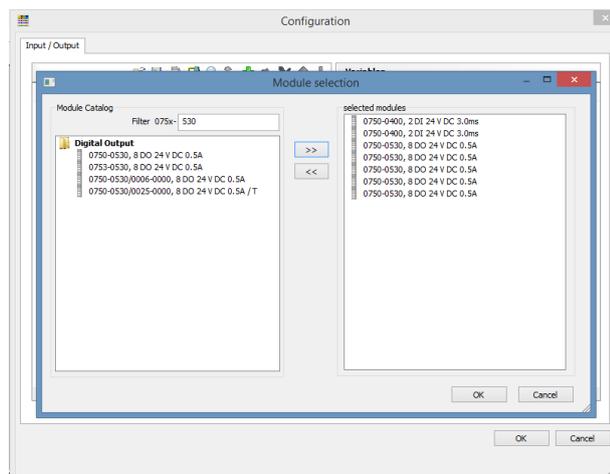


Figura 34.4: Módulos I/O

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4. Se da click en aceptar y en la ventana de configuración se muestra la dirección de las variables, es opcional escribir el nombre. Ver figura 35.4.

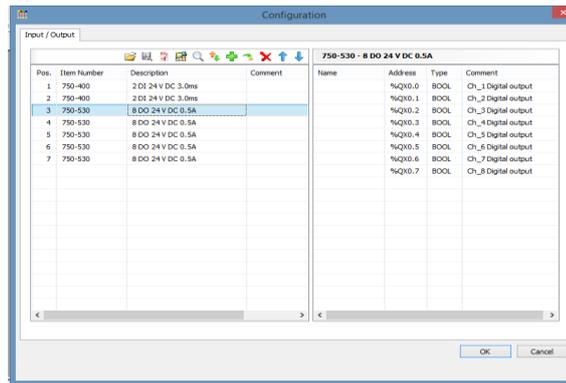


Figura 35.4: Dirección de las variables.
 Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.6 Diseño del interfaz hombre máquina

La Interfaz Hombre Máquina se desarrolló en el mismo software que se realizó la programación del PLC para el control de los motores según la trayectoria que se programó para que se mueva la cremallera. La finalidad del HMI es monitorear y visualizar los motores en movimiento que entran en funcionamiento así como la visualización del encendido y apagado de la electroválvula para el llenado de los envase. A continuación se muestra los pasos que se siguió para el diseño del HMI.

1. Una vez realizado la programación respectiva, las variables deben haber sido declaradas como variables globales. En la pestaña de visualización del software CoDeSys se da click derecho sobre la carpeta de visualizaciones y se selecciona la opción Insertar Objeto. Aparecerá una ventana en la cual se coloca el nombre de la interfaz y se accede al área de trabajo para el desarrollo del HMI como se muestra en la Figura 36.4.

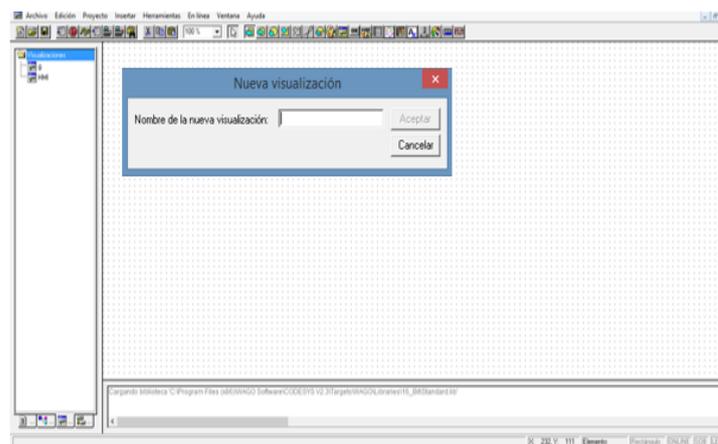


Figura 36.4: Área de trabajo para el HMI.
 Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017.

2. En la parte superior de CoDeSys donde se encuentra la barra de herramientas del programa se puede apreciar una variedad de objetos para el diseño como figuras geométrica, botones, tablas, barra de desplazamiento, instrumento de puntero, visualización por barras, histograma, entre otros. En el HMI se representó los motores con rectángulos a la electroválvula con un círculo, se colocó botones de inicio y paro del proceso como se muestra en la Figura 37.4.

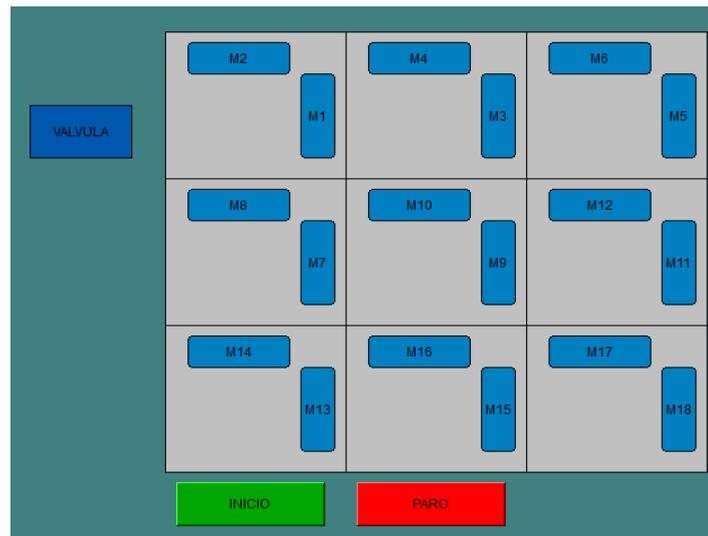


Figura 37.4: Diseño del HMI para el prototipo.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017.

3. Para la programación de los botones de inicio y paro se hace doble click en el botón abriendo una ventana de configuración del elemento botón en el mismo que presenta una lista de categorías que se pueden modificar y escoger, entre estas se puede encontrar el texto, la variables, las entradas, derecho de acceso, capacidad de programación entre otras como se puede apreciar la Figura 38.4.

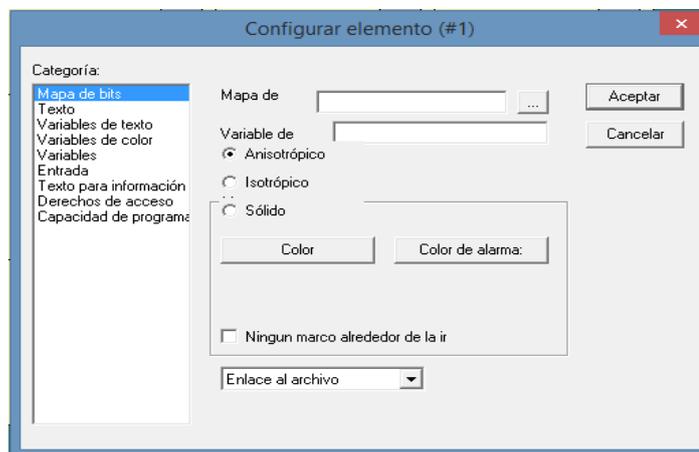


Figura 38.4: Configuración de los botones de inicio y paro.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017.

4. Para la configuración del botón se seleccionó la categoría Entrada y se marcó el cuadro que indica Palpar Variable, al marcar el cuadro cambia de color en el cual permite ingresar el nombre de la variable que se ha declarado en el programa como se muestra en la Figura 39.4.

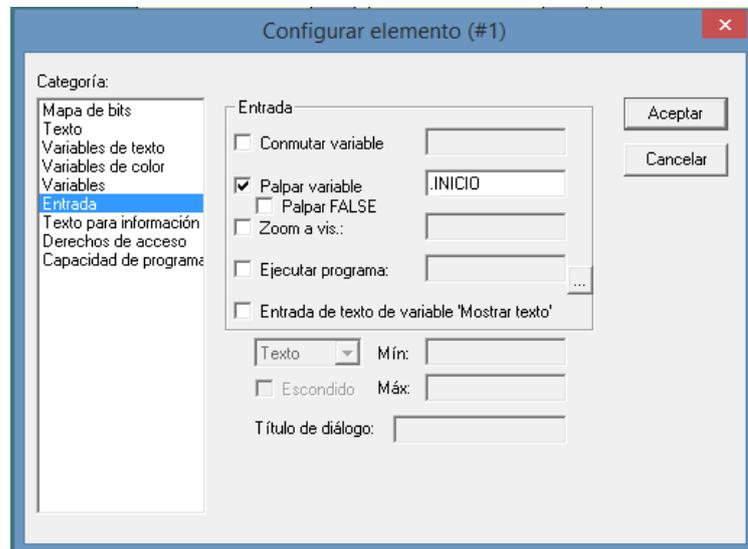


Figura 39.4: Programación de los botones.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017.

5. Para la programación de las figuras geométricas se hace doble click, abriendo una ventana de configuración del elemento en el cual se presenta una lista de categorías las mismas que se pueden modificar y escoger, entre estas se puede encontrar las más importante como la forma, el texto, la variables de texto, el color, variables de color entre otras como se puede apreciar la Figura 40.4.

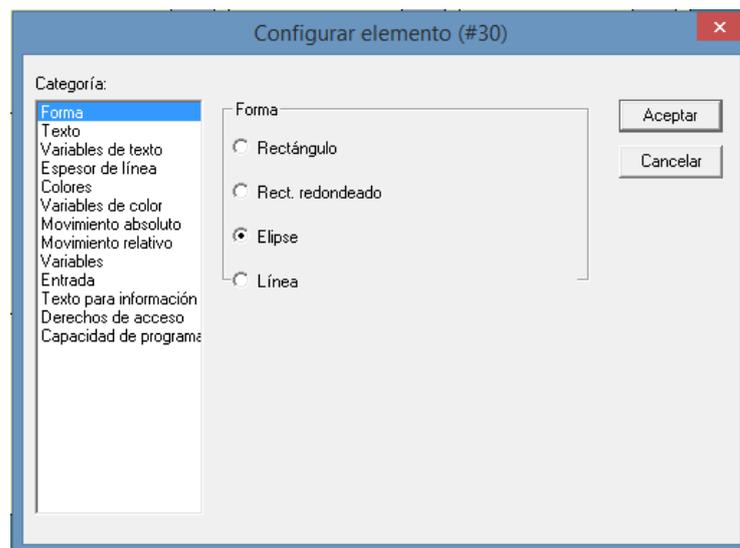


Figura 40.4: Programación de las figuras.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017.

6. Para la configuración del color de la figura se seleccionó la categoría Color en el cual permite escoger el color permitiendo de esta manera una visualización más clara en el momento que cambia de estado ON a un estado OFF como se muestra en la Figura 41.4.

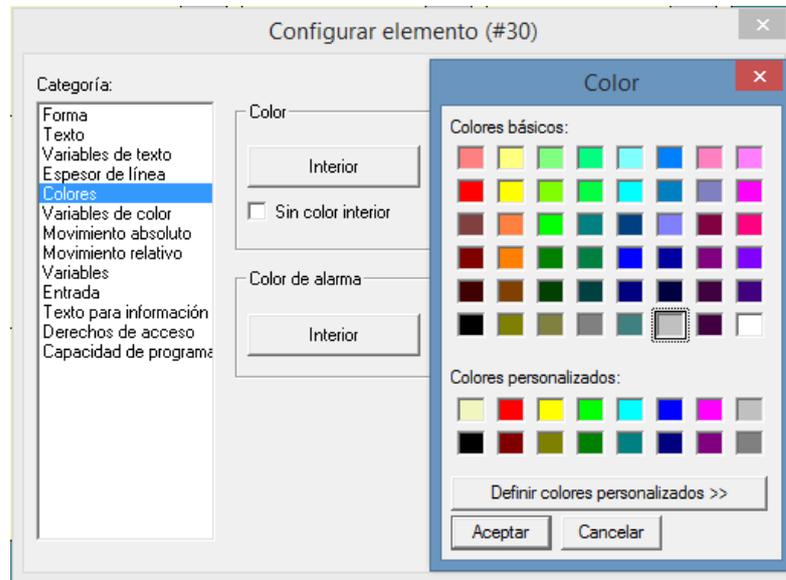


Figura 41.4: Configuración del color de las figuras.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017.

7. En la configuración de la figura se seleccionó la categoría Variable donde el cuadro cambia de color en el cual permite ingresar el nombre de la variable que se ha declarado en el programa como se muestra en la Figura 42.4

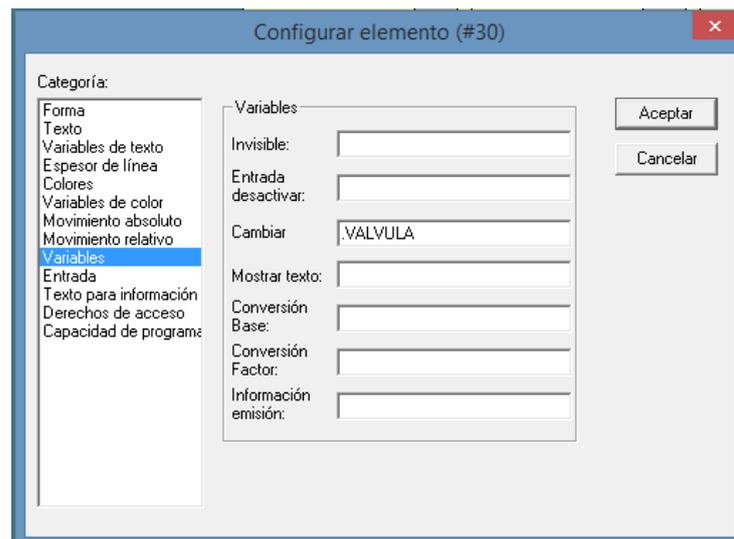


Figura 42.4: Configuración de la figura.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017.

4.7 Pruebas y resultados del prototipo

4.7.1 Pruebas de las dosificadoras para envases de 250ml

Se realizaron 10 pruebas con envases de 250ml para la verificación del porcentaje de error típico que se tiene en el llenado de cada uno de los envases, en un tiempo de llenado de 3.15s para los cuatro envases, en la tabla 2.4 se puede apreciar la variación del volumen de cada uno de los envases.

Tabla 2.4: Prueba de repetitividad.

| N° | Tiempo de llenado | Dosificador 1 ml | Dosificador 2 ml | Dosificador 3 ml | Dosificador 4 ml | Promedio ml |
|----|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
| 1 | 3,15 | 251 | 250 | 250 | 248 | 249,75 |
| 2 | 3,15 | 250 | 250 | 251 | 249 | 250,00 |
| 3 | 3,15 | 248 | 249 | 250 | 252 | 249,75 |
| 4 | 3,15 | 250 | 251 | 250 | 248 | 249,75 |
| 5 | 3,15 | 249 | 251 | 251 | 249 | 250,00 |
| 6 | 3,15 | 249 | 250 | 251 | 250 | 250,00 |
| 7 | 3,15 | 250 | 249 | 249 | 251 | 249,75 |
| 8 | 3,15 | 251 | 248 | 248 | 252 | 249,75 |
| 9 | 3,15 | 251 | 249 | 248 | 250 | 249,50 |
| 10 | 3,15 | 251 | 249 | 252 | 250 | 250,50 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Con la ayuda de una hoja de cálculo de Excel 2013 se realizó el análisis estadístico descriptivo para los cuatro envases con los datos obtenidos anteriormente como lo muestra la tabla 2.4.

Tabla 3.4: Estadística descriptiva del promedio de dosificadores.

| ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA | |
|---------------------------|---------|
| Media | 249,875 |
| Error típico | 0,085 |
| Mediana | 249,75 |
| Moda | 249,75 |
| Desviación estándar | 0,270 |
| Varianza de la muestra | 0,072 |
| Curtosis | 2,816 |
| Coefficiente de asimetría | 1,322 |
| Rango | 1 |
| Mínimo | 249,5 |
| Máximo | 250,5 |
| Suma | 2498,75 |
| Cuenta | 10 |

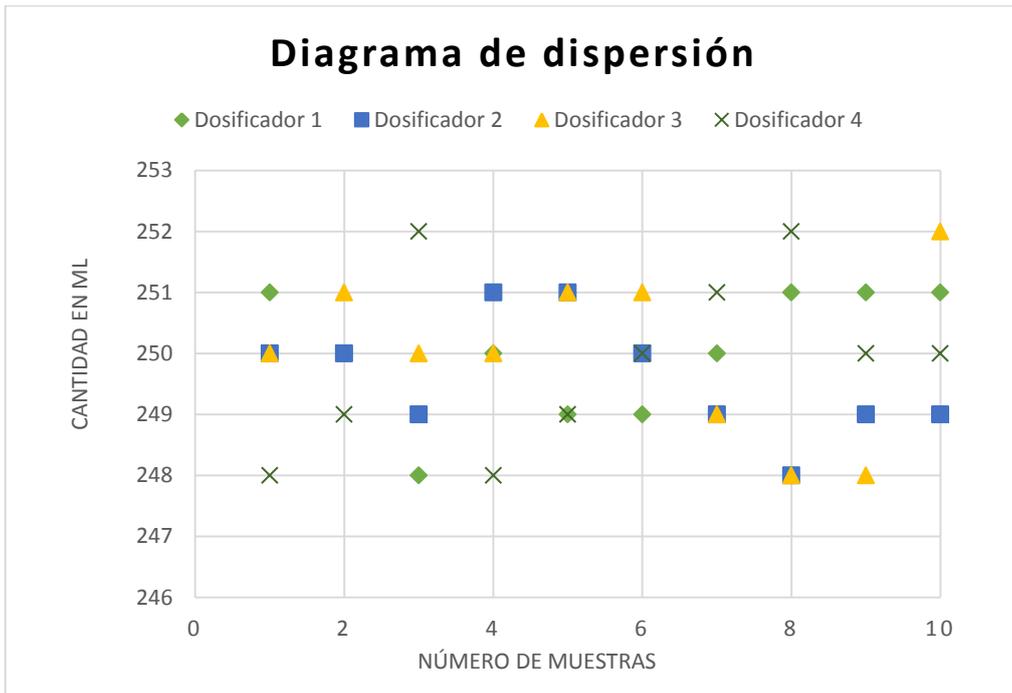


Gráfico 1.4: Diagrama de dispersión de los dosificadores.

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

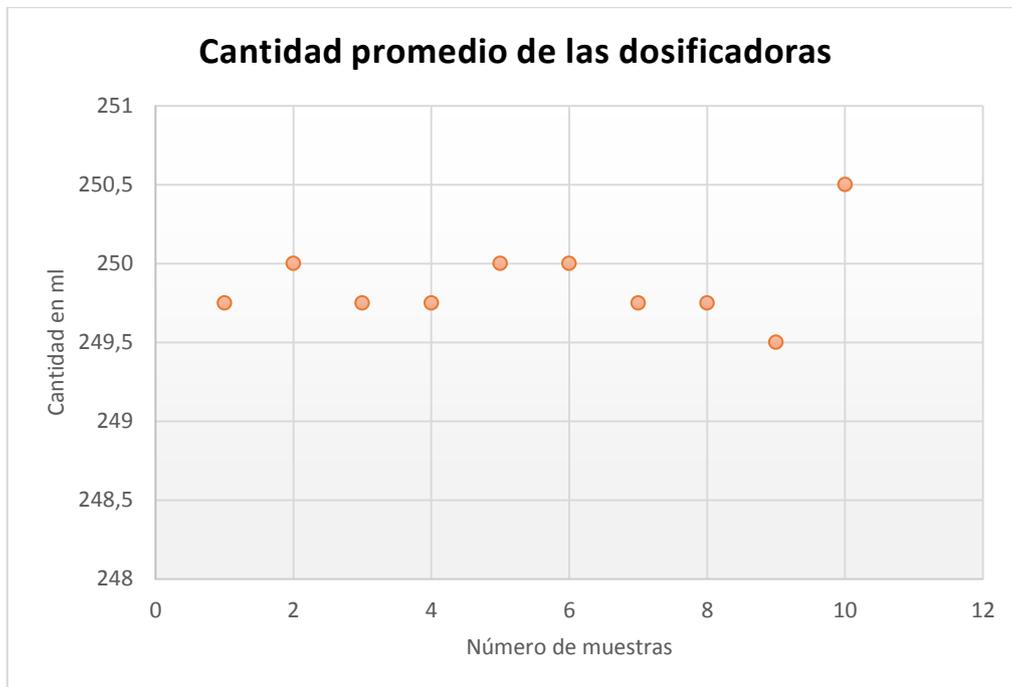


Gráfico 2.4: Cantidad promedio de las dosificadoras

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.7.2 Pruebas de flexibilidad

Para probar la flexibilidad que tiene el transporte por cremallera, se programó dos trayectorias con sus respectivos HMI para observar que los motores que intervienen en estas trayectorias se enciendan.

