

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO E INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:
AUTOMATIZACIÓN DE UNA INYECTORA DE PLÁSTICO PARA LA
EMPRESA IBALL**

**AUTORES:
EDWIN GEOVANNY ARMIJOS SÁNCHEZ
MAYRA ADRIANA VIVAS QUIMBITA**

**TUTOR:
WILLIAM MANUEL MONTALVO LÓPEZ**

Quito, marzo 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Armijos Sánchez Edwin Geovanny y Vivas Quimbita Mayra Adriana, con documentos de identificación N° 172257494-2 y N° 172546995-9, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación intitulado: “AUTOMATIZACIÓN DE UNA INYECTORA DE PLÁSTICO PARA LA EMPRESA IBALL”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico e Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Armijos Sánchez Edwin Geovanny
C.I.: 1722574942



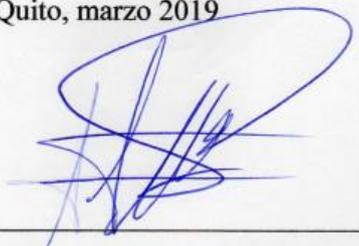
Vivas Quimbita Mayra Adriana
C.I.: 1725469959

Quito, marzo 2019.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto de Titulación, “AUTOMATIZACIÓN DE UNA INYECTORA DE PLÁSTICO PARA LA EMPRESA IBALL”, realizado por Armijos Sánchez Edwin Geovanny y Vivas Quimbita Mayra Adriana, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2019



Montalvo López William Manuel

C.I.: 171278998-9

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis padres Nanci Sánchez y Camilo Armijos, y a mis hermanos Gustavo Armijos y Kamila Armijos, quienes han sido mi motivación y apoyo a lo largo de la carrera universitaria y a lo largo de mi vida. En definitiva, dedico este esfuerzo a todas las personas que han acompañado mi formación tanto profesional como humana.

A todos ustedes mi respeto, admiración y cariño.

Edwin

El proyecto de titulación se lo dedico a Dios por darme salud y vida para cumplir cada uno de mis objetivos planteados durante mi formación académica y permitirme llegar a este momento importante dentro de mi formación profesional. De manera especial a mi madre Elsa Quimbita por inculcarme valores, brindarme todo su amor, consejos y apoyo incondicional en cada paso de mi vida. A mi padre Alejandro Vivas que a pesar de todas las dificultades que se han presentado me apoyó con una palabra de aliento en cada momento de dificultad. A mis hermanos Katherin y Andres quienes han sido mi inspiración a lo largo de la carrera. A toda mi familia y amigos quienes han compartido junto a mí, buenos y malos momentos.

Para ustedes todo mi amor y agradecimiento.

Adriana

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por ser guía en nuestras vidas, ser el apoyo y fuerza en momentos de dificultad.

Nuestro profundo agradecimiento a nuestros padres: Nanci y Camilo; y Elsa y Alejandro por brindarnos el apoyo moral y económico para cumplir nuestros sueños, por confiar en nuestras capacidades y compartir con nosotros victorias y derrotas.

Nuestra gratitud para nuestros hermanos: Gustavo y Kamila; Katherin y Andrés por ser inspiración y apoyo a lo largo de nuestras vidas, por sus oraciones y palabras de aliento, que han hecho de nosotros mejores personas.

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por ser parte de nuestra formación tanto profesional como humana, fomentando siempre el carisma de Don Bosco y al Ingeniero William Montalvo, MSc. quien con su conocimiento ha apoyado el Trabajo de Titulación, con responsabilidad y esmero. De igual manera nuestros agradecimientos a los ingenieros: Johanna Celi, Jhonny Barrera, Roberto Pérez y Ricardo Zapata quienes no solo han compartido sus conocimientos con nosotros, sino también su amistad y aprecio. A nuestros compañeros y amigos Santiago, Mauricio, Alexander, Tatiana, Mauricio Andrés, por el apoyo brindado dentro y fuera de la universidad.

Finalmente, queremos agradecer a nuestros amigos y amigas de adolescencia: Pablo, Nora, Joao y Andrea; Marcela, Pamela, Andrea y Judith por habernos acompañado gran parte de nuestras vidas y ser un apoyo constante a pesar de tener profesiones distintas.

Edwin & Adriana

ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.3 Justificación.....	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Beneficiarios.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Inyectora de plástico.....	4
2.1.1 Ciclo de Inyección	4
2.1.2 Partes de una inyectora	5
2.2 Sistema de control oleo hidráulico	5
2.2.1 Componentes básicos del sistema de Control Hidráulico.....	5
2.3 Automatización industrial	6

2.3.1	Automatismos secuenciales	6
2.3.2	Parte operativa y parte de control de un sistema de automatización	7
2.4	Sistemas de control.....	7
2.5	Autómata programable (PLC)	8
2.6	Interfaz hombre máquina (HMI)	9
2.7	Elementos de sistema de control	9
2.7.1	Termopar o Termocupla	9
2.7.4	Controlador de Temperatura.....	10
2.8	Aplicaciones similares del proyecto	10
2.8.1	Aplicación 1	10
2.8.2	Aplicación 2.....	11
2.8.3	Aplicación 3.....	12
CAPÍTULO 3	14
DESARROLLO	14
3.1	Caracterización	14
3.2	Diseño del sistema.....	16
3.2.1	Diseño del Circuito Hidráulico	17
3.2.2	Dimensionamiento del Tanque	19
3.2.3	Filtros	20
3.2.4	Dimensionamiento de las válvulas de alivio	21
3.2.5	Elección de Electroválvulas.....	21
3.2.6	Selección del Controlador Lógico Programable (PLC).....	22
3.2.7	Selección del HMI	26
3.3	Elementos de protección.....	27
3.4	Selección de conmutadores	30
3.4.1	Relé de estado Sólido (SSR).....	30
3.4.2	Selección de contactores para resistencias.....	31

3.4.3 Selección y calibración del controlador de temperatura.....	31
3.5 Algoritmo de programación	34
3.6 Software de programación del PLC	39
3.7 Diseño del HMI	40
3.7.1 Ventana de Inicio	40
3.7.2 Ventana de Proceso.....	41
3.7.3 Ventanas de Moldes.....	43
3.8 Software de programación para HMI.....	44
CAPÍTULO 4.....	46
PRUEBAS Y RESULTADOS	46
4.1 Puesta en marcha	46
4.2 Estadísticas de funcionamiento manual y automático.....	48
4.2.1 Producción manual y automática (1 hora).....	49
4.2.2 Producción manual y automática (4 horas).....	50
4.2.3 Piezas defectuosas (1 hora).....	52
4.2.4 Piezas defectuosas (4 horas)	53
CAPÍTULO 5.....	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1. Conclusiones	54
5.2 Recomendaciones	55
REFERENCIAS.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 Inyectora de Plástico.....	5
Figura 2. 2 Circuito Hidráulico Básico	6
Figura 2. 3 Sistema de Control Lazo Abierto	7
Figura 2. 4 Control Lazo Cerrado	8
Figura 2. 5 Estructura PLC.....	8
Figura 2. 6 Interfaz Hombre Máquina.....	9
Figura 2. 7 Termopar.....	10
Figura 2. 8 Controladores de Temperatura	10
Figura 2. 9 Tablero de Control MIR 65	11
Figura 2. 10 Tablero de Control Proyecto ESPOCH	12
Figura 2. 11 Tablero de Control ESPE.....	13
Figura 3. 1 Inyectora de Plástico en estado inicial.....	16
Figura 3. 2 Ciclo de Funcionamiento de la Inyectora	17
Figura 3. 3 Circuito Hidráulico	18
Figura 3. 4 Tanque Hidráulico	19
Figura 3. 5 Adecuaciones del Tanque	20
Figura 3. 6 Filtro de Succión y su ubicación.....	20
Figura 3. 7 Equipo Hidráulico.....	22
Figura 3. 8 Entradas Digitales	24
Figura 3. 9 Salidas Digitales	25
Figura 3. 10 PLC Delta	26
Figura 3. 11 HMI Delta.....	27
Figura 3. 12 Relés de Estado Sólido	31
Figura 3. 13 Contactores electromecánicos	31
Figura 3. 14 Termocupla tipo K.....	32
Figura 3. 15 Controlador de Temperatura.....	32
Figura 3. 16 Parte externa e interna del Tablero	33
Figura 3. 17 Flujograma Funcionamiento Manual.....	35
Figura 3. 18 Flujograma Funcionamiento Automático	36
Figura 3. 19 Diagrama de Flujo de Conversión y Almacenamiento de Datos.....	37
Figura 3. 20 Diagrama de Flujo del Proceso de Encender Resistencias	38
Figura 3. 21 Flujograma Apagar Resistencias	39