A. Trayectoria en L

Se programó el PLC de manera que la jaba con envases ingrese por una esquina de la mesa y siga una trayectoria en L, hasta la otra esquina para ello primero se encendieron los motores número 17, 12 y 6 como se muestra en las Figura 43.4.

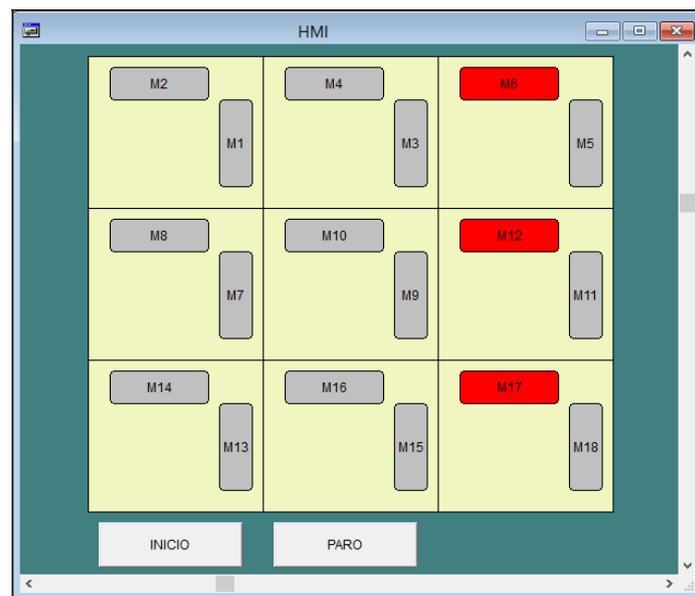


Figura 43.4: Encendido de los motores número 17, 12 y 6.
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017.

Para continuar con la trayectoria se encendió los motores número 5, 3, 1, como se muestra en la Figura 43.4 para obtener una trayectoria en L invertida.

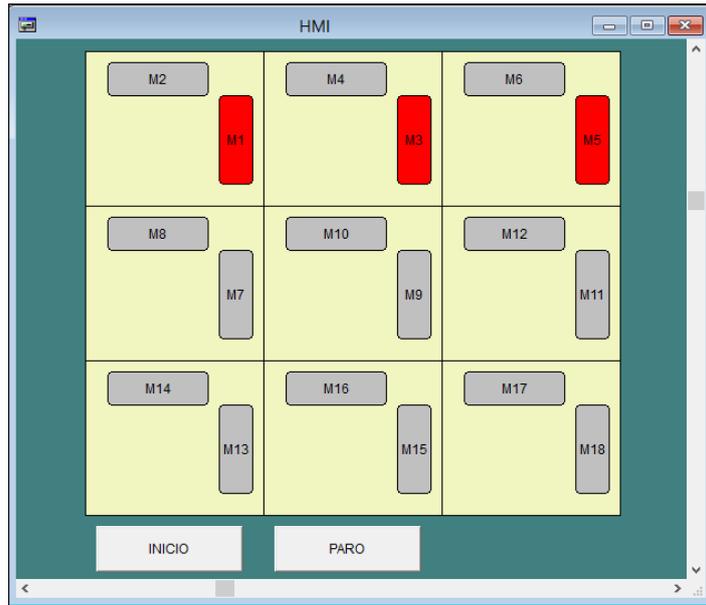


Figura 44.4: Encendido de los motores número 5,3, y 1
 Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017.

B. Trayectoria en diagonal

Se realizó también una trayectoria en diagonal como prueba de flexibilidad que presenta el transporte por cremallera, para ello se encendieron los motores número 18, 15, 16, 9, 7, 10, 8, 1, y 2 como se muestra en la Figura 45.4.

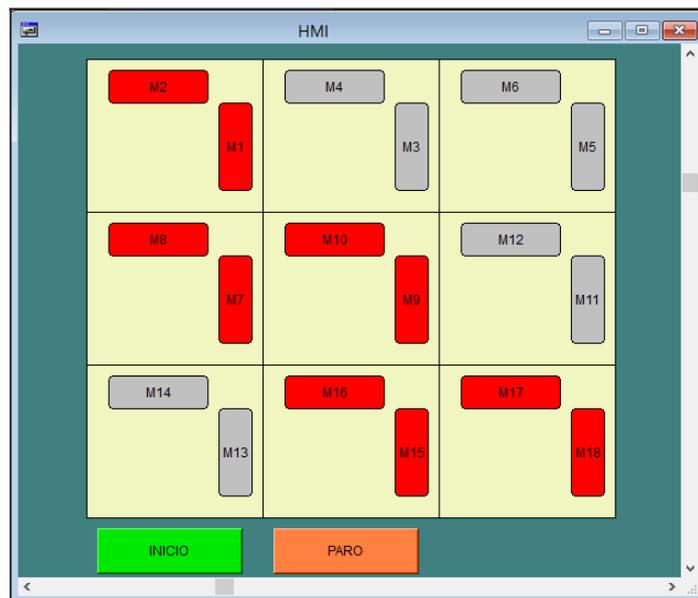


Figura 45.4: Trayectoria en diagonal.
 Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017.

4.7.3 Pruebas de repetitividad del prototipo

Se realizaron varias pruebas para las dos trayectorias diseñadas como se vio en el punto anterior, las mismas que permiten transportar los envases hacia las dosificadoras, para ello se trabajó a tres velocidades diferentes, las mismas que varían el tiempo que se demora en llegar la jaba con envases al punto de llenado. Es decir que, a menor velocidad mayor tiempo.

Cabe recalcar que el tiempo que se demora en dosificar a los cuatro envases de 250ml es de 3.15 segundos, tiempo que no varía en ninguna de las trayectorias. Se tomaron cinco datos en cada prueba que se realizó, los mismos que se presentan a continuación con su respectiva estadística descriptiva.

- **Pruebas con la trayectoria en L**

A. *Velocidad de 10 RPM*

Tabla 4.4: Datos de la trayectoria en L a 10(rpm).

| TRAYECTORIA EN L 10 RPM | | |
|------------------------------------|----------|--------------|
| Tiempo 1 | Tiempo 2 | Tiempo total |
| 42,96 | 3,15 | 46,11 |
| 42,98 | 3,15 | 46,13 |
| 42,98 | 3,15 | 46,13 |
| 43,00 | 3,15 | 46,15 |
| 43,00 | 3,15 | 46,15 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Tabla 5.4: Resultados estadísticos de la trayectoria en L a 10(rpm).

| ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA | |
|--------------------------------|--------|
| Media | 46,134 |
| Error típico | 0,0074 |
| Mediana | 46,132 |
| Moda | 46,132 |
| Desviación estándar | 0,0167 |

| | |
|----------------------------------|---------|
| Varianza de la muestra | 0,0003 |
| Curtosis | -0,6122 |
| Coefficiente de asimetría | -0,5122 |
| Rango | 0,0400 |
| Mínimo | 46,110 |
| Máximo | 46,150 |
| Suma | 230,67 |
| Cuenta | 5 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

B. *Velocidad de 15 RPM*

Tabla 6.4: Datos de la trayectoria en L a 15(rpm).

| TRAYECTORIA EN L 15 RPM | | |
|------------------------------------|---------|--------------|
| Tiempo1 | Tiempo2 | Tiempo total |
| 32,48 | 3,15 | 35,63 |
| 32,49 | 3,15 | 35,64 |
| 32,48 | 3,15 | 35,63 |
| 32,51 | 3,15 | 35,66 |
| 32,50 | 3,15 | 35,65 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Tabla 7.4: Resultados estadísticos de la trayectoria en L a 15(rpm).

| ESTADISTICA DESCRIPTIVA | |
|----------------------------------|---------|
| Media | 35,642 |
| Error típico | 0,0058 |
| Mediana | 35,640 |
| Moda | 35,630 |
| Desviación estándar | 0,0130 |
| Varianza de la muestra | 0,0002 |
| Curtosis | -1,4878 |
| Coefficiente de asimetría | 0,5413 |
| Rango | 0,0300 |
| Mínimo | 35,630 |
| Máximo | 35,660 |
| Suma | 178,21 |
| Cuenta | 5 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

C. Velocidad de 20RPM

Tabla 8.4: Datos de la trayectoria en L a 20(rpm).

| TRAYETORIA EN L 20 RPM | | |
|-----------------------------------|---------|--------------|
| Tiempo1 | Tiempo2 | Tiempo total |
| 21,48 | 3,15 | 24,63 |
| 21,49 | 3,15 | 24,64 |
| 21,49 | 3,15 | 24,64 |
| 21,51 | 3,15 | 24,66 |
| 21,50 | 3,15 | 24,65 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Tabla 9.4: Resultados estadísticos de la trayectoria en L a 20(rpm).

| ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA | |
|----------------------------------|----------|
| Media | 24,6440 |
| Error típico | 0,0050 |
| Mediana | 24,6400 |
| Moda | 24,6400 |
| Desviación estándar | 0,0114 |
| Varianza de la muestra | 0,0001 |
| Curtosis | -0,1775 |
| Coefficiente de asimetría | 0,4047 |
| Rango | 0,0300 |
| Mínimo | 24,6300 |
| Máximo | 24,6600 |
| Suma | 123,2200 |
| Cuenta | 5 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

- Pruebas con la trayectoria en diagonal

A. Velocidad de 10 RPM

Tabla 10.4: Datos de la trayectoria diagonal a 10(rpm).

| TRAYECTORIA EN DIAGONAL 10 RPM | | |
|---|---------|--------------|
| Tiempo1 | Tiempo2 | Tiempo total |
| 53,96 | 3,15 | 57,11 |
| 53,98 | 3,15 | 57,13 |
| 54,04 | 3,15 | 57,19 |
| 53,96 | 3,15 | 57,11 |
| 54,02 | 3,15 | 57,17 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Tabla 11.4: Resultados estadísticos de la trayectoria diagonal a 10(rpm).

| ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA | |
|----------------------------------|-------------|
| Media | 57,142 |
| Error típico | 0,016248077 |
| Mediana | 57,13 |
| Moda | 57,11 |
| Desviación estándar | 0,036331804 |
| Varianza de la muestra | 0,00132 |
| Curtosis | -2,23140496 |
| Coefficiente de asimetría | 0,567163152 |
| Rango | 0,08 |
| Mínimo | 57,11 |
| Máximo | 57,19 |
| Suma | 285,71 |
| Cuenta | 5 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

B. Velocidad de 15 RPM

Tabla 12.4: Datos de la trayectoria diagonal a (15 rpm).

| TRAYECTORIA1 15 RPM | | |
|--------------------------------|---------|--------------|
| Tiempo1 | Tiempo2 | Tiempo total |
| 39,28 | 3,15 | 42,43 |
| 39,29 | 3,15 | 42,44 |
| 39,27 | 3,15 | 42,42 |
| 39,25 | 3,15 | 42,4 |
| 39,28 | 3,15 | 42,43 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Tabla 13.4: Resultados estadísticos de la trayectoria diagonal a 15(rpm).

| ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA | |
|----------------------------------|---------|
| Media | 42,424 |
| Error típico | 0,006 |
| Mediana | 42,430 |
| Moda | 42,430 |
| Desviación estándar | 0,015 |
| Varianza de la muestra | 0,0002 |
| Curtosis | 1,455 |
| Coefficiente de asimetría | -1,118 |
| Rango | 0,040 |
| Mínimo | 42,400 |
| Máximo | 42,440 |
| Suma | 212,120 |
| Cuenta | 5 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

C. Velocidad de 20 RPM

Tabla 14.4: Datos de la trayectoria diagonal a 20(rpm).

| TRAYECTORIA2 20 RPM | | |
|--------------------------------|---------|--------------|
| Tiempo1 | Tiempo2 | Tiempo total |
| 26,98 | 3,15 | 30,13 |
| 26,99 | 3,15 | 30,14 |
| 27,02 | 3,15 | 30,17 |
| 26,98 | 3,15 | 30,13 |
| 27,01 | 3,15 | 30,16 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Tabla 15.4: Resultados estadísticos de la trayectoria en diagonal a 20(rpm).

| ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA | |
|--------------------------------|--------|
| Media | 30,146 |
| Error típico | 0,008 |
| Mediana | 30,140 |
| Moda | 30,130 |
| Desviación estándar | 0,018 |
| Varianza de la muestra | 0,0003 |

| | |
|----------------------------------|---------|
| Curtosis | -2,231 |
| Coefficiente de asimetría | 0,567 |
| Rango | 0,040 |
| Mínimo | 30,130 |
| Máximo | 30,170 |
| Suma | 150,730 |
| Cuenta | 5 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

4.7.4 Pruebas Velocidad Vs Tiempo

Para realizar las pruebas de velocidad vs tiempo, se tomaron cada uno de los datos del tiempo tomados en las dos trayectorias con sus respectivas velocidades. Se realizó un promedio general de todos los datos antes expuestos para cada una de las trayectorias.

Dada que la información de las experiencias experimentales difiere sustancialmente al variar la velocidad de la cremallera en el prototipo diseñado, se procedió a investigar dicha variación, para lo cual se planteó un análisis de regresión, que de acuerdo al gráfico de la información se eligió la regresión exponencial para las dos trayectorias como se muestra a continuación.

A. Trayectoria en L

Tabla 16.4: Tiempo promedio de la trayectoria en L a tres velocidades

| Trayectoria en L | | |
|-------------------------|---------------------|-----------------|
| RPM | Suma de los tiempos | Tiempo Promedio |
| 10 | 230,69 | 46,138 |
| 15 | 178,21 | 35,642 |
| 20 | 123,22 | 24,644 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

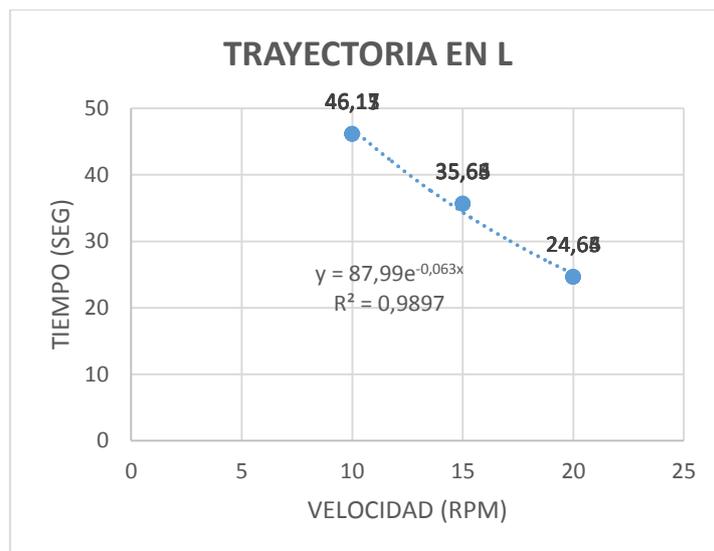


Gráfico 3.4: Regresión Exponencial de la trayectoria en L
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Después de realizar el análisis de regresión exponencial para la trayectoria en L se obtuvieron los siguientes resultados, como se muestra en la Tabla 17.4.

Tabla 17.4: Resultados de la regresión exponencial para la trayectoria en L

| Regresión exponencial para la trayectoria en L | |
|--|------------------------|
| Ecuación exponencial | $y = 87,99e^{-0,063x}$ |
| Coefficiente de correlación | 0,9948 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Cabe recalcar que la ecuación y el valor de la correlación como se observa en la Tabla 17.4 es aplicable únicamente para la trayectoria en L que realiza la cremallera.

B. Trayectoria diagonal

Tabla 18.4: Tiempo promedio de la trayectoria diagonal a tres velocidades

| Trayectoria Diagonal | | |
|----------------------|---------------------|-----------------|
| RPM | Suma de los tiempos | Tiempo Promedio |
| 20 | 150,73 | 30,146 |
| 10 | 285,71 | 57,142 |
| 15 | 212,12 | 42,424 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

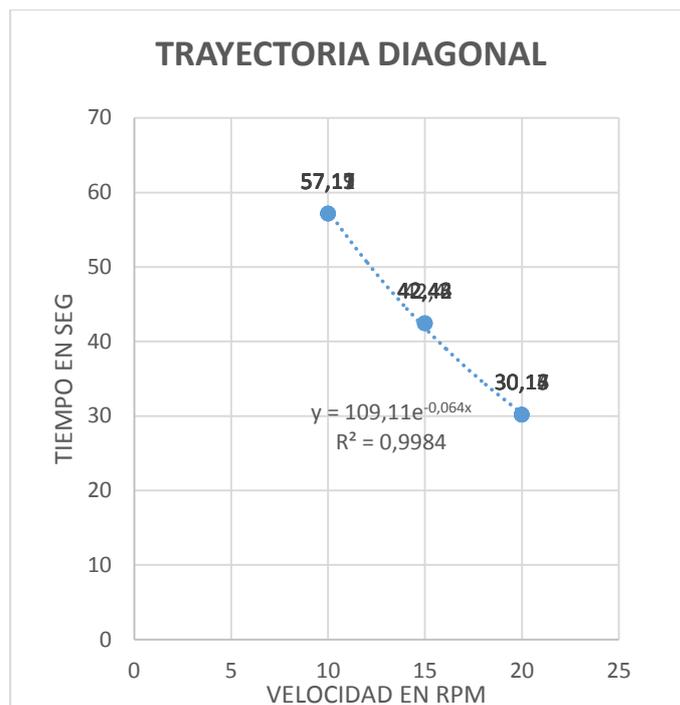


Gráfico 4.4: Regresión exponencial de la trayectoria diagonal
Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Después de realizar el análisis de regresión exponencial para la trayectoria en diagonal se obtuvieron los siguientes resultados, como se muestra en la Tabla 19.4.

Tabla 19.4: Resultados de la regresión exponencial para la trayectoria diagonal

| Regresión exponencial para la trayectoria diagonal | |
|--|-------------------------|
| Ecuación exponencial | $y = 109,11e^{-0,064x}$ |
| Coefficiente de correlación | 0,99919 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

Cabe recalcar que la ecuación y el valor de la correlación como se observa en la Tabla 19.4 es aplicable únicamente para la trayectoria diagonal que realiza la cremallera.

4.8 Análisis económico del prototipo

A continuación, se presenta el análisis económico de la implementación de un prototipo de llenado de jabs con envases basado en un transporte por cremallera, con elementos adquiridos en el Ecuador.

Tabla 20.4: Costos del prototipo.

| DESCRIPCION | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|------------------------|----------|-----------------|----------------|
| PLC | 1 | 250,00 | 250,00 |
| Modulos del PLC | 9 | 135,00 | 1215,00 |
| Fuente de 24V | 1 | 100,00 | 100,00 |
| Fuente de 12V | 1 | 15,00 | 15,00 |
| Motores | 18 | 10,00 | 180,00 |
| Engranajes | 18 | 28,00 | 504,00 |
| Rodamientos | 18 | 1,00 | 18,00 |
| Tol (media plancha) | 1 | 8,00 | 8,00 |
| Tornillos | | | 5,00 |
| Madera MDF (1 plancha) | 1 | 15,00 | 15,00 |
| Cremallera | 2 | 38,00 | 76,00 |
| PC | 1 | 300,00 | 300,00 |
| Arduino Mega | 2 | 15,00 | 30,00 |
| Transistores | 40 | 0,25 | 10,00 |
| Resistencias | 50 | 0,10 | 5,00 |
| Driver A4988 | 18 | 4,50 | 81,00 |
| Electroválvula | 1 | 15,00 | 15,00 |
| Bomba de agua | 1 | 40,00 | 40,00 |
| Válvula check | 1 | 8,00 | 8,00 |
| Tubos y codos | | | 10,00 |
| Tanque de agua | 1 | 6,00 | 6,00 |
| Envase | 8 | 0,80 | 6,40 |
| Mesa | 1 | 200,00 | 200,00 |
| Varios | | | 30,00 |
| TOTAL | | | 3127,40 |

Realizado por: Angélica León; Diana Aucapiña; 2017

CONCLUSIONES

- ❖ Se analizó las variables que interviene en prototipo de llenado de jabs con envases basado en un transporte por cremallera el cual trabaja a una velocidad máxima de 20 RPM, el tiempo de llenado se realizó en 3,15 segundos, el mismo que dosifica a cuatro envases de 250ml en el mismo instante.
- ❖ Para el diseño de los sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos, neumáticos, y de control fue de gran ayuda la utilización los softwares SolidWork, Autocad Electrical, Proteus, Fluidsim, CoDeSys respectivamente, para evitar posibles errores en la construcción.
- ❖ Mediante el correcto dimensionamiento de los componentes utilizados se pudo implementar de manera correcta los sistemas empleados para el prototipo de llenado de jabs con envases basado en un transporte por cremallera, gracias al Interfaz Hombre Máquina se puede visualizar el funcionamiento de los actuadores mientras realiza la trayectoria.
- ❖ El prototipo implementado logró la flexibilidad esperada. Además el error que se presenta en el tiempo de transporte de las jabs con envases hacia las dosificadoras es mínima. Con las pruebas que se realizó se comprobó que el tiempo de llenado para envases de 250ml es de 3.15 segundo para las dos trayectorias.
- ❖ El prototipo implementado es una nueva opción de transporte para aquellas industrias que se dedican al llenado de líquidos, puesto que la ventaja que tiene con respecto a los otros tipos de transporte es su flexibilidad, además que se ahorra el proceso de empaquetado puesto que los envases entran ya en jabs.