Figura 3. 22 Entorno de programación PLC	40
Figura 3. 23 Ventana de Inicio del HMI	41
Figura 3. 24 Ventana del Proceso	42
Figura 3. 25 Ventana de Molde 1 y 2.....	43
Figura 3. 26 Entorno de programación del HMI.....	44
Figura 3. 27 Funcionamiento del HMI.....	45
Figura 3. 28 Inyectora Automatizada.....	45
Figura 4. 1 Configuración de datos en el HMI.....	48
Figura 4. 2 Pieza Inyectada	48
Figura 4. 3 Comparación de producción en 1 hora	50
Figura 4. 4 Comparación de producción en 4 horas.....	51
Figura 4. 5 Piezas defectuosas (1 Hora).....	52
Figura 4. 6 Piezas defectuosas (4 Horas)	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 3. 1 Elementos Eléctricos	14
Tabla 3. 2 Elementos Hidráulicos	15
Tabla 3. 3 Elementos del circuito hidráulico de la Figura 3.3	19
Tabla 3. 4 Mapa de entradas y salidas del PLC	23
Tabla 3. 5 Características PLC Delta DVP24ES200T	23
Tabla 3. 6 Elementos de entrada del PLC	25
Tabla 3. 7 Elementos de Salida del PLC.....	26
Tabla 3. 8 Características del HMI	27
Tabla 3. 9 Características del Controlador de Temperatura.....	33
Tabla 3. 10 Botones Tablero Eléctrico.....	34
Tabla 3. 11 Botones Pantalla Principal	41
Tabla 3. 12 Elementos ventana Proceso.....	42
Tabla 3. 13 Elementos Ventana de Moldes 1 y 2.....	44
Tabla 4. 1 Tiempo de cada proceso.....	47
Tabla 4. 2 Producción modo manual y automático (1 Hora)	49
Tabla 4. 3 Producción Automática.....	51

RESUMEN

La microempresa IBALL, encargada de la producción de elementos plásticos, se encuentra en etapa de crecimiento, debido a esto se ven en la necesidad de mejorar su maquinaria para satisfacer la demanda de clientes y brindar productos de calidad y de esta manera ser más competitivos en el mercado.

En la actualidad, esta Empresa aún cuenta con máquinas inyectoras funcionando manualmente con un operario, el mismo que cumple con varias funciones, lo que dificulta tiempos de entrega y disminuye la calidad del producto. Para mejorar la productividad se procedió a la automatización de una inyectora de plástico, la cual tiene procesos cíclicos con tiempos configurables para diferentes tipos de moldes. La máquina automatizada consta de varios procesos como carga, inyección, apertura y cierre del molde; además de contar con espacios de tiempo configurables para enfriamiento y expulsión, tiene dispuesto espacios de memoria para almacenar datos de cuatro moldes. La máquina puede funcionar en modo manual y automático.

El sistema electro hidráulico cuenta con un Controlador Lógico Programable marca Delta para la etapa de control y un HMI de la misma marca para ser la interfaz de configuración del operario. Para el accionamiento de los actuadores hidráulicos se utilizó electroválvulas biestables marca Vickers. Además, consta con todos los elementos de seguridad necesarios.

ABSTRACT

The micro-enterprise IBALL, is responsible for the production of plastic elements, is in the growth stage, explains the need to improve their machinery to meet customer demand and provide quality products and thus be more competitive in the market.

Currently, this is a company with injection machines, operating with an operator, which performs several functions, which hinders delivery times and product quality. To improve productivity, the automation of a plastic injection machine is processed, which has cyclic processes with configurable times for different types of molds. The automated machine consists of several processes such as loading, injection, opening and closing the mold, in addition to having configurable time slots for cooling and ejection. The machine can operate in manual and automatic mode.

The electro hydraulic system has a programmable Delta Logic Controller for the control stage and an HMI of the same brand for the operator configuration interface. To operate the hydraulic actuators, Vickers brand bistable solenoid valves are used. In addition, it has all the necessary security features.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se detalla el proceso de automatización de una máquina inyectora de plástico. Se desarrolla su contenido en cuatro capítulos descritos brevemente a continuación.

En el capítulo uno se detalla la problemática a resolver, junto con la justificación, los objetivos planteados y la metodología utilizada para desarrollar la solución propuesta, además el grupo que se verá beneficiado con la realización de este proyecto.

En el capítulo dos se muestra el estado de arte de cada uno de los elementos utilizados en el desarrollo de este proyecto de automatización con literatura especializada tomada de fuentes variadas de información hidráulica, eléctrica y electrónica.

En el capítulo tres se aborda el diseño tanto del sistema de control electrónico como del sistema hidráulico implementado en la máquina, también se muestra la selección de elementos de protección, diagramas de flujo para describir el funcionamiento de la máquina, diagrama hidráulico y diagramas de entradas y salidas del PLC

En capítulo cuatro se describe la puesta en marcha y el resultado de la automatización mediante varias pruebas de producción y pruebas de piezas defectuosas en diferentes tiempos, validando los resultados obtenidos en el presente proyecto.

En el capítulo cinco se muestra las conclusiones a las que se pudo llegar con el desarrollo del proyecto, validando la propuesta de automatización, además de las recomendaciones que serán útiles para el mejoramiento de este sistema en futuros proyectos.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En este capítulo se detalla el problema a resolver con su respectiva justificación, así como el objetivo general y específicos planteados en este proyecto de titulación, importancia y el grupo que se verá beneficiado con la automatización del presente proyecto

1.1 Planteamiento del problema

La micro empresa IBALL se encuentra legalmente constituida desde enero del 2001 en Conocoto; actualmente el técnico propietario de esta micro empresa es el señor Byron Llumiquinga, quien tiene un título otorgado por el SECAP como Técnico en Matricería de Conformación y Corte. Uno de sus principales objetivos está enfocado en renovar e incrementar maquinaria y tecnología para un mejor servicio de sus clientes.

La principal problemática que presenta esta Empresa es la competencia desleal de productos plásticos chinos que entran al país a costos muy bajos, esto ha hecho que se vea amenazada la cartera de clientes, los cuales siempre buscan los mejores precios.

Por otra parte, esta Empresa al contar con la mayoría de sus máquinas manuales, genera problemas en la productividad debido a que necesita tener un operario a tiempo completo, corriendo riesgos físicos, el cual podría cumplir otras actividades como limpieza y empaquetado del producto, y el proceso de elaboración es más lento, debido a estas circunstancias aumenta la cantidad de productos defectuosos.

Además, al tener máquinas manuales el mantenimiento tiene que ser constante y la detección de averías resulta más complicada, todos estos aspectos encarecen el producto y dificulta la competitividad. Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta: ¿Se puede automatizar una inyectora de plástico de tal manera que mejore la productividad de la empresa IBALL?