RECOMENDACIONES

- ❖ Al momento de diseñar se debe considerar los datos reales de los elementos los mismo que pueden ser obtenidos en su respectivo datasheet.
- ❖ No se debe colocar encima de la cremallera pesos que sobrepasen el valor del peso asignado del motor para evitar posibles daños en el controlador del motor y del mismo.
- ❖ La fabricación del circuito impreso para el control de los motores debe ser robusto, tomando en cuenta el dimensionamiento de las pistas y la soldadura para evitar el levantamiento por sobre-corriente.
- ❖ Se recomienda incorporar sensores láser, al transporte por cremallera para aumentar la eficiencia del movimiento.
- ❖ Se podría incorporar al prototipo en un futuro el proceso de tapado de los envases.

BIBLIOGRAFÍA

AB, Tetra Pak Processing Systems. Puleva envases. [En línea] 19 de 10 de 2007.
[Citado el: 11 de Febrero de 2017.]
http://www.pulevasalud.com/ps/subcategoria.jsp?ID_CATEGORIA=100383&RUTA=1-2-47-222-100379-100383.

AllNatural. Productos del agua AllNatural. [En línea] 2014.
[Citado el: 12 de Febrero de 2017.] <http://allnatural-resgasa.com/historia.html>.

ALTAMIRANO, Jorge. Mecanismos Engranajes y Tipos de Engranajes.[En línea]2011.
[Citado el: 13 de Febrero de 2017.]
https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahUKEwjrtat_U1__TAhXHOiYKHT4eDIAQFgg4MAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.u-cursos.cl%2Fingenieria%2F2009%2F1%2FME36A%2F1%2Fmaterial_docente%2Fbajar%3Fid_material%3D222834&usq=AFQjCNGSPLjZ4x_5OPz.

DIAZ, Javier. Engranajes de dientes rectos. [En línea] 14 de Marzo de 2012.
[Citado el: 12 de Enero de 2017.]
<http://tecnoblogueando.blogspot.com/2012/03/engranajes-de-dientes-rectos.html>.

ESCOBAR, Edwin. Tipos de servomotores. [En línea] 2008.
[Citado el: 29 de Diciembre de 2016.]
<http://dscs.webcindario.com/Servos/Tipos%20de%20Servomotores.pdf>.

Llenado de líquidos.[En línea] 2015.
[Citado el: 25 de Febrero de 2017.]
http://www.machinepoint.com/foodtechnologies/machinery.nsf/beverage_technology/llenado_de_liquidos.html.

MATHON, Yamila. Envases y embalajes. [En línea] 2012.
[Citado el: 11 de Febrero de 2017.]
<http://www.inti.gob.ar/atp/pdf/cuadernilloEnvasesyEmbalajes.pdf>

ORTIZ David y COLLAGUASO Miguel. Implementación de un prototipo de una llenadora automática de botellas en una banda transportadora. [En línea] (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Escuela de Ingeniería. Quito-Ecuador. 2005.
[Citado el: 5 de Marzo de 2017.]
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11667/1/T2382.pdf>.

PALACIO Bernardo y PIÑEIRO María. Tecnología mecánica y metrotecnica, Volumen 3. Universidad de Oviedo. 2001, pp, 122_145.

PAZMIÑO, Ramiro. Mecanismos. Engranajes. Tipos de engranajes. [En línea] 2009.
[Citado el: 19 de Abril de 2017.]
https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2009/1/ME36A/1/material_docente.

PINTO, Jesús. Mecanismos de Contacto Direco: Engranajes. Navarra : Universidad Pública de Navarra. [En línea] 2015.
[Citado el: 21 de Febrero de 2017.]
http://www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/asignaturas/tm/pdfdoc_th/apuntes/apuntes_tema7.pdf.

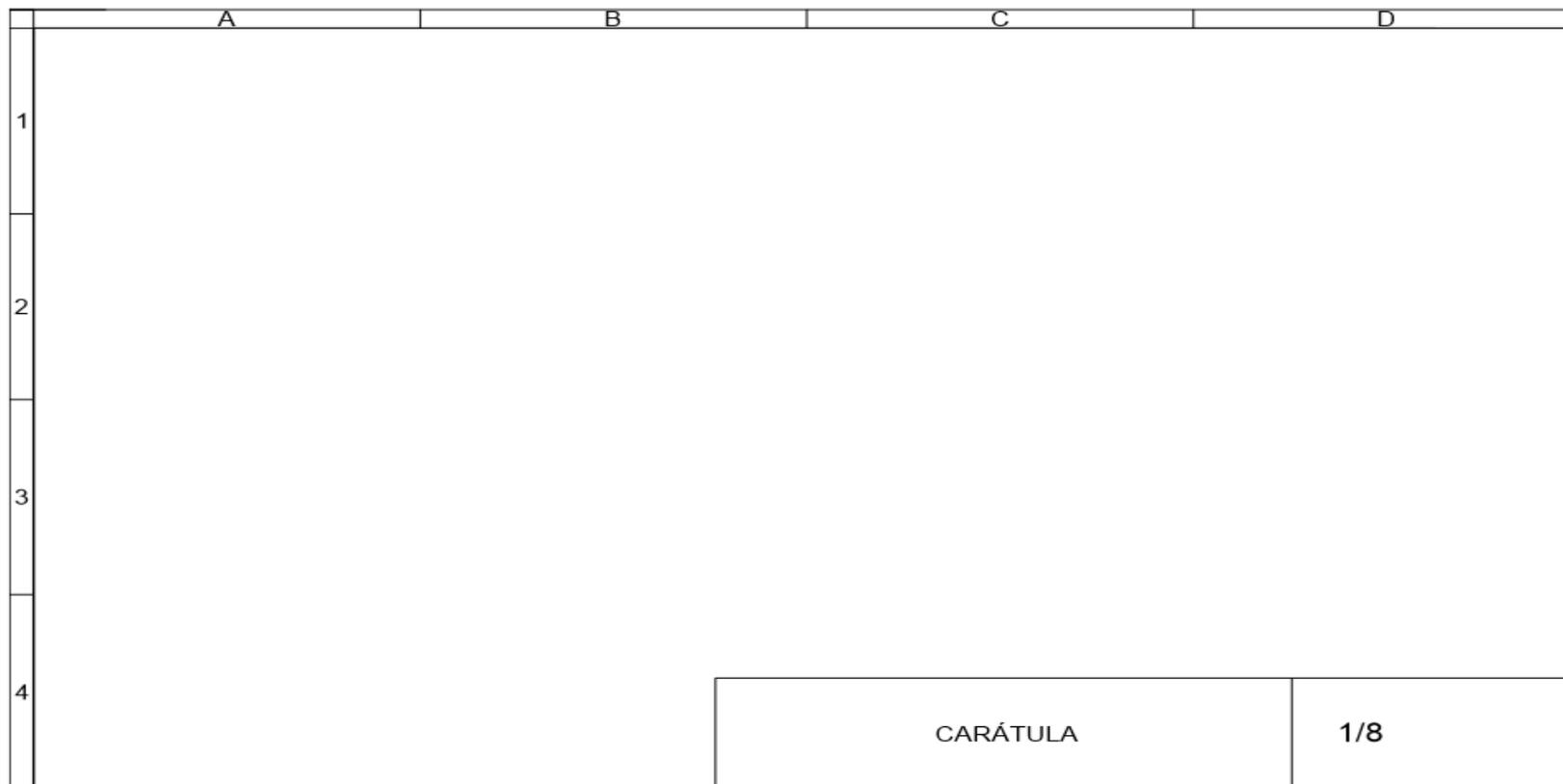
PRIETO, David. Procesos de manufactura2. Envasado de jugos y bebidas. [En línea] 19 de 04 de 2011.
[Citado el: 28 de Mayo de 2017.]
http://procesosdemanzanera2.blogspot.com/2011/04/ensado-de-jugos-y-bebidas_19.html.

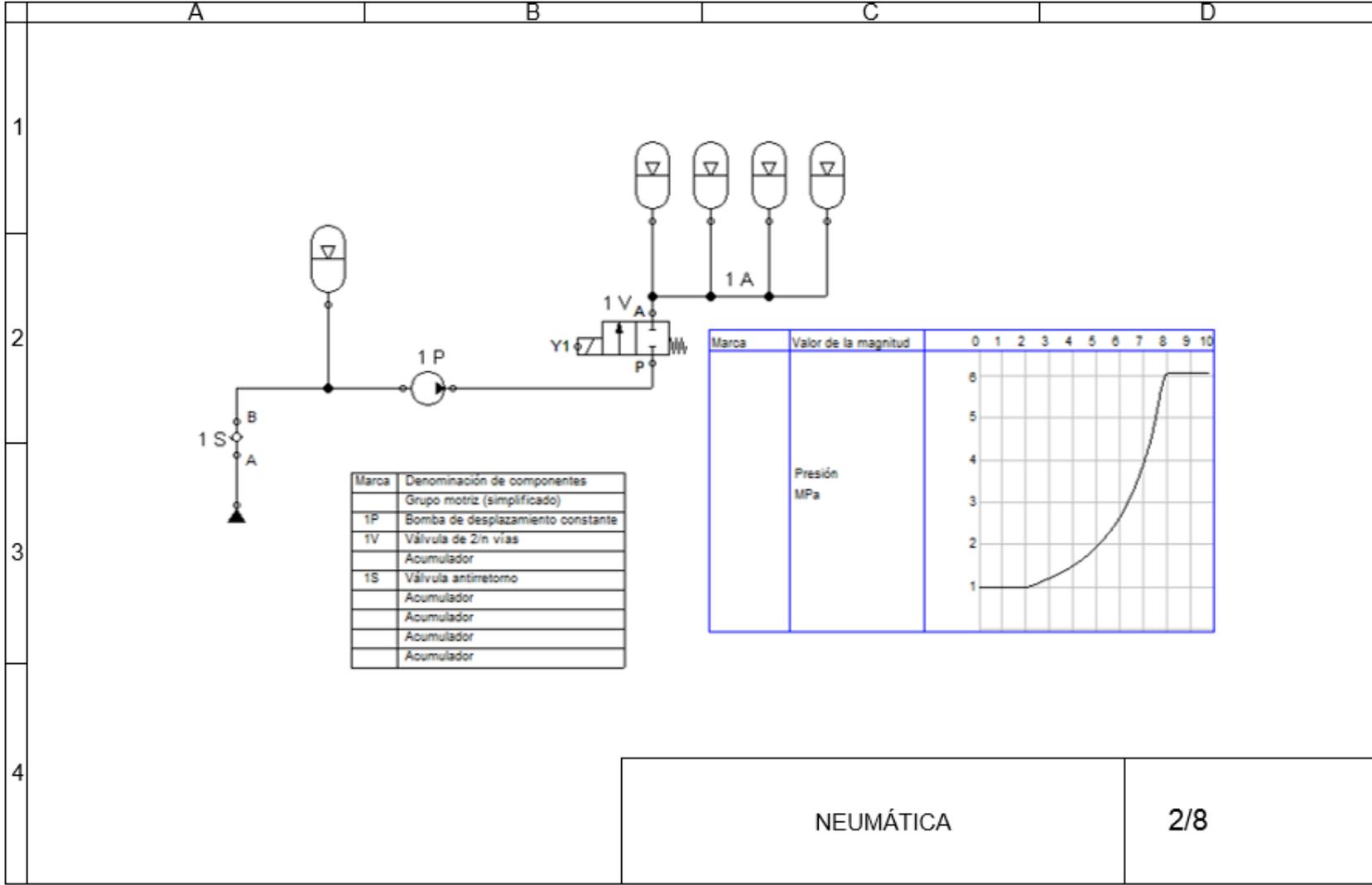
SARZOSA, Pablo. Estudio de un sistema de dosificación de líquidos aplicable en el laboratorio de sistemas de medición y control industrial para controlar el proceso de llenado de botellas.[En línea] 2013. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería. Ambato-Ecuador.
[Citado el: 27 de Enero de 2017.]
<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6509/1/Tesis%20I.%20M.%20192%20-%20Sarzosa%20Viera%20Pablo%20Ernesto.pdf>.

Servoaccionamientos control del eje. [En línea] 20 de 08 de 2007. [Citado el: 3 de Mayo de 2017.] <http://www.etitudela.com/celula/downloads/servoaccionamientos.pdf>.