1.3 Justificación

En el Ecuador la industria plástica ha desarrollado su actividad de forma más fuerte en la pequeña y mediana empresa, actividad que está en constante crecimiento debido a la gran demanda de producto plástico y polímero, esto hace que la industria plástica sea uno de los sectores con mayor dinamismo económico en el país. (Lara, 2017)

En la Ciudad de Quito un gran número de empresas dedicadas a la fabricación de accesorios plásticos, se encuentran dentro de las *pymes* situación que dificulta la competencia con empresas grandes y con producto extranjero que ingresa con bajos costos al país. (DAVILA, 2015)

Debido a esto la Empresa IBALL se ve en la necesidad de automatizar una máquina inyectora de plástico para mejorar su producción y buscar el crecimiento como empresa. Al implementar un sistema de control automático se logrará mejorar tiempos de elaboración realizando procesos cíclicos y disminuyendo la acción física de un operario, además de mejorar los tiempos de mantenimiento y facilitar la detección de averías. Por otro lado, se podrá tener un mejor manejo de la temperatura en la unidad de inyección evitando así el desperdicio innecesario de materia prima. (Martinez, BlogSEAS, 2017)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Automatizar una Inyectora de Plástico mediante la implementación de un sistema de control electro hidráulico automático para la reducción de tiempos de producción de la Empresa IBALL

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los elementos con los que cuenta la máquina con manuales y planos de maquinaria actual estableciendo los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto.
- Investigar en variadas fuentes de información la alternativa más adecuada para la automatización de la inyectora de plástico.

- Diseñar el sistema de control electrohidráulico mediante software de simulación, para la validación de la alternativa seleccionada.
- Implementar el sistema electro hidráulico para el control de actuadores hidráulicos de la inyectora de plástico.
- Realizar el algoritmo de programación con la ayuda de diagramas de flujo estableciendo la lógica que debe cumplir la inyectora de plástico.
- Realizar pruebas de funcionamiento y desempeño a través del análisis de la estadística de tiempo de ciclos de trabajo para la validación de la solución propuesta.

1.4 Beneficiarios

IBALL es una microempresa familiar a cargo del Señor Byron Llumiquinga técnico propietario de la misma. Esta micro empresa se encuentra dedicada a la inyección de productos plásticos para el sector ferretero, fabricación de cucharas de plástico y servicio de mecánica industrial, así como reparación y mantenimiento de montacargas a domicilio. A pesar de ser una empresa multifuncional basan su economía principalmente en la producción de productos de plástico cuya demanda es grande.

En este proyecto la microempresa IBALL es el principal beneficiario, debido a que al automatizar una de sus máquinas obtendrán aumento de producción, mejor calidad de productos, mayor cantidad de tiempo disponible para la ejecución de otros procesos. Estos beneficios se verán reflejados con mayor ingreso de recursos económicos para la microempresa, debido que al mejorar sus procesos pueden brindar a sus clientes mejor calidad de productos en menor tiempo de entrega, además de poder diversificar su producción.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detalla el estado de arte de los elementos y sistemas relacionados al proyecto de titulación, utilizando literatura especializada de diferentes fuentes de información correspondiente a temas de hidráulica, eléctrica y electrónica.

2.1 Inyectora de plástico

Una inyectora de plástico realiza un proceso de elaboración para inyectar el polímero dentro del molde deseado, el cual es cerrado a presión, el material se cristaliza obteniendo el producto final una vez que el molde se haya abierto. (Albarrán, 2014)

La inyección por moldeo tiene varias ventajas como son: costos de producción, alto volumen de producción, automatización del proceso, mejores acabados, producción de geometrías complejas, etc. (Prada & Acosta, 2017)

Este tipo de máquinas tienen tres módulos primordiales:(Mariano, 2011)

- Unidad de inyección
- Unidad de cierre
- Unidad de control

2.1.1 Ciclo de Inyección

La producción del producto de plástico mediante inyección, tiene un orden de procesos, los cuales son cíclicos para cada pieza de manera independiente. Este ciclo se divide en seis etapas: (Mariano, 2011)

- Se cierra el molde vacío.
- El tornillo actúa como pistón, sin girar, inyectando el material con una presión determinada hacia el molde.
- El tornillo traslada el material de plástico y los plastifica.
- Una vez que el material esté en el molde se enfría mediante recirculación de agua, para después abrir el molde y expulsar la pieza.
- Finalmente se cierra el molde y el ciclo se vuelve a repetir.