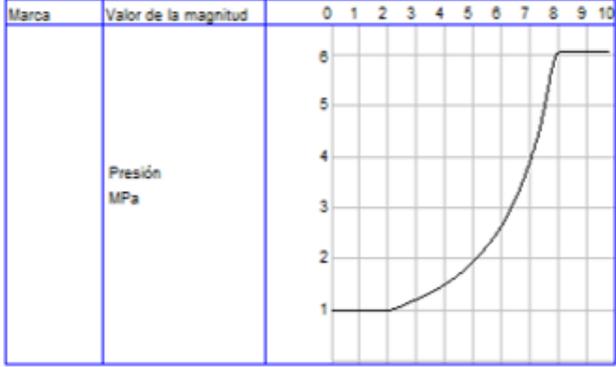
ANEXOS

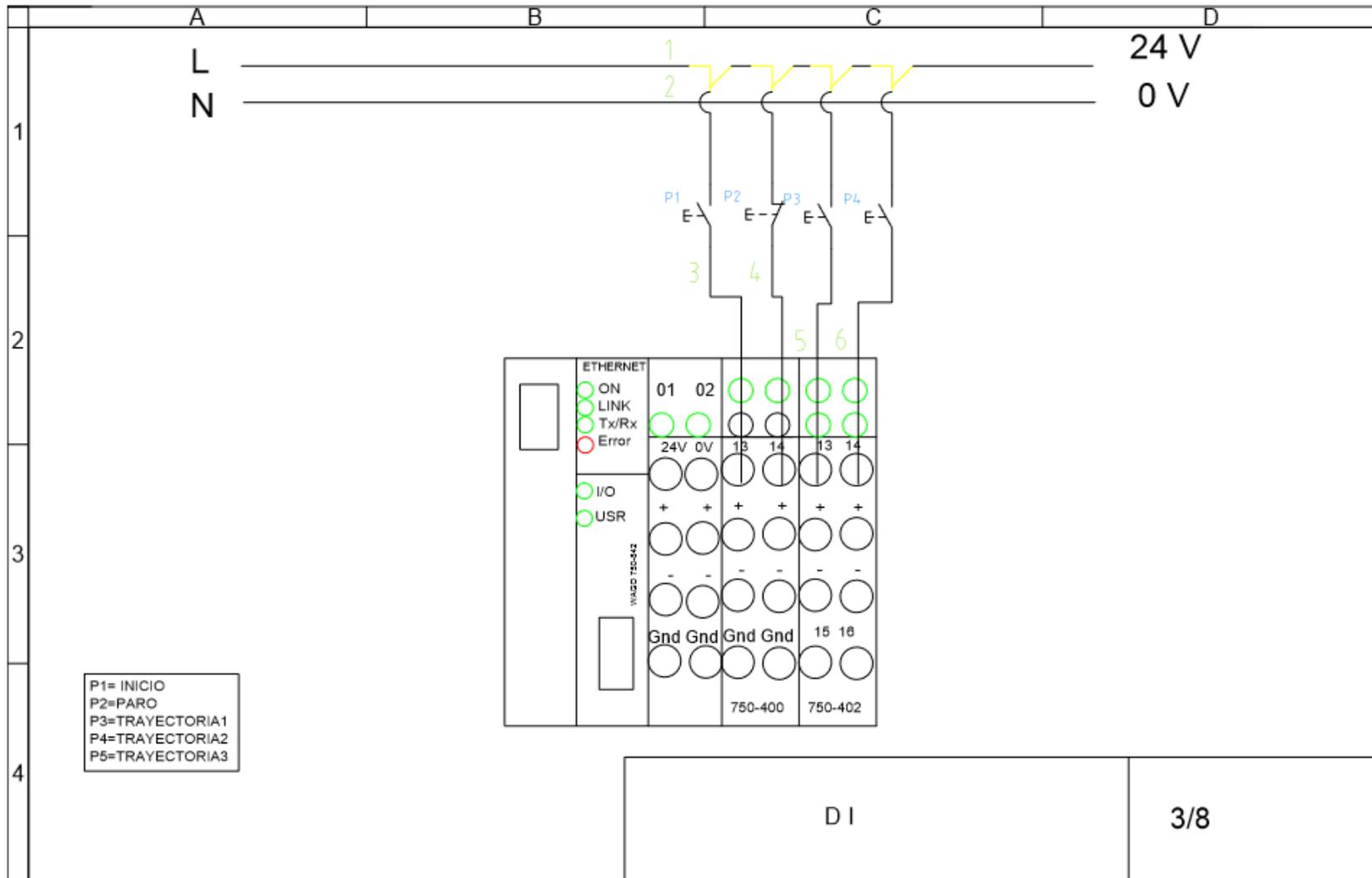
Anexo A: Planimetría del prototipo

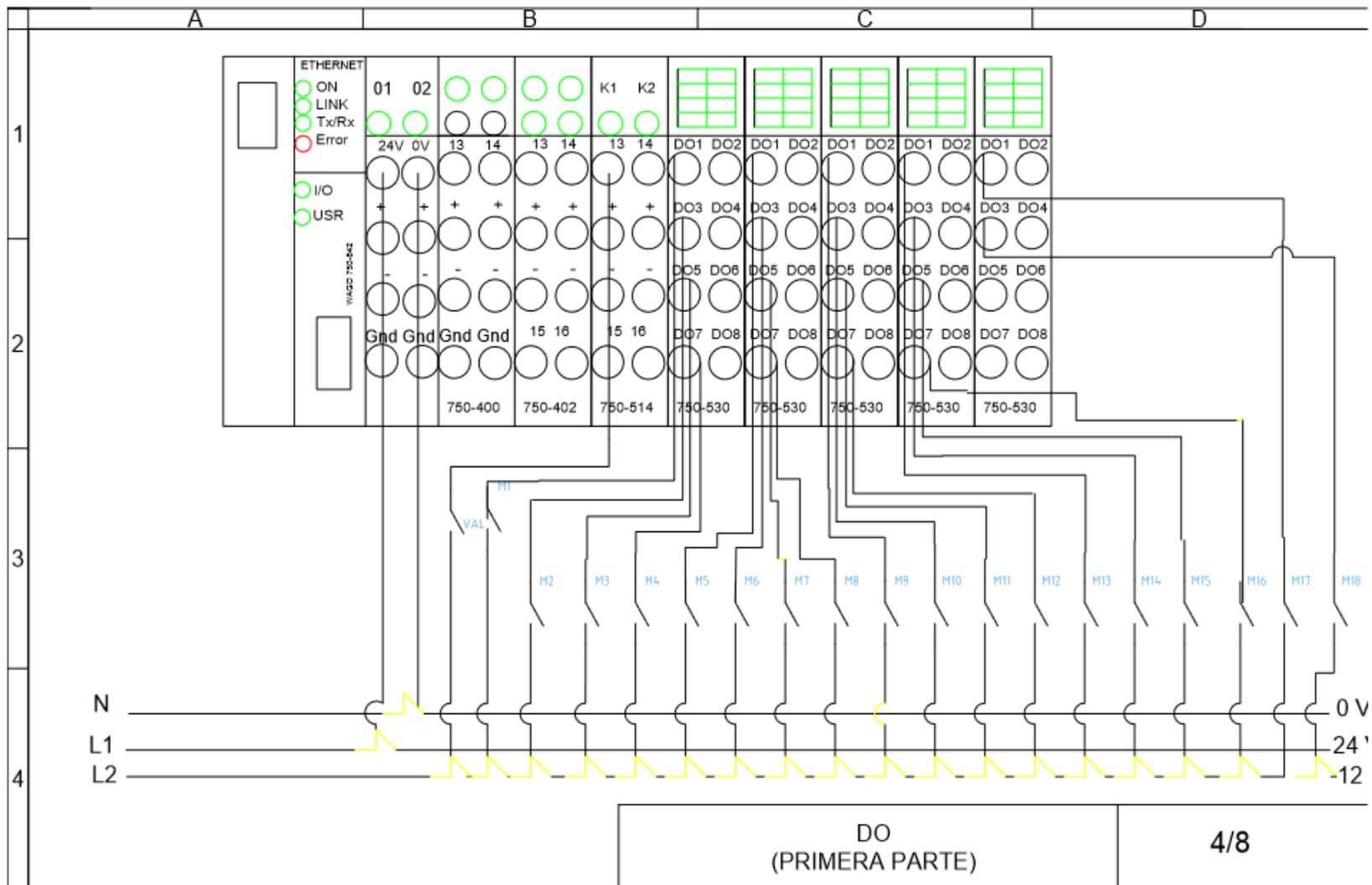


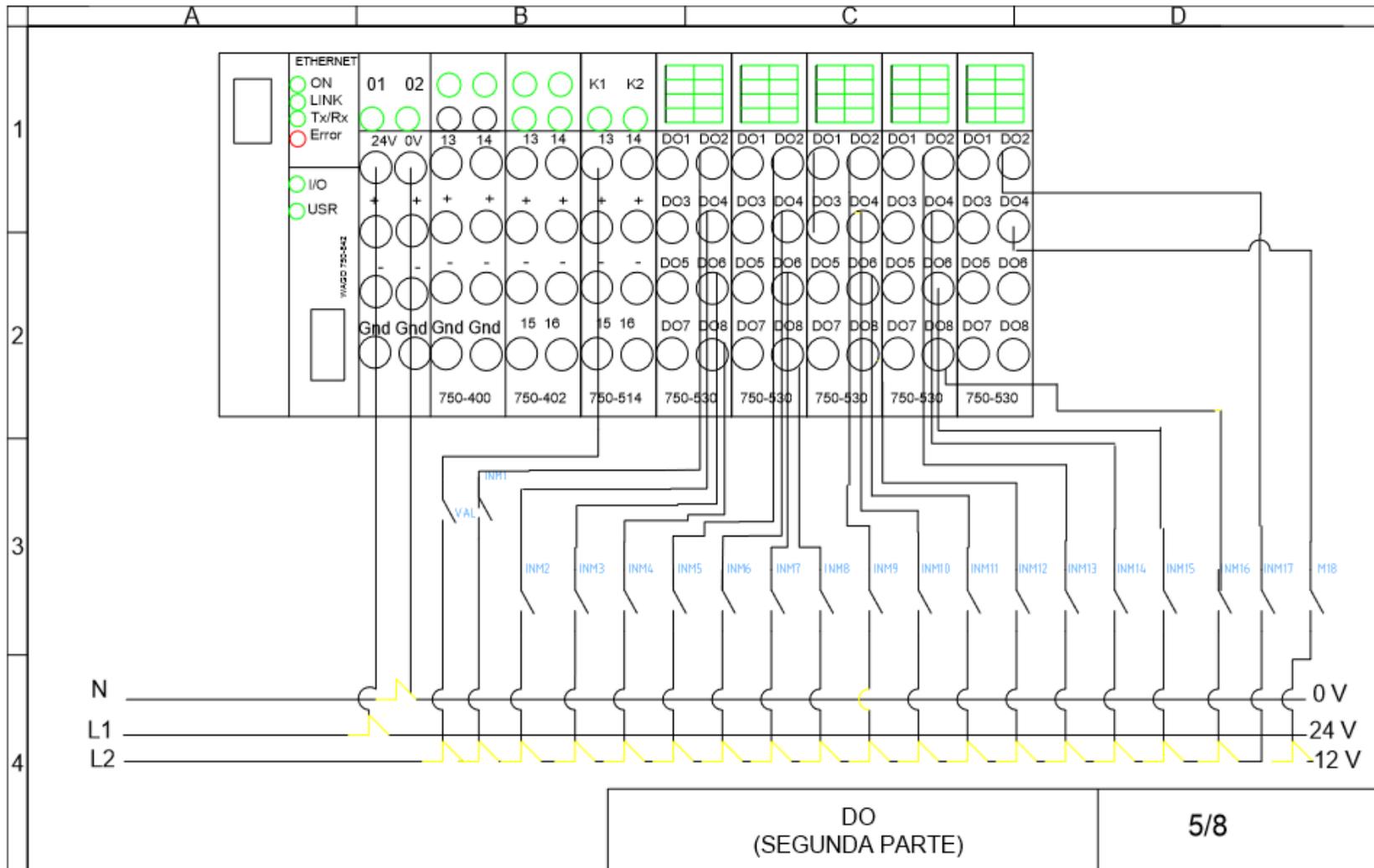


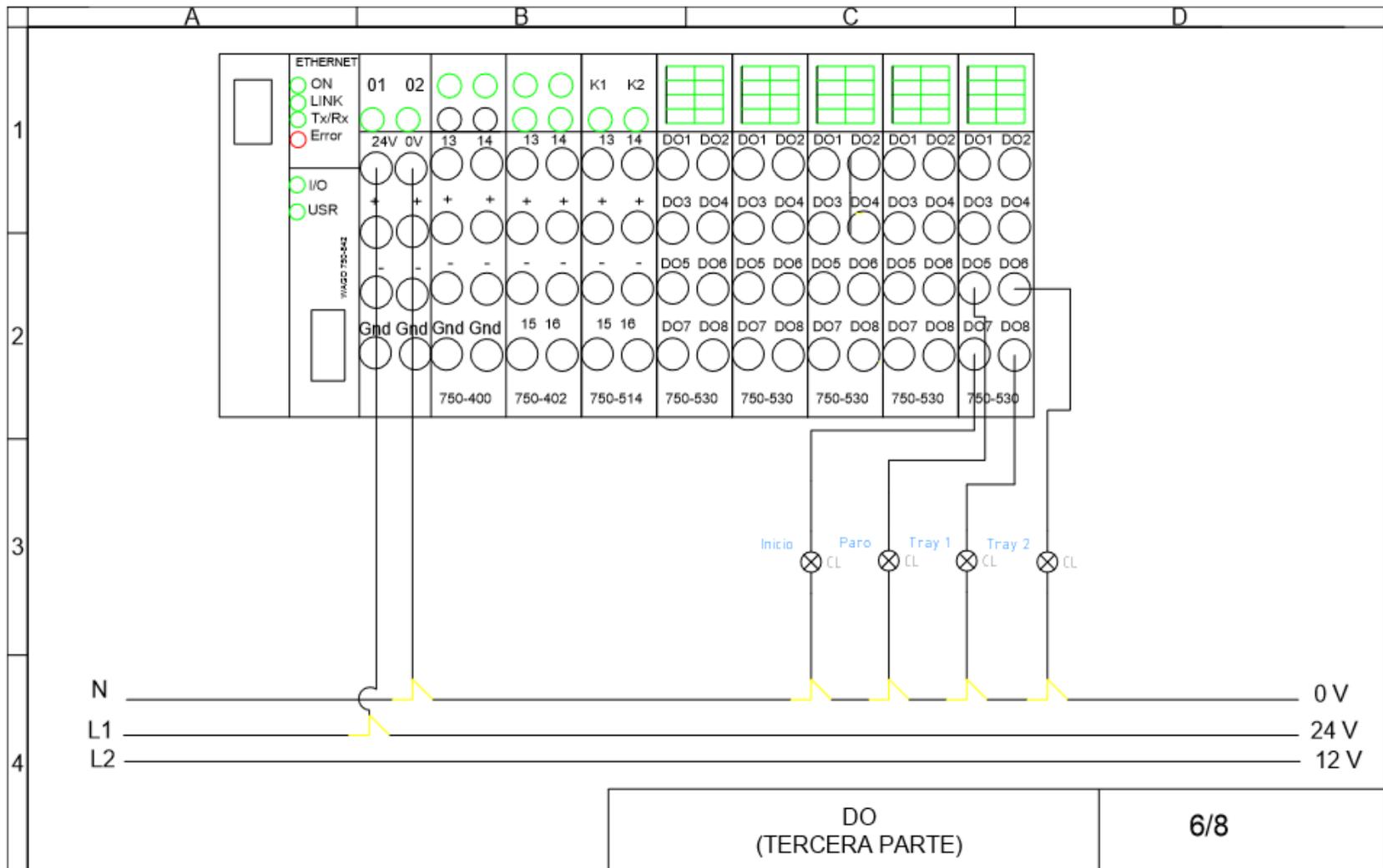
| Marca | Denominación de componentes |
|-------|-----------------------------------|
| | Grupo motriz (simplificado) |
| 1P | Bomba de desplazamiento constante |
| 1V | Válvula de 2/n vías |
| | Acumulador |
| 1S | Válvula antirretomo |
| | Acumulador |
| | Acumulador |
| | Acumulador |
| | Acumulador |

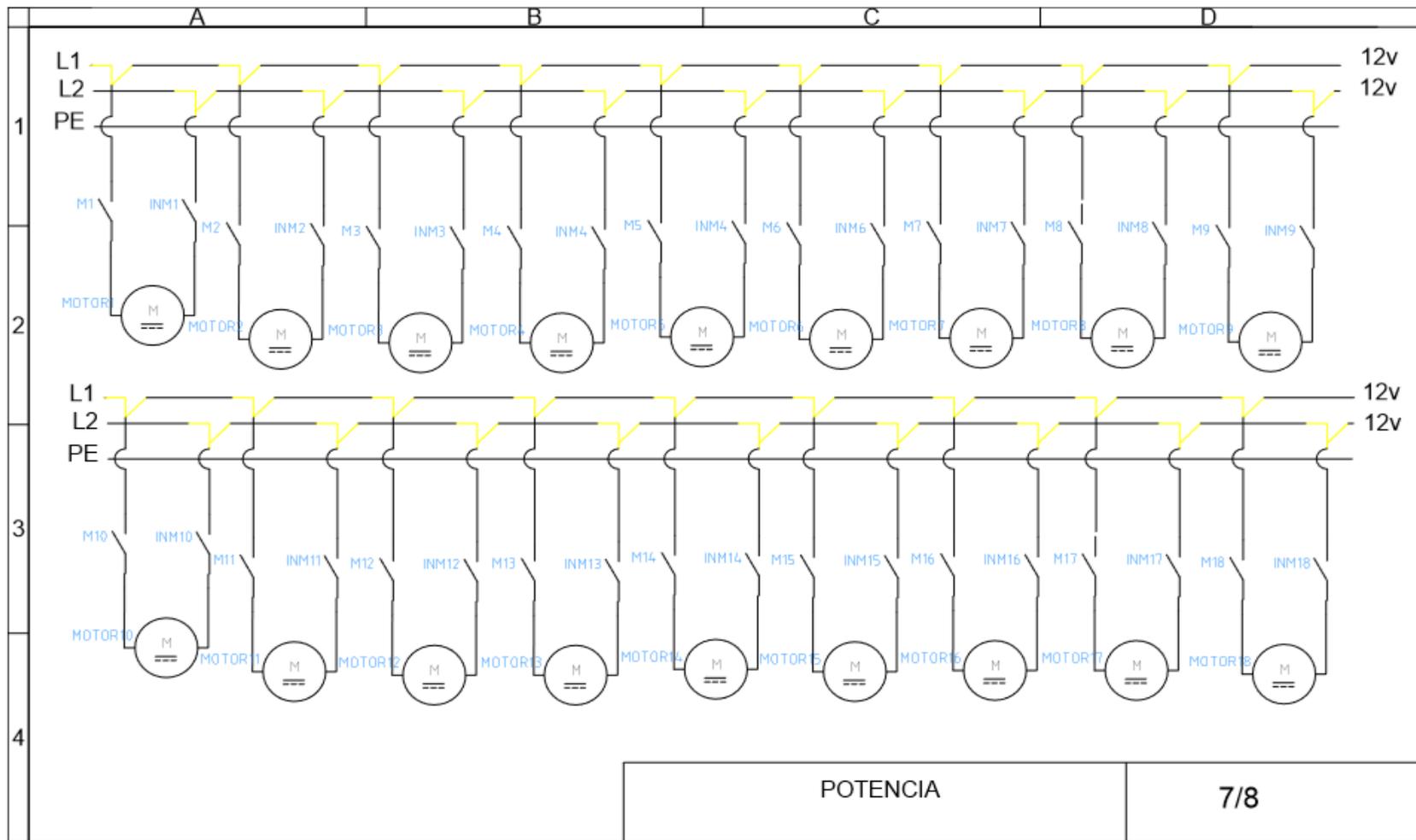


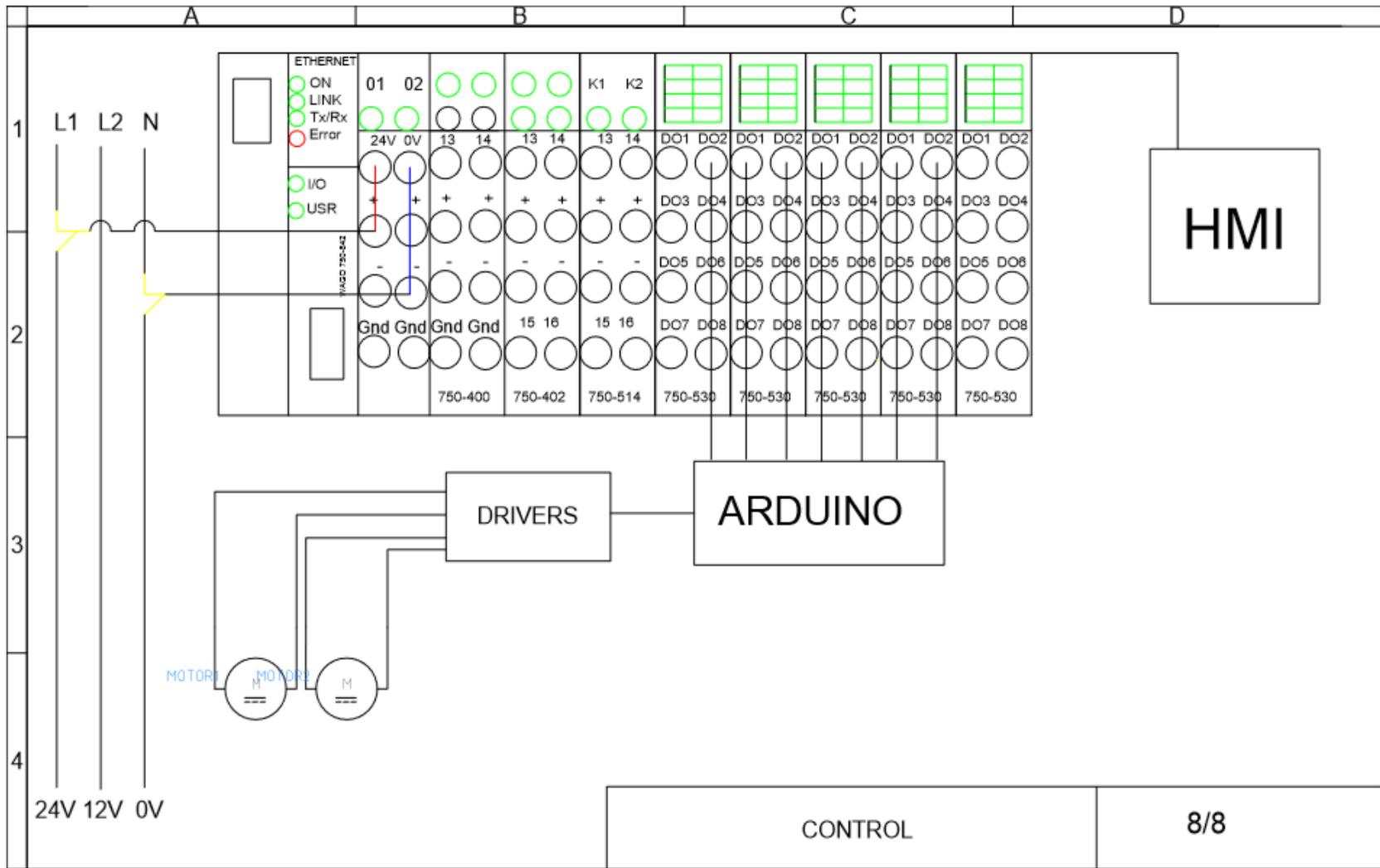












Anexo B: Manual de usuario

MANUAL DE USUARIO

1.1 Manual de funcionamiento

El prototipo de llenado de jabs con envases está constituido por un sistema de transporte por cremallera, el cual es el encargado de trasladar las jabs con cuatro envases previamente colocadas en el mismo según la trayectoria que se le dé, bajo los cuatro dosificadores. Después de ser llenado los envases la cremallera seguirá su trayectoria hasta que este llegue a su fin.

El sistema de transporte por cremallera está formado por 18 motores paso a paso, formando 9 módulos con dos motores y sus respectivos engranes. En la mesa se ubican los nueve módulos de forma de una matriz de 3x3.

El sistema de llenado está compuesto por una electroválvula ON/OFF, una bomba de agua, una válvula check, y cuatro dosificadores. Cuando se inicia el proceso de llenado la bomba de agua siempre estará prendida, mediante la señal que se le mande del PLC a la electroválvula esta se abrirá permitiendo el paso del agua hacia los dosificadores y posteriormente a los envases.

1.2 Calibración mecánica

Para poner en funcionamiento el prototipo se debe verificar ciertas condiciones mecánicas.

1. Se debe verificar que todos los motores estén funcionando correctamente, para ello se debe enviar un pulso a cada una de las salidas transistorizadas del PLC para verificar el movimiento de cada uno.
2. Al ser un transporte flexible (movimiento vertical, horizontal y diagonal), se debe posicionar el parante de aluminio que está sujetando a los dosificadores en el lugar que se requiera.
3. Verificar que los cuatro envases estén bien ubicados para no tener problemas al momento de su transporte.

4. Antes de encender la bomba verificar que el tanque de agua este lo suficiente mente lleno para evitar posibles daños de la bomba.
5. Verificar que la bomba esté lista para empezar el llenado, de no ser así se debe realizar el cebado de la misma.
6. Verificar que la válvula check esté conectada al tanque de agua.
7. La electroválvula únicamente se abrirá cuando el PLC hay enviado una señal a la salida por relé.
8. Se debe alimentar a los circuitos electrónicos de control y fuerza. En este caso el circuito de control que corresponde al PLC se deberá conectar a 110 V, la fuente de 24 V, y para el circuito de fuerza que corresponde a los 18 motores se debe conectar la fuente de 12V.
9. Verificar que el PLC este encendido.
10. Verificar que el sistema de ventilación de la placa electrónica esté funcionando correctamente, esto permitirá que los controladores (Driver A4988) de los motores paso a paso no se sobrecalienten.

1.3 Funcionamiento del HMI

Para poner en marcha el HMI basta con tener el programa de las trayectorias en la computadora para empezar su monitoreo. El HMI cuenta con dos botones, 18 figuras que representan a los motores tal cual como como se muestra en la parte física, además se tiene una figura que representa la electroválvula la cual cambiará de color cuando esta se abra o se cierre.

Botón inicio: Basta con dar click en este botón para que inicie el proceso de llenado de javas con envases basado en un transporte por cremallera.

Botón paro: Dar click en este botón en el caso de que exista un problema o avería en el prototipo y se requiera parar el proceso de llenado.

NOTA: El prototipo a más de tener la parte automática, también tiene una parte manual. La cual consta de un botón de inicio y uno de paro con sus respectivas luces pilotos, situadas en la parte frontal de la mesa. Estos botones se deberá accionar en el caso de que se quiera hacer pruebas manuales o no se disponga de una computadora para hacer el monitoreo desde el HMI.

1.4 Mantenimiento preventivo

Es el servicio periódico que se le debe dar al equipo, para verificar los parámetros eléctricos, electrónicos y mecánicos, cuyos componentes son esenciales para el buen funcionamiento del prototipo.

Para ello se debe tomar en consideración los siguientes puntos.

1. Hacer un chequeo antes y después de trabajar con el equipo la electroválvula, y los cuatro dosificadores, puesto que estos deben estar bien balanceados para obtener un llenado uniforme en los cuatro envases.
2. Verificar que todos los motores con sus respectivos engranes estén perfectamente alineados, de no ser así verificar que el engrane este bien acoplado al eje del motor y el rodamiento este trabajando perfectamente.
3. Verificar el estado de los cables y las conexiones hacia el PLC, además de los componentes que forman las placas electrónicas.
4. Verificar que todos los dientes de la cremallera estén en perfecto estado.
5. No debe existir fugas de agua en la tubería y en las uniones de los dosificadores.
6. Realizar una limpieza de los engranes y la cremallera tantas veces como se crea necesario.
7. Limpiar las impurezas de las placas electrónicas.
8. Realizar el cebado de la bomba cuando esta no haya sido prendida por mucho tiempo.

1.5 Mantenimiento correctivo

Este mantenimiento se o debe realizar cuando se da una anomalía no planificada en la ejecución del proceso de llenado. Los problemas y las soluciones que se les puede dar son las siguientes.

El PLC no se enciende

Si se alimentado la fuente de 24V del PLC y este no enciende, se debe verificar que los cables que alimentan al mismo estén conectados, pueda que se dé el caso que los cables que alimentan al PLC estén desconectados o necesitan ser cambiados.

La bomba de agua no succiona

Si la bomba de agua no succiona se debe realizar el cebado de la misma, para sacar el aire que se encuentra y evita que la bomba funcione correctamente.

La electroválvula no enciende

Verificar la conexión de la electroválvula al módulo de salida por relé, pueda que este se haya desconectado.

Algún motor no gira

Verificar la conexión a los módulos de salida transistorizadas hacia la placa electrónica si el problema persiste, puede ser que al Driver A4988 designado al motor se haya quemado, para lo cual basta con medir continuidad en los pines de VDD y GND para verificar si hay que cambiarlo o no.

Anexo C: Software del Arduino Mega 2560

```
const int A1_dir = 11;
```

```
const int A1_step = 12;
```

```
const int A2_dir = 9;
```

```
const int A2_step = 10;
```

```
const int A3_dir = 7;
```

```
const int A3_step = 8;
```

```
const int A4_dir = 5;
```

```
const int A4_step = 6;
```

```
const int A5_dir = 3;
```

```
const int A5_step = 4;
```

```
const int A6_dir = 14;
```

```
const int A6_step = 2;  
const int A7_dir = 16;  
const int A7_step = 15;  
const int A8_dir = 18;  
const int A8_step = 17;  
const int A9_dir = 20;  
const int A9_step = 19;
```

```
const int I1_der=A1;  
const int I1_izq=A0;  
const int I2_der=A2;  
const int I2_izq=A3;  
const int I3_der=A4;  
const int I3_izq=A5;  
const int I4_der=A6;  
const int I4_izq=A7;  
const int I5_der=A8;  
const int I5_izq=A9;  
const int I6_der=A10;  
const int I6_izq=A11;  
const int I7_der=A12;  
const int I7_izq=A13;  
const int I8_der=A14;  
const int I8_izq=A15;  
const int I9_der=53;  
const int I9_izq=51;
```

```
int stepDelay=350;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  pinMode(A1_dir, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A1_step, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A2_dir, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A2_step, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A3_dir, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A3_step, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A4_dir, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A4_step, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A5_dir, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A5_step, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A6_dir, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A6_step, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A7_dir, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A7_step, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A8_dir, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A8_step, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A9_dir, OUTPUT);
```

```
  pinMode(A9_step, OUTPUT);
```

```
  pinMode(I1_der, INPUT);
```

```
  pinMode(I1_izq, INPUT);
```

```
pinMode(I2_der, INPUT);
pinMode(I2_izq, INPUT);
pinMode(I3_der, INPUT);
pinMode(I3_izq, INPUT);
pinMode(I4_der, INPUT);
pinMode(I4_izq, INPUT);
pinMode(I5_der, INPUT);
pinMode(I5_izq, INPUT);
pinMode(I6_der, INPUT);
pinMode(I6_izq, INPUT);
pinMode(I7_der, INPUT);
pinMode(I7_izq, INPUT);
pinMode(I8_der, INPUT);
pinMode(I8_izq, INPUT);
pinMode(I9_der, INPUT);
pinMode(I9_izq, INPUT);

Serial.begin(115200);
Serial.println("INICIANDO.....");

}

void loop()
{

motor_XD(I1_der, I1_izq, A1_dir ,A1_step );
```

```

motor_XD(I2_der, I2_izq, A2_dir ,A2_step );
motor_XD(I3_der, I3_izq, A3_dir ,A3_step );
motor_XD(I4_der, I4_izq, A4_dir ,A4_step );
motor_XD(I5_der, I5_izq, A5_dir ,A5_step );
motor_XD(I6_der, I6_izq, A6_dir ,A6_step );
motor_XD(I7_der, I7_izq, A7_dir ,A7_step );
motor_XD(I8_der, I8_izq, A8_dir ,A8_step );
motor_XD(I9_der, I9_izq, A9_dir ,A9+
+4+_step );
}

```

```

void motor_XD (int pinder, int pinizq, int dir ,int st )
{
  if(digitalRead(pinder)==1 && digitalRead(pinizq)==0)
  {
    digitalWrite(dir, HIGH);
    digitalWrite(st, HIGH);
    delayMicroseconds(stepDelay);
    digitalWrite(st, LOW);
    delayMicroseconds(stepDelay);
  }

  if(digitalRead(pinder)==0 && digitalRead(pinizq)==1)
  {
    digitalWrite(dir, LOW);
    digitalWrite(st, HIGH);

```

```
    delayMicroseconds(stepDelay);  
  
    digitalWrite(st, LOW);  
  
    delayMicroseconds(stepDelay);  
  
    }  
  
    }
```

Anexo D: Software del Codesys

VAR_GLOBAL

```
    INICIO AT %IX0.0: BOOL;  
  
    PARO AT %IX0.1: BOOL;  
  
  
    MOTOR1 AT %QX0.0: BOOL;  
  
    MOTOR2 AT %QX0.2: BOOL;  
  
    MOTOR3 AT %QX0.4: BOOL;  
  
    MOTOR4 AT %QX0.6: BOOL;  
  
    MOTOR5 AT %QX0.8: BOOL;  
  
    MOTOR6 AT %QX0.10: BOOL;  
  
    MOTOR7 AT %QX0.12: BOOL;  
  
    MOTOR8 AT %QX0.14: BOOL;  
  
    MOTOR9 AT %QX1.0: BOOL;  
  
    MOTOR10 AT %QX1.2: BOOL;  
  
    MOTOR11 AT %QX1.4: BOOL;  
  
    MOTOR12 AT %QX1.6: BOOL;  
  
    MOTOR13 AT %QX1.8: BOOL;  
  
    MOTOR14 AT %QX1.10: BOOL;
```

MOTOR15 AT %QX1.12: BOOL;

MOTOR16 AT %QX1.14: BOOL;

MOTOR17 AT %QX2.1: BOOL;

MOTOR18 AT %QX2.2: BOOL;

INMOTOR1 AT %QX0.1: BOOL;

INMOTOR2 AT %QX0.3: BOOL;

INMOTOR3 AT %QX0.4: BOOL;

INMOTOR4 AT %QX0.7: BOOL;

INMOTOR5 AT %QX0.9: BOOL;

INMOTOR6 AT %QX0.11: BOOL;

INMOTOR7 AT %QX0.13: BOOL;

INMOTOR8 AT %QX0.15: BOOL;

INMOTOR9 AT %QX1.1: BOOL;

INMOTOR10 AT %QX1.3: BOOL;

INMOTOR11 AT %QX1.4: BOOL;

INMOTOR12 AT %QX1.7: BOOL;

INMOTOR13 AT %QX1.8: BOOL;

INMOTOR14 AT %QX1.11: BOOL;

INMOTOR15 AT %QX1.13: BOOL;

INMOTOR16 AT %QX1.15: BOOL;

INMOTOR17 AT %QX2.0: BOOL;

INMOTOR18 AT %QX2.3: BOOL;

VALVULA AT %QX2.8: BOOL;

END_VAR

PROGRAM PLC_PRG

VAR

T6 AT %MX0.9: BOOL;

T5 AT %MX0.10: BOOL;

T4 AT %MX0.11: BOOL;

T3 AT %MX0.12: BOOL;

T2 AT %MX0.13: BOOL;

T1 AT %MX0.14: BOOL;

M1 AT %MX0.1: BOOL;

M2 AT %MX0.2: BOOL;

M3 AT %MX0.3: BOOL;

M4 AT %MX0.4: BOOL;

M5 AT %MX0.5: BOOL;

M6 AT %MX0.6: BOOL;

TIEMPO1: TON;

TIEMPO2: TON;

TIEMPO3: TON;

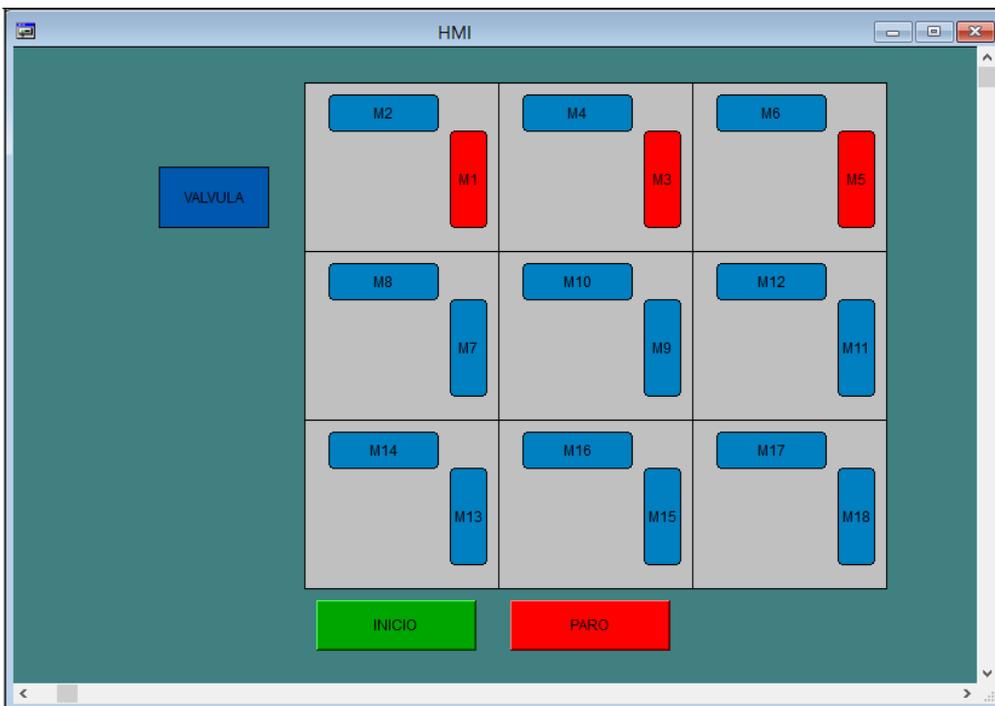
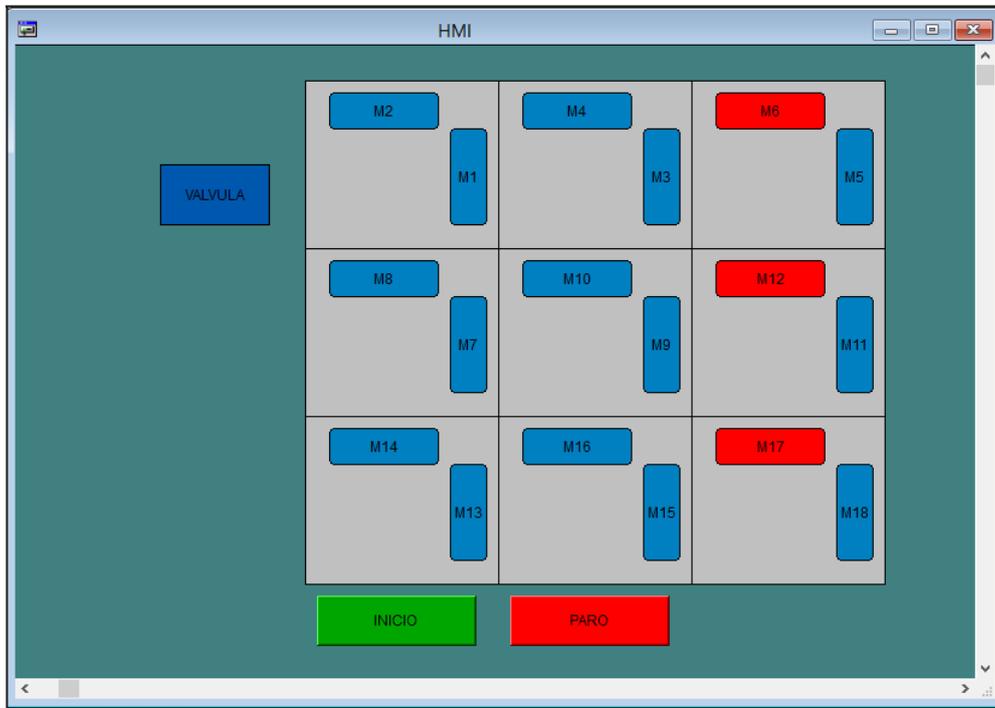
TIEMPO4: TON;

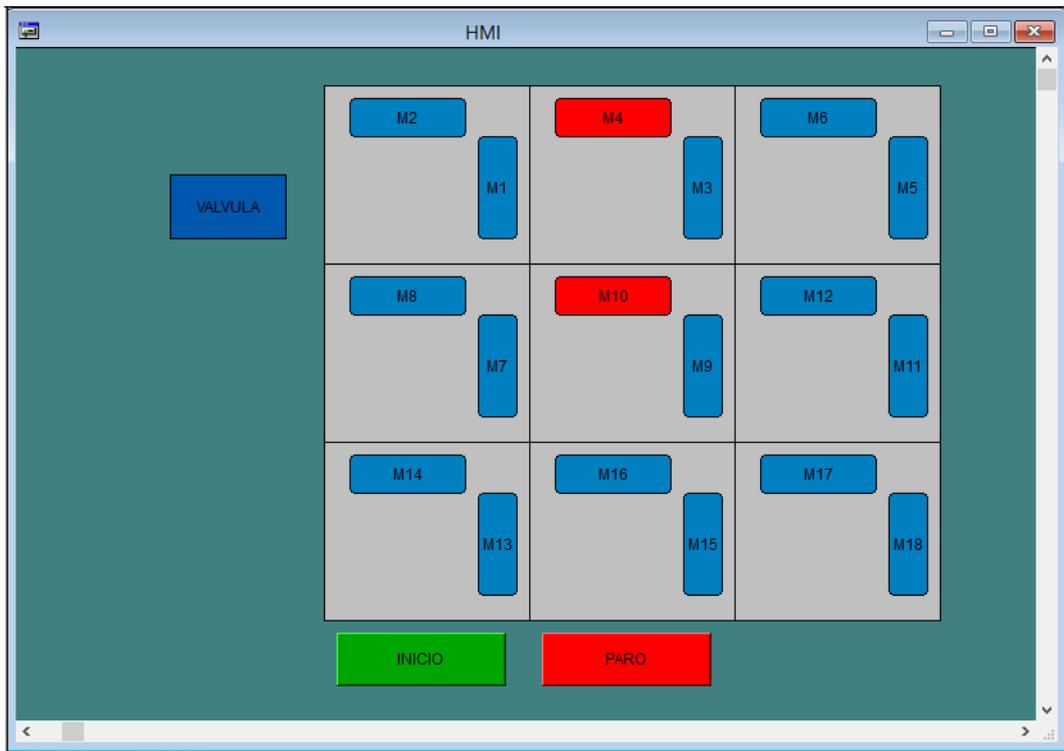
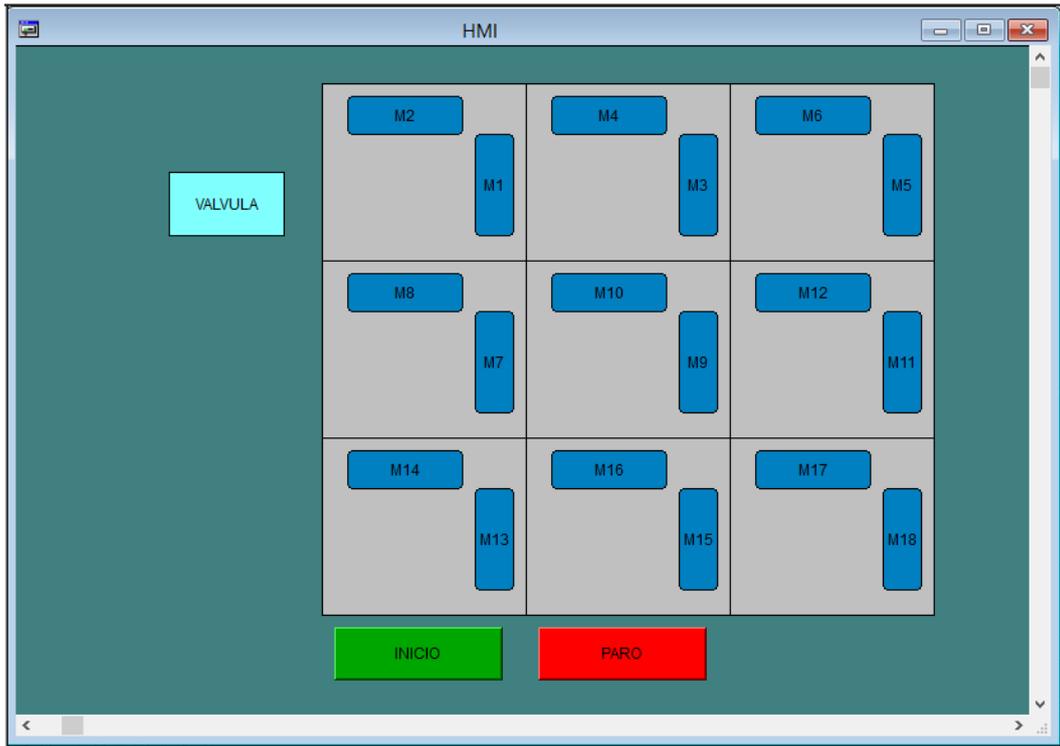
TIEMPO5: TON;

TIEMPO6: TON;

END_VAR

Anexo E: HMI de la trayectoria en L





PROGRAM PLC_PRG

VAR

T5 AT %MX0.10: BOOL;

T4 AT %MX0.11: BOOL;

T3 AT %MX0.12: BOOL;

T2 AT %MX0.13: BOOL;

T1 AT %MX0.14: BOOL;

M1 AT %MX0.1: BOOL;

M2 AT %MX0.2: BOOL;

M3 AT %MX0.3: BOOL;

M4 AT %MX0.4: BOOL;

M5 AT %MX0.5: BOOL;

TIEMPO1: TON;

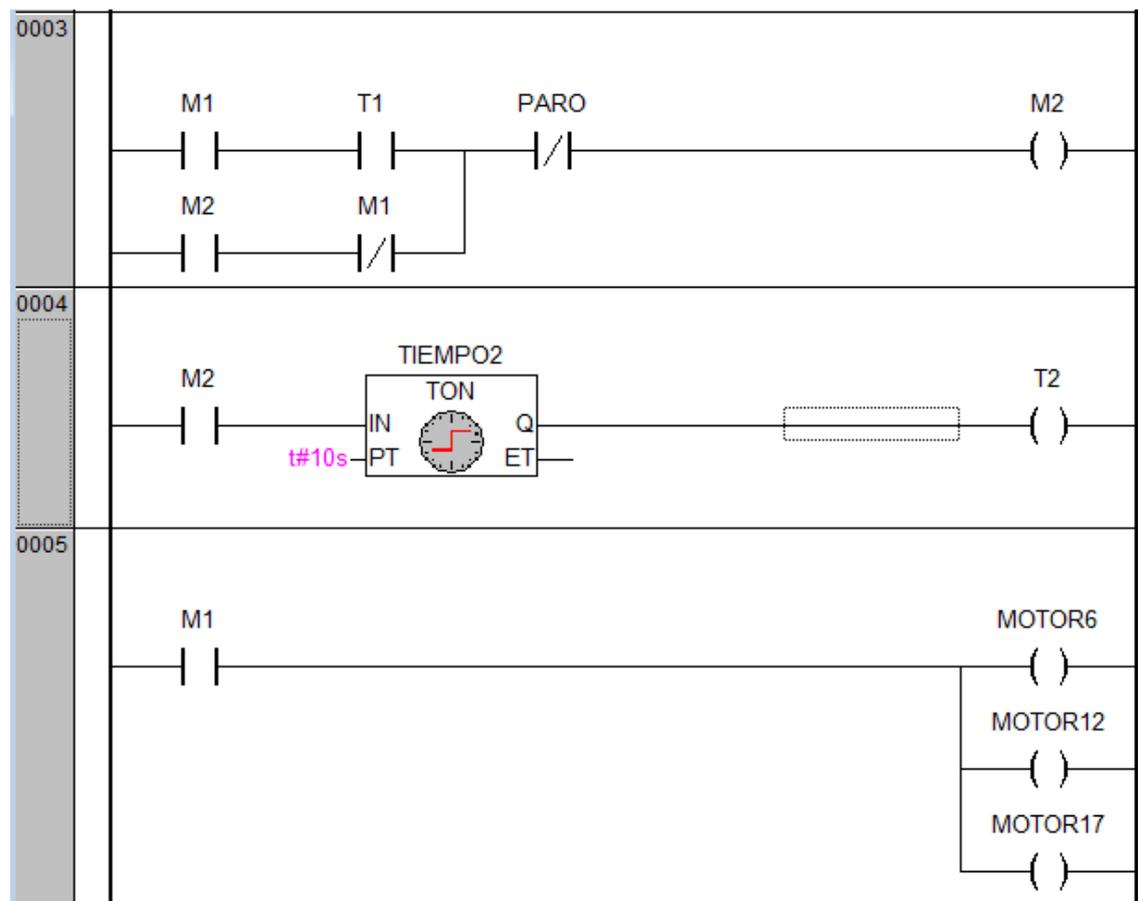
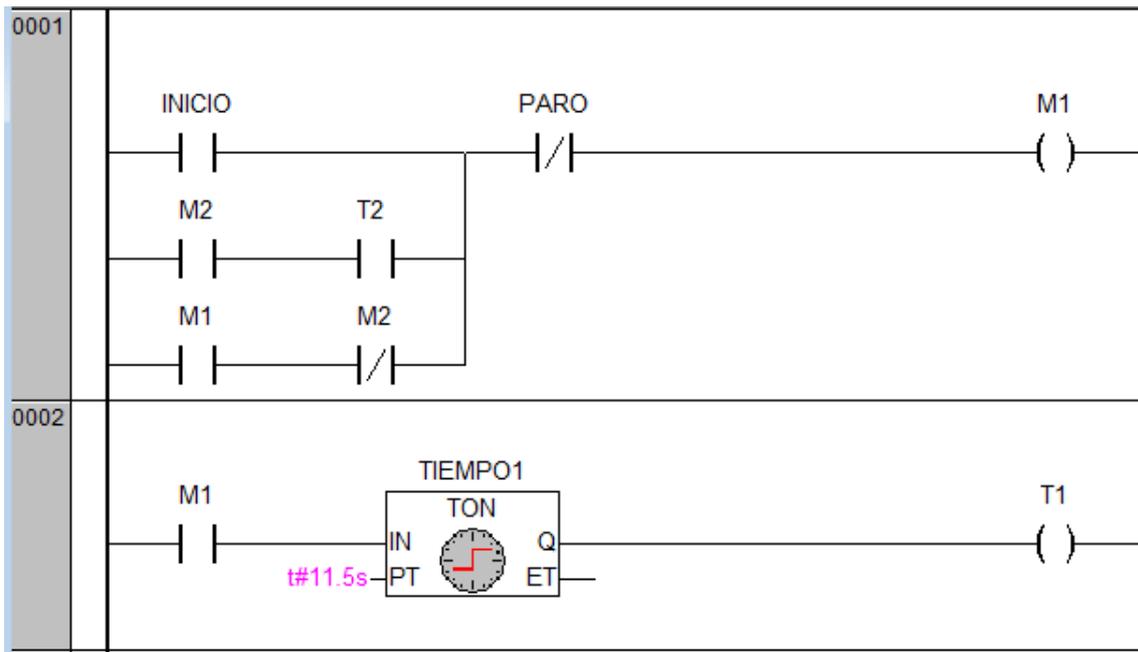
TIEMPO2: TON;

TIEMPO3: TON;

TIEMPO4: TON;

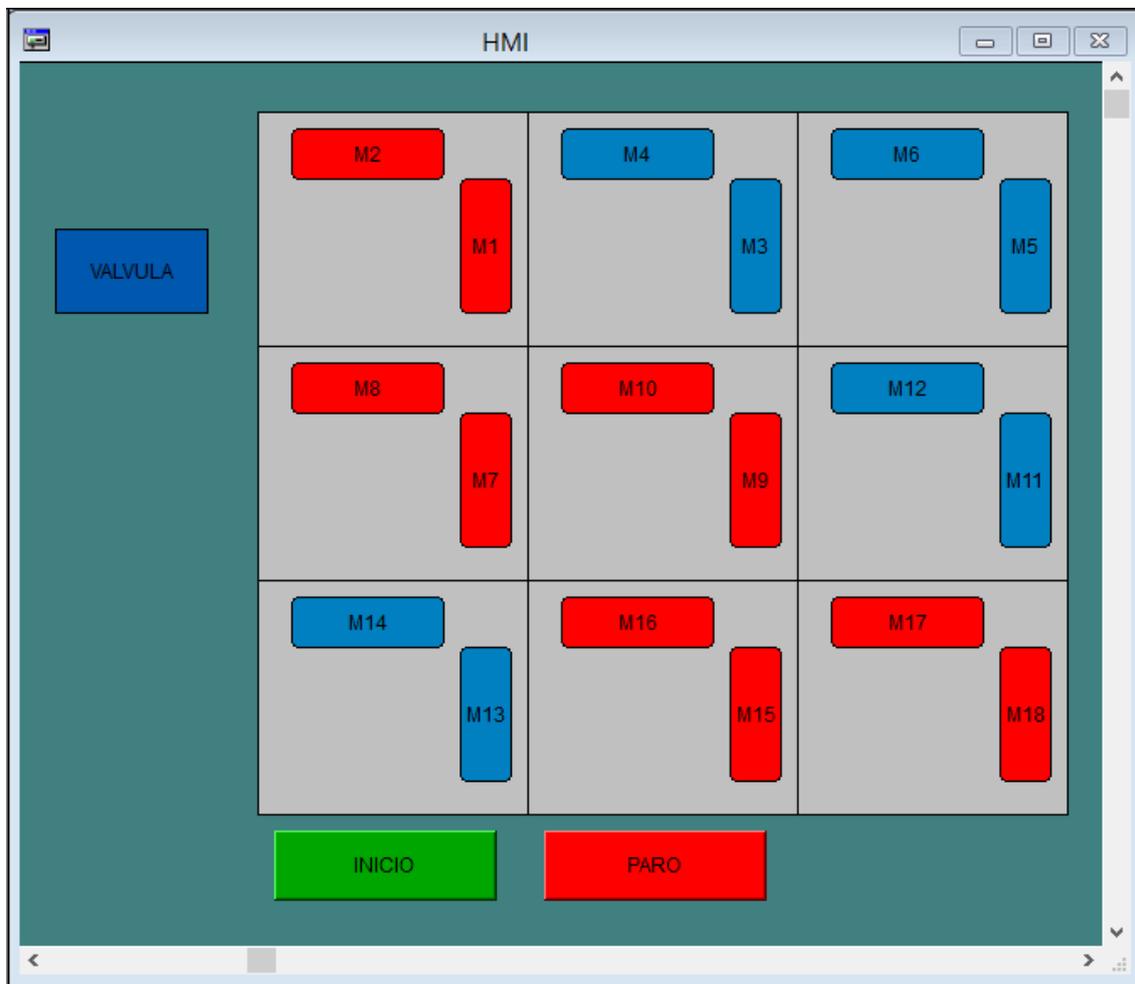
TIEMPO5: TON;

END_VAR





Anexo F: HMI de la Trayectoria en diagonal



PROGRAM PLC_PRG

VAR

T5 AT %MX0.10: BOOL;

T4 AT %MX0.11: BOOL;

T3 AT %MX0.12: BOOL;

T2 AT %MX0.13: BOOL;

T1 AT %MX0.14: BOOL;

M1 AT %MX0.1: BOOL;

M2 AT %MX0.2: BOOL;

M3 AT %MX0.3: BOOL;

M4 AT %MX0.4: BOOL;

M5 AT %MX0.5: BOOL;

TIEMPO1: TON;

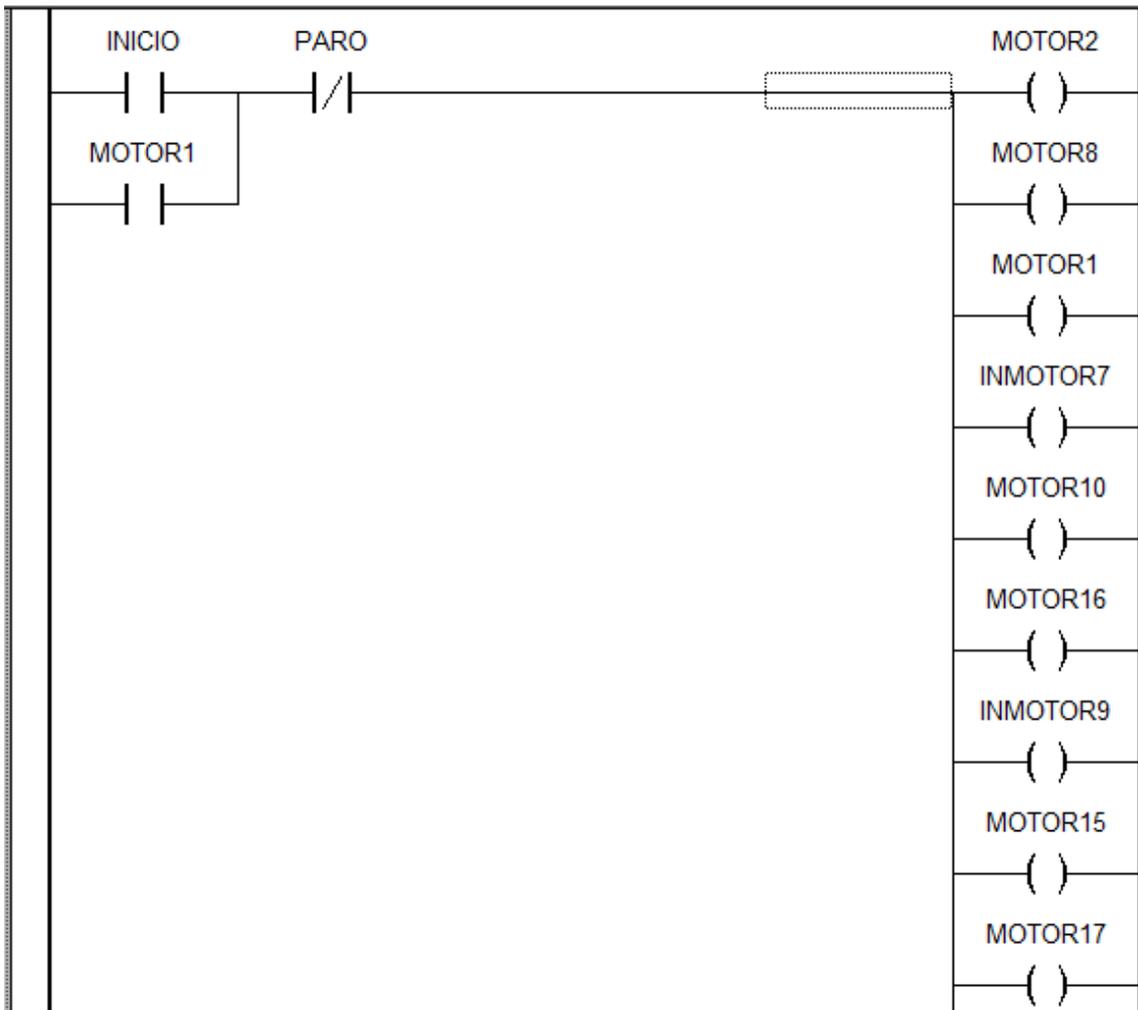
TIEMPO2: TON;

TIEMPO3: TON;

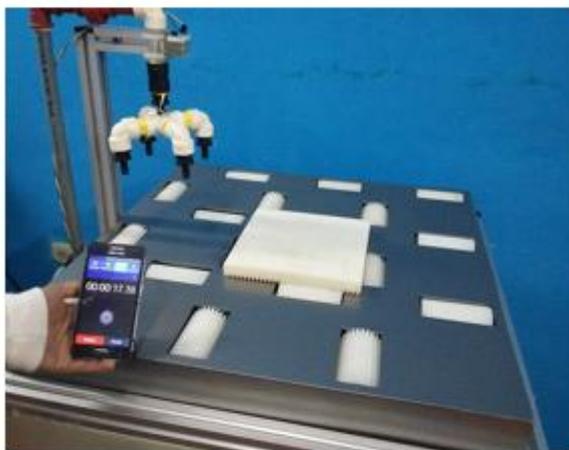
TIEMPO4: TON;

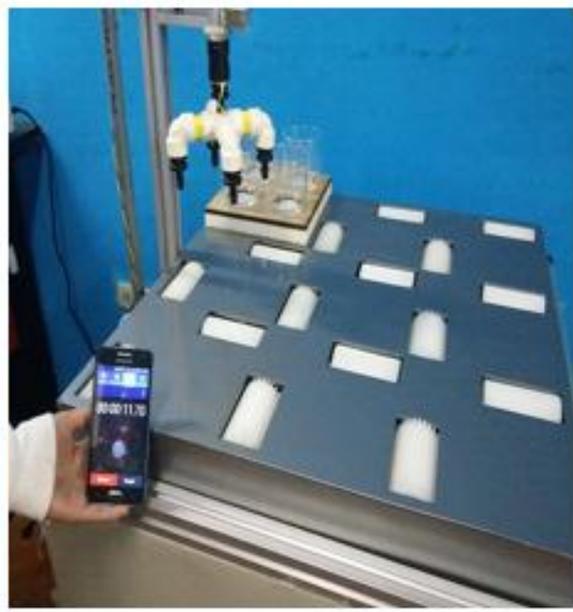
TIEMPO5: TON;

END_VAR



Anexo G: Fotografías del prototipo





Anexo H: Placas electrónicas



Anexo I: Modulo de Entrada WAGO 750-400

750-400, 750-401 / 753-400, 753-401

2-Channel Digital Input Module 24 V DC

2- to 4-conductor connection; high-side switching

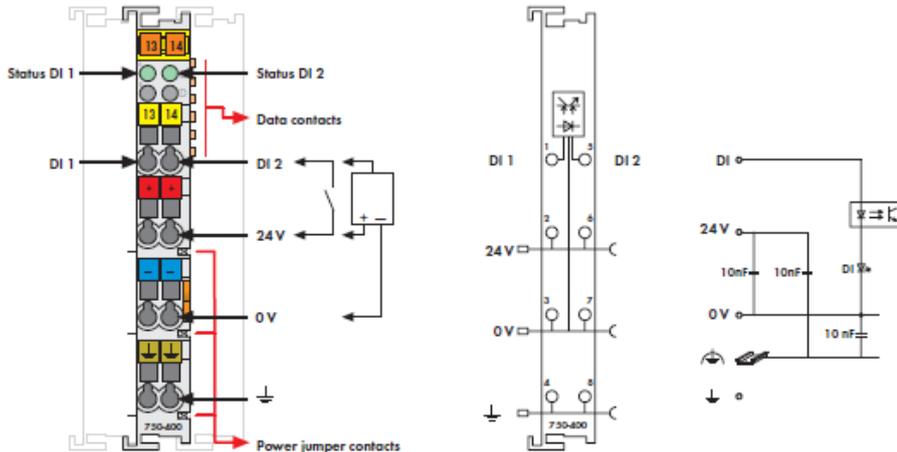


Fig. 750 Series
Delivered without miniature WSB markers

The digital input module receives control signal from the digital field devices (sensors, etc.).

Each input module has a noise-rejection filter. This filter is available with different time constants.

Field and system levels are electrically isolated.

| Description | Item No. | Pack Unit |
|--|---|-----------|
| 2DI 24V DC 3.0ms | 750-400 | 1 |
| 2DI 24V DC 0.2ms | 750-401 | 1 |
| 2DI 24V DC 3.0ms | 750-400/025-000 | 1 |
| Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C | | |
| 2DI 24V DC 3.0ms (without connector) | 753-400 | 1 |
| 2DI 24V DC 0.2ms (without connector) | 753-401 | 1 |
| Accessories | | |
|  753 Series Connectors | 753-110 | 25 |
|  Coding elements | 753-150 | 100 |
|  Miniature WSB Quick marking system | | |
| plain | 248-501 | 5 |
| with marking | see Section 11 | |
| Approvals | | |
| Conformity marking | CE | |
| Korea Certification |  | |
| Marine applications (versions upon request) | ABS, BV, DNV, GL, KR, LR, NKK, PRS, | |
|  UL 508 | | |
|  ANSI/ISA 12.12.01 | Class I, Div. 2, Grp. ABCD, T4 | |
|  TUV 07 ATEX 5540B6 X | I M2 Ex d I Mb, II 3 G Ex nA IIC T4 Gc, II 3 D Ex tc IIC T135°C Dc | |
|  IECEX TUN 09.0001 X | Ex d I Mb, Ex nA IIC T4 Gc, Ex tc IIC T135°C Dc | |

| Technical Data | |
|-----------------------------------|---|
| Number of inputs | 2 |
| Current consumption (internal) | 3.7 mA |
| Voltage via power jumper contacts | 24 V DC (-25 % ... +30 %) |
| Signal voltage (0) | -3 V ... +5 V DC |
| Signal voltage (1) | 15 V ... 30 V DC |
| Input filter | 3.0 ms (750-400 / 753-400) |
| | 0.2 ms (750-401 / 753-401) |
| Input current (typ.) | 4.5 mA |
| Isolation | 500 V system/supply |
| Internal bit width | 2 bits |
| Wire connection | CAGE CLAMP® |
| Cross sections | 0.08 mm² ... 2.5 mm² / AWG 28 ... 14 |
| Strip lengths, 750/753 Series | 8 ... 9 mm / 0.33 in |
| | 9 ... 10 mm / 0.37 in |
| Width | 12 mm |
| Weight | 46.7 g |
| EMC immunity of interference | acc. to EN 61000-6-2, marine applications |
| EMC emission of interference | acc. to EN 61000-6-4, marine applications |

Anexo J: Módulo de Entrada WAGO 750-402

750-402, 750-403 / 753-402, 753-403

4-Channel Digital Input Module 24 V DC

2- to 3-conductor connection; high-side switching

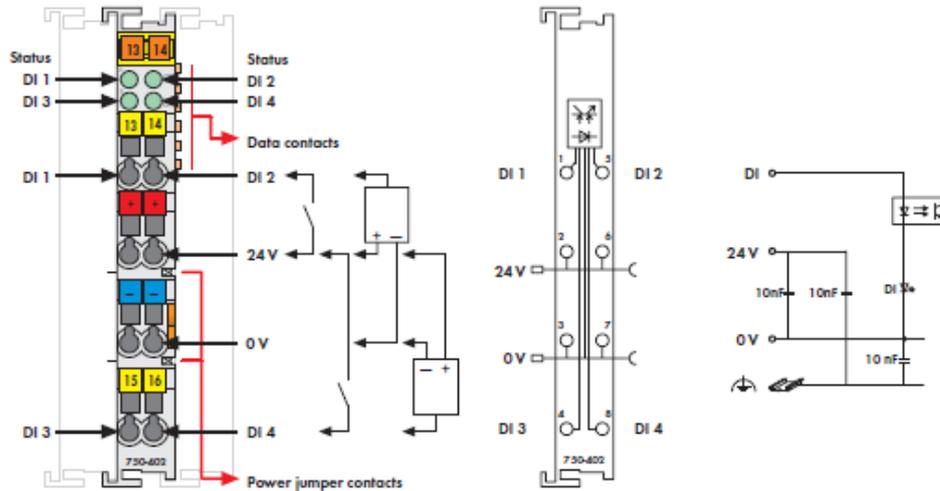
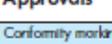


Fig. 750 Series
Delivered without miniature WSB markers

The digital input module receives control signal from the digital field devices (sensors, etc.).

Each input module has a noise-rejection filter. This filter is available with different time constants.

Field and system levels are electrically isolated.

| Description | Item No. | Pack Unit |
|---|--|-----------|
| 4DI 24V DC 3.0ms | 750-402 | 1 |
| 4DI 24V DC 0.2ms | 750-403 | 1 |
| 4DI 24V DC 3.0ms/T | 750-402/025-000 | 1 |
| Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C | | |
| 4DI 24V DC 3.0ms (without connector) | 753-402 | 1 |
| 4DI 24V DC 0.2ms (without connector) | 753-403 | 1 |
| Accessories | | |
|  753 Series Connectors | 753-110 | 25 |
|  Coding elements | 753-150 | 100 |
| Miniature WSB Quick marking system | | |
|  plain | 248-501 | 5 |
|  with marking | see Section 11 | |
| Approvals | | |
| Conformity marking | CE | |
| Korea Certification |  (75x-402, 750-402/025-000) | |
| Marine applications (versions upon request) | ABS, BV, DNV, GL, KR, LR, NKK, PRS, RINA | |
|  UL 508 | | |
|  ANSI/ISA 12.12.01 | Class I, Div. 2, Grp. A/B/C/D, T4 | |
|  TÜV 07 ATEX 554086 X | IM2 Ex d I Mb, II 3 G Ex nA IIC T4 Gc, II 3 D Ex tc III C T135°C Dc | |
| IECEx TUN 09.0001 X | Ex d I Mb, Ex nA IIC T4 Gc, Ex tc III C T135°C Dc | |

| Technical Data | |
|-----------------------------------|--|
| Number of inputs | 4 |
| Current consumption (internal) | 7.5 mA |
| Voltage via power jumper contacts | 24 V DC (-25% ... +30%) |
| Signal voltage (0) | -3 V ... +5 V DC |
| Signal voltage (1) | 15 V ... 30 V DC |
| Input filter | 3.0 ms (750-402 / 753-402) 0.2 ms (750-403 / 753-403) |
| Input current (typ.) | 4.5 mA |
| Isolation | 500 V system/supply |
| Internal bit width | 4 bits |
| Wire connection | CAGE CLAMP® |
| Cross sections | 0.08 mm² ... 2.5 mm² / AWG 28 ... 14 |
| Strip lengths, 750/753 Series | 8 ... 9 mm / 0.33 in 9 ... 10 mm / 0.37 in |
| Width | 12 mm |
| Weight | 48.5 g |
| EMC immunity of interference | acc. to EN 61000-6-2, marine applications |
| EMC emission of interference | acc. to EN 61000-6-4, marine applications |

Anexo K: Modulo de Salida WAGO 750-530

750-530 / 753-530

8-Channel Digital Output Module 24 V DC

Short-circuit protected; high-side switching

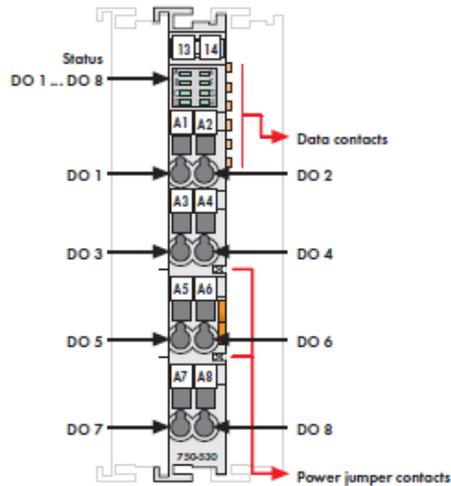
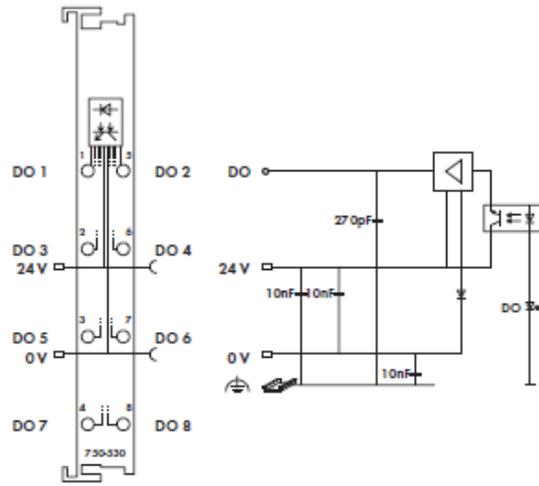


Fig. 750 Series
Delivered without miniature WSB markers

The digital output module provides 8 channels of a width of just 12mm (0.47in.).
The connected load is switched via digital output from the control system.

All outputs are short-circuit proof.

Field and system levels are electrically isolated.



NOTE: Connection point marking (i.e., 1 ... 8) does not refer to channel assignment

| Description | Item No. | Pack Unit |
|---|--|-----------|
| 8DO 24V DC 0.5A | 750-530 | 1 |
| 8DO 24V DC 0.5A/T | 750-530/025-000 | 1 |
| Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C | | |
| 8DO 24V DC 0.5A (without connector) | 753-530 | 1 |
| Accessories | | |
| 753 Series Connectors | 753-110 | 25 |
| Coding elements | 753-150 | 100 |
| Miniature WSB Quick marking system | | |
| plain | 248-501 | 5 |
| with marking | see Section 11 | |
| Approvals | | |
| Conformity marking | CE | |
| Korea Certification | KC | |
| Marine applications (variations upon request) | ABS, BV, DNV, GL, KR, LR, NKK, PRS, RINA | |
| UL 508 | Class I, Div. 2, Grp. ABCD, T4 | |
| ANSI/ISA 12.12.01 | Ex nA IIC T4 Gc (750-530) | |
| TUV 12.1297 X (Brazil) | II 3 D Ex tc IIIC T135°C Dc | |
| TUV 07 ATEX 554086 X | II 3 G Ex nA IIC T4 Gc | |
| | II 3 D Ex tc IIIC T135°C Dc | |
| IECEx TUN 09.0001 X | Ex d I Mb, | |
| | Ex nA IIC T4 Gc | |
| | Ex tc IIIC T135°C Dc | |

| Technical Data | |
|---------------------------------------|---|
| No. of outputs | 8 |
| Current consumption (internal) | 25 mA |
| Voltage via power jumper contacts | 24 V DC (-25% ... +30%) |
| Type of load | resistive, inductive, lamps |
| Max. switching frequency | 2 kHz |
| Output current (max.) | 0.5 A, short-circuit protected |
| Inductive load switch off energy | |
| dissipation W (max.) | 0.9 J; $I_{max} = 2 \times W_{max} / l^2$ |
| Current consumption typ. (field side) | 15 mA + charge |
| Isolation | 500 V system/supply |
| Internal bit width | 8 bits |
| Wire connection | CAGE CLAMP® |
| Cross sections | 0.08 mm² ... 2.5 mm² / AWG 28 ... 14 |
| Strip lengths, 750/753 Series | 8 ... 9 mm / 0.33 in |
| | 9 ... 10 mm / 0.37 in |
| Width | 12 mm |
| Weight | 50.7 g |
| EMC immunity of interference | acc. to EN 61000-6-2, marine applications |
| EMC emission of interference | acc. to EN 61000-6-4, marine applications |

Anexo L: Modulo de Salida WAGO 750-504

750-504 / 753-504

4-Channel Digital Output Module 24 V DC

Short-circuit protected; high-side switching

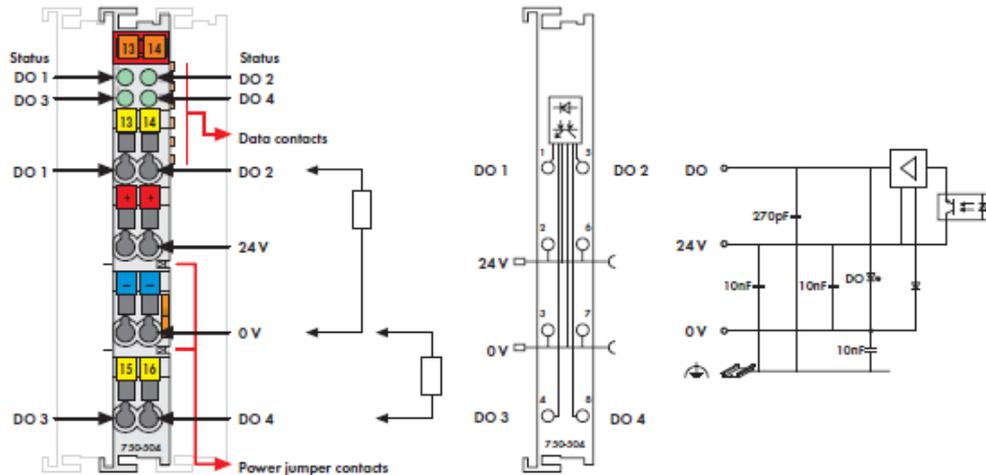
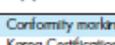


Fig. 750 Series
Delivered without miniature WSB markers

Control signals are transmitted from the automation device to connected actuators via the digital output module.

All outputs are short-circuit proof.

Field and system levels are electrically isolated.

| Description | Item No. | Pack. Unit | Technical Data |
|---|---|-------------------|---|
| 4DO 24V DC 0.5A | 750-504 | 1 | No. of outputs 4 |
| 4DO 24V DC 0.5A/R* | 750-504/000-800 | 1 | Current consumption (internal) 10 mA |
| 4DO 24V DC 0.5A/T | 750-504/025-000 | 1 | Voltage via power jumper contacts 24 V DC (-25 % ... +30 %) |
| Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C | | | Type of load resistive, inductive, lamps |
| 4DO 24V DC 0.5A/T/R* | 750-504/025-800 | 1 | Max. switching frequency 1 kHz |
| Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C | | | Output current (max.) 0.5 A, short-circuit protected |
| 4DO 24V DC 0.5A (without connector) | 753-504 | 1 | Inductive load switch off energy dissipation W (max.) 0.3 J; $I_{max} = 2 \times W_{max} / l^2$ |
| * /R: Interference-free for safety function applications (see manual) | | | Current consumption typ. (field side) 15 mA / module + charge |
| Accessories | Item No. | Pack. Unit | Isolation 500 V system/supply |
|  753 Series Connectors | 753-110 | 25 | Internal bit width 4 bits |
|  Coding elements | 753-150 | 100 | Wire connection CAGE CLAMP® |
|  Miniature WSB Quick marking system plain | 248-501 | 5 | Cross sections 0.08 mm ² ... 2.5 mm ² / AWG 28 ... 14 |
|  Miniature WSB Quick marking system with marking | see Section 11 | | Strip lengths, 750/753 Series 8 ... 9 mm / 0.33 in |
| Approvals | | | 9 ... 10 mm / 0.37 in |
| Conformity marking | CE | | Width 12 mm |
| Korea Certification |  | | Weight 49.5 g |
| Marine applications (variations upon request) | ABS, BV, DNV, GL, KR, LR, NKK, PRS, RINA | | EMC immunity of interference acc. to EN 61000-6-2, marine applications |
|  UL 508 | | | EMC emission of interference acc. to EN 61000-6-4, marine applications |
|  ANSI/ISA 12.12.01 | Class I, Div. 2, Grp. ABCD, T4 | | |
|  TUV 07 ATEX 554086 X | I M2 Ex d I Mb, II 3 G Ex nA IIC T4 Gc | | |
|  IEEx TUN 09.0001 X | II 3 D Ex tc IIIC T135°C Dc | | |
| | Ex d I Mb, Ex nA IIC T4 Gc | | |
| | Ex tc IIIC T135°C Dc | | |

Anexo M: Modulo de Salida WAGO 750-514

750-514 / 753-514

2-Channel Relay Output Module 125 V AC, 30 V DC

Isolated outputs; 2 changeover contacts

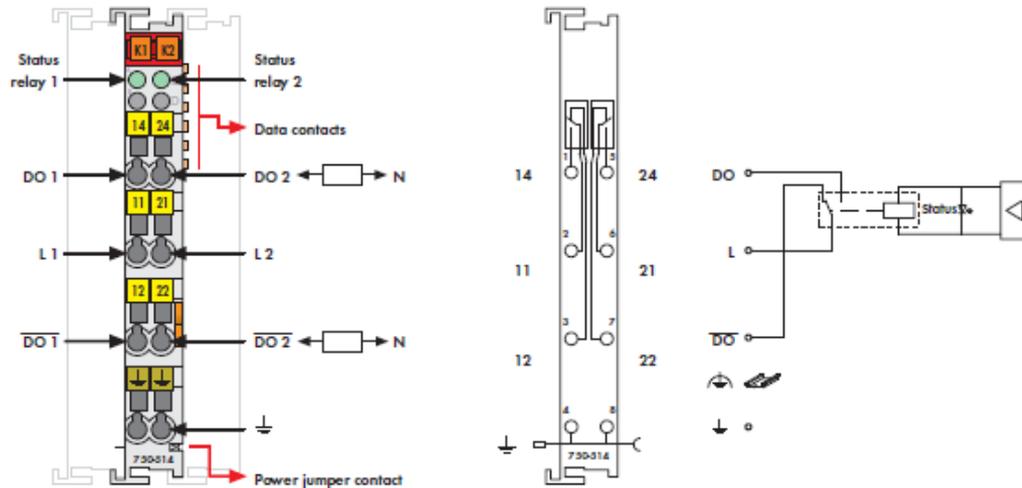


Fig. 750 Series
Delivered without miniature WSB markers

Control signals are transmitted from the automation device to connected actuators via the digital output module.

The internal system voltage is used to trigger the relay.

The NO contacts are electrically isolated.

The switched status of the relay is shown by an LED.

| Description | Item No. | Pack Unit | Technical Data |
|--|---|-----------|--|
| 2DO 125V AC 0.5A/ Relay 2CO/ Potential Free | 750-514 | 1 | No. of outputs: 2 changeover contacts |
| 2DO 125V AC 0.5A/ Relay 2CO/ Potential Free (without connector) | 753-514 | 1 | Current consumption typ. (internal): 70 mA |
| | | | Max. switching voltage: 125 V AC / 30 V DC |
| | | | Switching power: 62.5 VA / 30 W |
| | | | Min. switching current: 0.01 mA / 10 mV DC |
| | | | Max. switching current: 0.5 A AC / 1 A DC |
| | | | Max. switching frequency: 20/min |
| | | | Pull-in time (max.): 4 ms |
| | | | Drop-out time (max.): 4 ms |
| | | | Contact material: Silver alloy, gold-plated |
| | | | Mechanical life (min.): 1 x 10 ⁶ switching operations |
| | | | Electrical life (min.): 1 x 10 ⁵ (0.5 A / 125 V AC) |
| | | | 2 x 10 ⁵ (1 A / 30 V DC) |
| | | | Isolation: 1.5 kV off. (field/system)*; |
| | | | * 2.5 kV rated surge voltage |
| | | | Internal bit width: 2 bits |
| | | | Wire connection: CAGE CLAMP® |
| | | | Cross sections: 0.08 mm ² ... 2.5 mm ² / AWG 28 ... 14 |
| | | | Strip lengths, 750/753 Series: 8 ... 9 mm / 0.33 in |
| | | | 9 ... 10 mm / 0.37 in |
| | | | Width: 12 mm |
| | | | Weight: 49.5 g |
| | | | EMC immunity of interference: acc. to EN 61000-6-2, marine applications |
| | | | EMC emission of interference: acc. to EN 61000-6-4, marine applications |
| Accessories | Item No. | Pack Unit | |
| 753 Series Connectors | 753-110 | 25 | |
| Coding elements | 753-150 | 100 | |
| Miniature WSB Quick marking system plain | 248-501 | 5 | |
| with marking | see Section 11 | | |
| Approvals | | | |
| Conformity marking | CE | | |
| Korea Certification | | | |
| Marine applications | ABS, BV, DNV, GL, KR, LR, NK, PRS, RINA | | |
| UL 508 | | | |

Anexo N: Cable de Comunicación WAGO

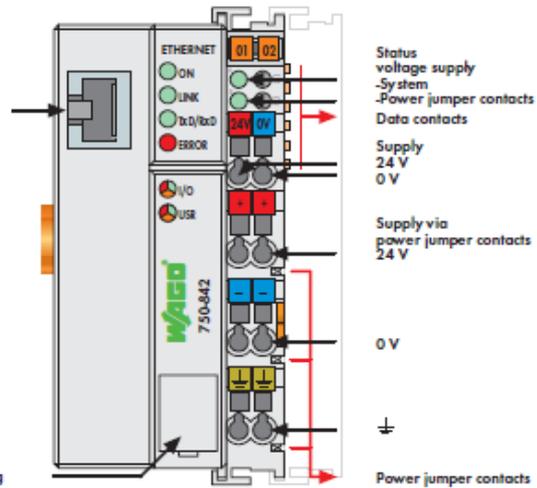
750-842

PLC - ETHERNET TCP/IP Programmable Fieldbus Controller
16-bit CPU



Fieldbus connection RJ-45

Configuration and programming interface



The ETHERNET PLC combines control functionality, I/O interface and ETHERNET in one device.

Programming PLC applications is performed in compliance with IEC 61131-3. Function blocks allow both clients and servers to be programmed via socket APIs for all transport protocols (e.g., TCP, UDP).

Features and applications:

- Use of decentralized control can better support a PLC or PC
- Complex applications can be divided into individually testable units
- Programmable fault response in the event of a fieldbus failure
- Signal pre-processing reduces fieldbus transmissions
- Peripheral equipment can be controlled directly, resulting in faster system response times
- Stand-alone, compact controller

| Description | Item No. | Pack Unit |
|------------------------------------|--|-----------|
| ETHERNET Controller 10 Mbit | 750-842 | 1 |
| Accessories | | |
| WAGO-I/O-PRO V2.3, RS-232 kit | 759-333 | 1 |
| Miniature WSB Quick marking system | | |
| plain | 248-501 | 5 |
| with marking | see Section 11 | |
| Approvals | | |
| Conformity marking | CE | |
| Korea Certification | | |
| Marine applications | ABS, BV, DNV, GL, KR, LR, NKK, PRS, RINA | |
| UL 508 | | |
| ANSI/ISA 12.12.01 | Class I, Div. 2, Grp. ABCD, T4 | |
| TUV 12.1297 X (Brazil) | Ex nA IIC T4 Gc | |
| TUV 07 ATEX 554086 X | IM2 Ex d I Mb, II 3 G Ex nA IIC T4 Gc, II 3 D Ex Ic IIIc T135°C Dc | |
| IECEx TUN 09.0001 X | Ex d I Mb, Ex nA IIC T4 Gc, Ex Ic IIIc T135°C Dc | |

| System Data | |
|--|---|
| No. of controllers connected to Master | limited by ETHERNET specification |
| Transmission medium | Twisted Pair 5-UTP 100 Cat. 5 |
| Max. length of fieldbus segment | 100 m between hub station and 750-842; max. length of network limited by ETHERNET specification |
| Baud rate | 10 Mbit/s |
| Buscoupler connection | RJ-45 |
| Protocols | MODBUS/TCP, HTTP, BootP, MODBUS/UDP |
| Programming | WAGO-I/O-PRO 32, from firmware version SW 1.5, also programmable with WAGO- I/O-PRO V2.3 |
| IEC 61131-3 | IL, LD, FBD (FC), ST, FC |

3 WAGO-I/O-SYSTEM 750

142

El módulo de bus de campo

Un módulo de 12mm como base universal

Montaje



Montaje modular en carril DIN 35

Contactos de potencia para campo



Conexión segura y automática por contactos aislados, autoaplanados y diseñados con seguridad de contacto elevada, con contacto de línea creado en conexión y filtro en desconexión (serie 750 y 753)

Contacto de datos



Conexión segura y automática por contactos dorados, autoaplanados y diseñados con seguridad de contacto elevada (serie 750 y 753)



Conexión segura con resaca y acople

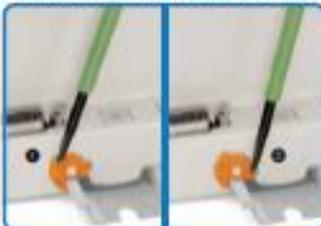


Extracción del conjunto



Retirarlo en cualquier dirección de un módulo de bus de campo dentro del conjunto - sin herramientas

Fijación de la cabeza al carril DIN 35



1 Bloquear

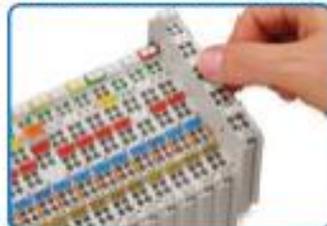
2 Desbloquear

Acceso a la interfaz de programación



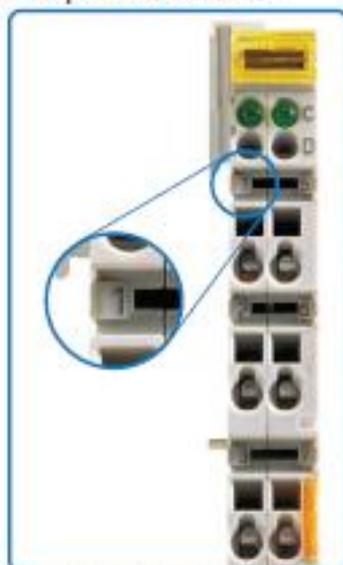
Acceso a la interfaz de programación
Programación de un controlador de bus de campo
WAGO-I/O-STECK, WAGO-I/O-PRO GMA

El módulo final, 750-600, siempre necesario!



El módulo final cierra el bus de comunicación y garantiza una perfecta transmisión de datos.

Correspondencia clara in situ



Marcaje de los puntos de conexión por impresión directa



Marcaje de los puntos de conexión con etiquetas de marcaje M12W32 en diferentes colores



Portaetiquetas de grupo extraíble para marcaje de grupos y marcaje de "texto claro" relacionado con el módulo



- amarillo = entradas digitales
- rojo = salidas digitales
- verde = entradas analógicas
- azul = salidas analógicas
- transparente = Módulos de alimentación y especiales

Código de colores para identificar rápidamente la función del módulo

3

Conexión CAGE CLAMP®



Conexión resistente a las vibraciones, rápida y 100% libre de mantenimiento para conductores de 0,08mm² hasta 2,5mm²

Portafusible



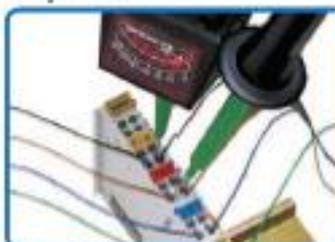
Posición de anclaje para desconectar pulsando la pestaña en marcha

Visualización de estados



Diódo LED de diagnóstico y de estado para pasado en marcha segura y control de los instaladores

Comprobar



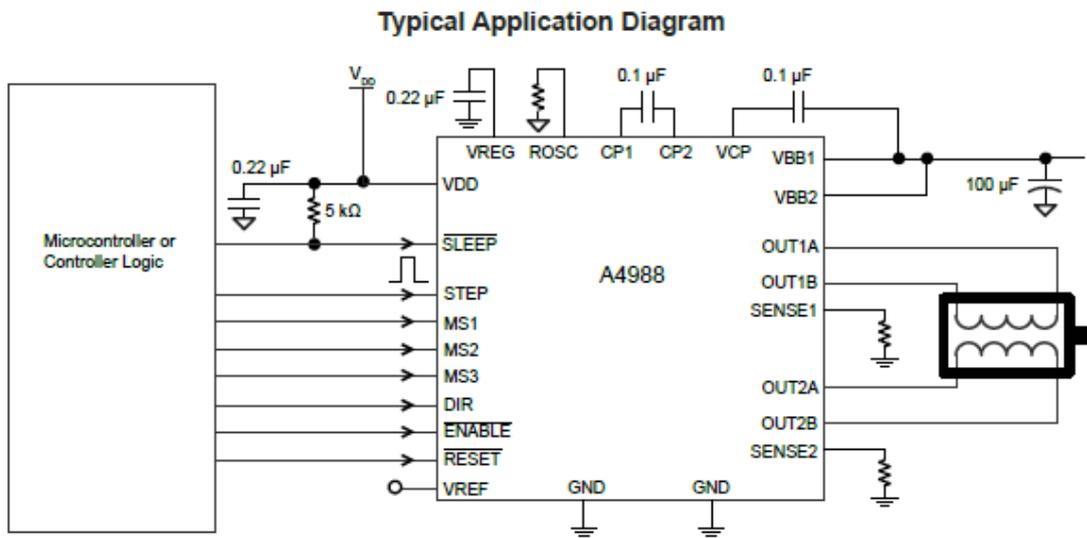
Test de señal incluso con conductor conectado

Conectar enchufable



Serie 7.53
Ver catálogo general, tomo 3, AUTOMATIZACIÓN o la página Web www.vago.com

Anexo Q: Conexión del Driver A4988



Anexo R: Descripción del Driver A4988

Description (continued)

Internal synchronous rectification control circuitry is provided to improve power dissipation during PWM operation. Internal circuit protection includes: thermal shutdown with hysteresis, undervoltage lockout (UVLO), and crossover-current protection. Special power-on sequencing is not required.

The A4988 is supplied in a surface mount QFN package (ES), 5 mm × 5 mm, with a nominal overall package height of 0.90 mm and an exposed pad for enhanced thermal dissipation. It is lead (Pb) free (suffix -T), with 100% matte tin plated leadframes.

Selection Guide

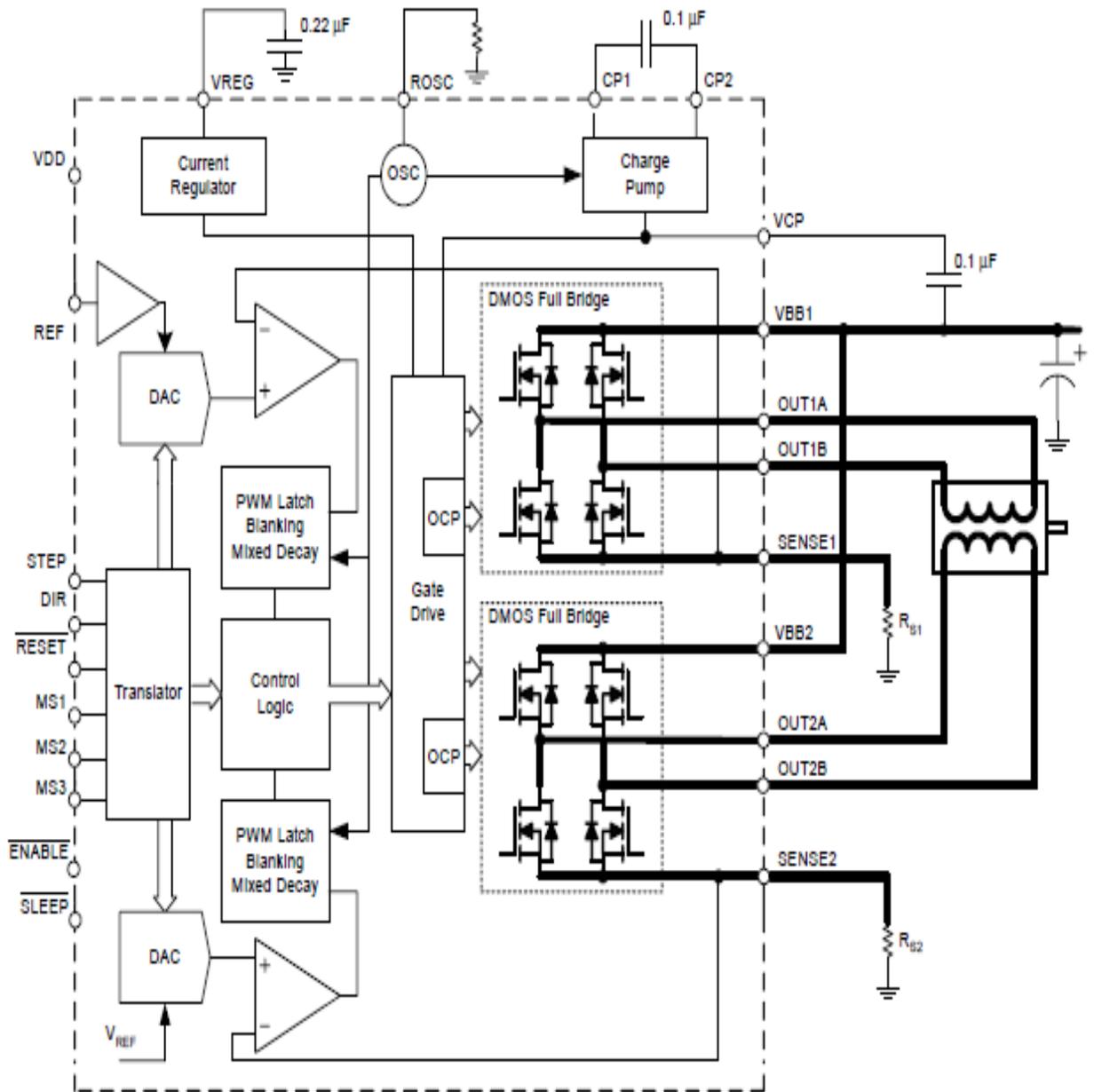
| Part Number | Package | Packing |
|--------------|---|----------------------------|
| A4988SETTR-T | 28-contact QFN with exposed thermal pad | 1500 pieces per 7-in. reel |

Absolute Maximum Ratings

| Characteristic | Symbol | Notes | Rating | Units |
|-------------------------------|-------------|---------|-------------|-------|
| Load Supply Voltage | V_{BB} | | 35 | V |
| Output Current | I_{OUT} | | ±2 | A |
| Logic Input Voltage | V_{IN} | | -0.3 to 5.5 | V |
| Logic Supply Voltage | V_{DD} | | -0.3 to 5.5 | V |
| Motor Outputs Voltage | | | -2.0 to 37 | V |
| Sense Voltage | V_{SENSE} | | -0.5 to 0.5 | V |
| Reference Voltage | V_{REF} | | 5.5 | V |
| Operating Ambient Temperature | T_A | Range S | -20 to 85 | °C |
| Maximum Junction | $T_J(max)$ | | 150 | °C |
| Storage Temperature | T_{stg} | | -55 to 150 | °C |

Anexo S: Diagrama de Bloque del Driver A4988

Functional Block Diagram

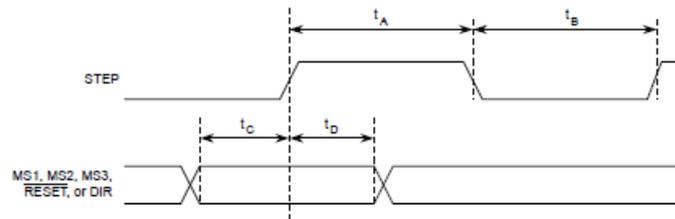


Anexo T: Característica Eléctrica del Driver A4988

ELECTRICAL CHARACTERISTICS¹ at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{BB} = 35\text{ V}$ (unless otherwise noted)

| Characteristics | Symbol | Test Conditions | Min. | Typ. ² | Max. | Units |
|---|-----------------|---|---------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| Output Drivers | | | | | | |
| Load Supply Voltage Range | V_{BB} | Operating | 8 | – | 35 | V |
| Logic Supply Voltage Range | V_{DD} | Operating | 3.0 | – | 5.5 | V |
| Output On Resistance | $R_{DS(ON)}$ | Source Driver, $I_{OUT} = -1.5\text{ A}$ | – | 320 | 430 | m Ω |
| | | Sink Driver, $I_{OUT} = 1.5\text{ A}$ | – | 320 | 430 | m Ω |
| Body Diode Forward Voltage | V_F | Source Diode, $I_F = -1.5\text{ A}$ | – | – | 1.2 | V |
| | | Sink Diode, $I_F = 1.5\text{ A}$ | – | – | 1.2 | V |
| Motor Supply Current | I_{BB} | $f_{PWM} < 50\text{ kHz}$ | – | – | 4 | mA |
| | | Operating, outputs disabled | – | – | 2 | mA |
| Logic Supply Current | I_{DD} | $f_{PWM} < 50\text{ kHz}$ | – | – | 8 | mA |
| | | Outputs off | – | – | 5 | mA |
| Control Logic | | | | | | |
| Logic Input Voltage | $V_{IN(1)}$ | | $V_{DD} \times 0.7$ | – | – | V |
| | $V_{IN(D)}$ | | – | – | $V_{DD} \times 0.3$ | V |
| Logic Input Current | $I_{IN(1)}$ | $V_{IN} = V_{DD} \times 0.7$ | –20 | <1.0 | 20 | μA |
| | $I_{IN(D)}$ | $V_{IN} = V_{DD} \times 0.3$ | –20 | <1.0 | 20 | μA |
| Microstep Select | R_{MS1} | MS1 pin | – | 100 | – | k Ω |
| | R_{MS2} | MS2 pin | – | 50 | – | k Ω |
| | R_{MS3} | MS3 pin | – | 100 | – | k Ω |
| Logic Input Hysteresis | $V_{HYS(IN)}$ | As a % of V_{DD} | 5 | 11 | 19 | % |
| Blank Time | t_{BLANK} | | 0.7 | 1 | 1.3 | μs |
| Fixed Off-Time | t_{OFF} | OSC = VDD or GND | 20 | 30 | 40 | μs |
| | | $R_{OSC} = 25\text{ k}\Omega$ | 23 | 30 | 37 | μs |
| Reference Input Voltage Range | V_{REF} | | 0 | – | 4 | V |
| Reference Input Current | I_{REF} | | –3 | 0 | 3 | μA |
| Current Trip-Level Error ³ | err_I | $V_{REF} = 2\text{ V}$, % $I_{THMAX} = 38.27\%$ | – | – | ± 15 | % |
| | | $V_{REF} = 2\text{ V}$, % $I_{THMAX} = 70.71\%$ | – | – | ± 5 | % |
| | | $V_{REF} = 2\text{ V}$, % $I_{THMAX} = 100.00\%$ | – | – | ± 5 | % |
| Crossover Dead Time | t_{DT} | | 100 | 475 | 800 | ns |
| Protection | | | | | | |
| Overcurrent Protection Threshold ⁴ | I_{OCPST} | | 2.1 | – | – | A |
| Thermal Shutdown Temperature | T_{TSD} | | – | 165 | – | $^\circ\text{C}$ |
| Thermal Shutdown Hysteresis | T_{TSDHYS} | | – | 15 | – | $^\circ\text{C}$ |
| VDD Undervoltage Lockout | V_{DDUVLO} | V_{DD} rising | 2.7 | 2.8 | 2.9 | V |
| VDD Undervoltage Hysteresis | $V_{DDUVLOHYS}$ | | – | 90 | – | mV |

Anexo U: Tabla de Configuración de los Pasos del Motor mediante el Driver A4988



| Time Duration | Symbol | Typ. | Unit |
|----------------------------------|--------|------|---------------|
| STEP minimum, HIGH pulse width | t_A | 1 | μs |
| STEP minimum, LOW pulse width | t_B | 1 | μs |
| Setup time, input change to STEP | t_C | 200 | ns |
| Hold time, input change to STEP | t_D | 200 | ns |

Figure 1: Logic Interface Timing Diagram

Table 1: Microstepping Resolution Truth Table

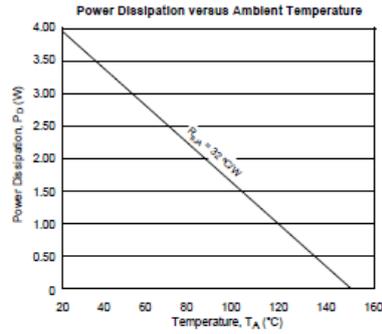
| MS1 | MS2 | MS3 | Microstep Resolution | Excitation Mode |
|-----|-----|-----|----------------------|-----------------|
| L | L | L | Full Step | 2 Phase |
| H | L | L | Half Step | 1-2 Phase |
| L | H | L | Quarter Step | W1-2 Phase |
| H | H | L | Eighth Step | 2W1-2 Phase |
| H | H | H | Sixteenth Step | 4W1-2 Phase |

Anexo V: Característica Térmica del Driver A4988

THERMAL CHARACTERISTICS

| Characteristic | Symbol | Test Conditions* | Value | Units |
|----------------------------|-----------------|---|-------|-------|
| Package Thermal Resistance | $R_{\theta JA}$ | Four-layer PCB, based on JEDEC standard | 32 | °C/W |

*Additional thermal information available on Allegro Web site.



Anexo W: Motor Nema 17

Stepper Motor NEMA 17

This document describes mechanical and electrical specifications for PBC Linear stepper motors; including standard, hollow, and extended shaft variations.

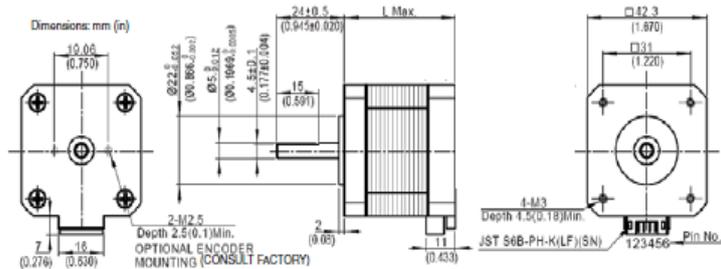


Standard shaft motor shown.

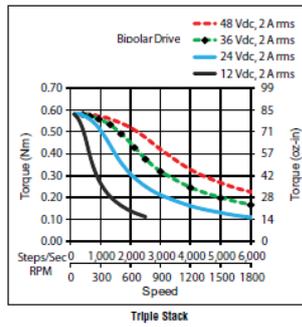
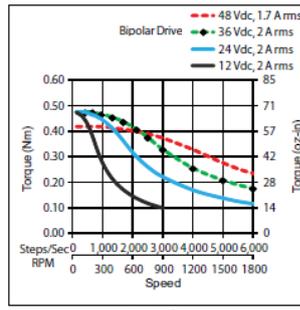
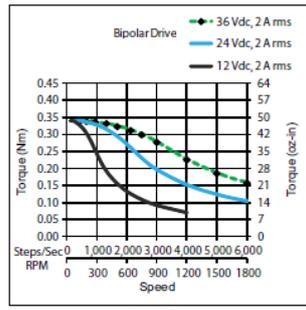
- Phases 2
- Steps/Revolution 200
- Step Accuracy ±5%
- Shaft Load 20,000 Hours at 1000 RPM
- Axial 25 N (5.6 lbs.) Push
- 65 N (15 lbs.) Pull
- Radial 29 N (6.5 lbs.) At Flat Center
- IP Rating 40
- Approvals RoHS
- Operating Temp -20° C to +40° C
- Insulation Class B, 130° C
- Insulation Resistance 100 MegOhms

| Description | Length | Mounted Rated Current | Mounted Holding Torque | | Winding Ohms mH | | Defect Torque | | Rotor Inertia | | Motor Weight | |
|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------|-----------------|------|---------------|-------|-------------------|--------------------|--------------|------|
| | | | Nm | oz-in | ±10% | ±10% | mNm | oz-in | g cm ² | oz-in ² | kg | lbs |
| (Slack) | "L" Max | Amps | Typ. | Typ. | Typ. | Typ. | Typ. | Typ. | Typ. | Typ. | Typ. | Typ. |
| Single | 39.8 mm (1.57 in) | 2 | 0.48 | 68 | 1.04 | 2.2 | 15 | 2.1 | 57 | 0.31 | 0.28 | 0.62 |
| Double | 48.3 mm (1.90 in) | 2 | 0.63 | 89 | 1.3 | 2.9 | 25 | 3.5 | 82 | 0.46 | 0.36 | 0.79 |
| Triple | 62.8 mm (2.47 in) | 2 | 0.83 | 120 | 1.49 | 3.8 | 30 | 4.2 | 123 | 0.67 | 0.6 | 1.3 |

*All standard motors have plug connector. Consult factory for other options.



Standard shaft dimensions shown. All other dimensions apply to hollow and extended shaft options.



Anexo X: Válvula de Agua

| | |
|---|---|
| Usage: Specially working in low pressure environment | |
|  | |
| Model No. | AQT15SP |
| Thread Size | 1/2" BSP inlet and 12mm outlet |
| Material | Plastic |
| Working Temp | 1°C-75°C |
| Flow rate | 0.02Mpa ≥ 3 L/min, 0.1Mpa ≥ 12 L/min, 0.8Mpa ≥ 35 L/min |
| Voltage | AC220V |
| Voltage Range | 15% |
| Resistance Coil | 4.75K Ω ± 0.25K Ω (20°C) |
| Working Environment | Water |
| Lifespan | More than 1,000,000times |
| Certification | 0 |
| Usage: Water used solenoid valve | |