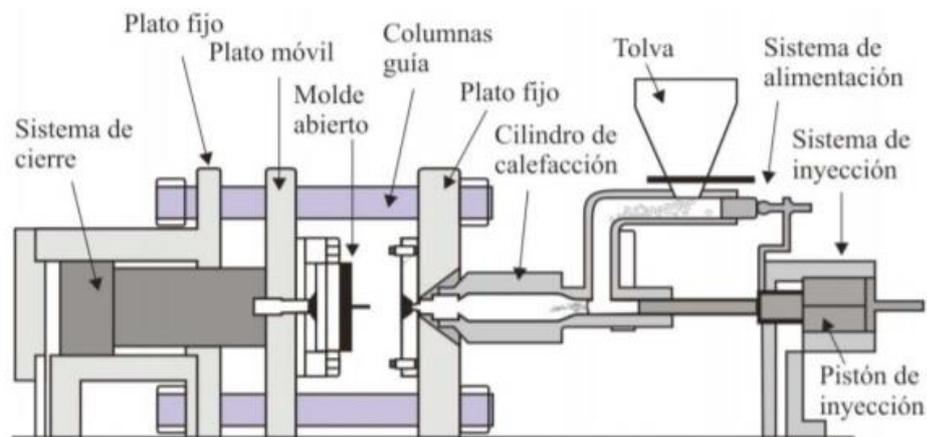
2.1.2 Partes de una inyectora

Las partes principales de un inyectora de plástico son las siguientes: (Mariano, 2011)

- Unidad de plastificación.
- Tolva de alimentación.
- Husillos.
- Barril de inyección.

En la Figura 2.1 se muestra el esquema y las partes de la Inyectora de Plástico.

Figura 2. 1 Inyectora de Plástico



Esquema y partes de la Inyectora de Plástico Fuente:(Beltrán & Marcilla, 2011)

2.2 Sistema de control oleo hidráulico

Los sistemas hidráulicos son los que usan el aceite industrial como fluido principal, los fluidos hidráulicos se rigen a diferentes leyes como son: (Saavedra, 2015)

- Principio de Pascal
- Ecuación de Continuidad
- Teorema de Bernoulli
- Potencia hidráulica

2.2.1 Componentes básicos del sistema de Control Hidráulico

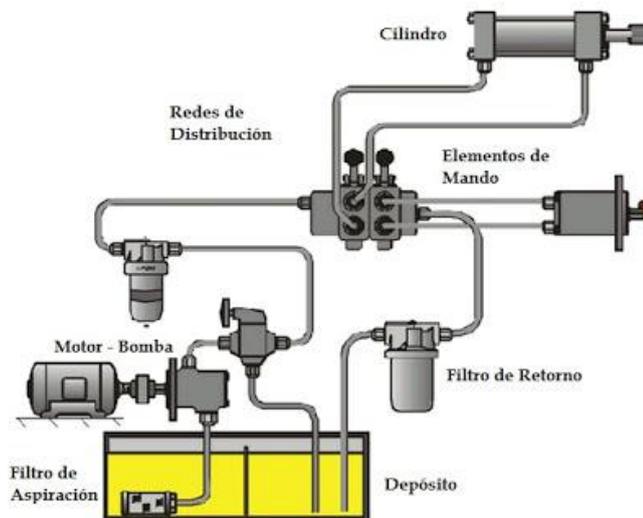
El sistema de control electrohidráulico cuenta con los siguientes elementos para su funcionamiento. (Crespo, 2014)

- Válvulas de Control

- Electroválvula.
- Bombas
- Cilindros
- Filtro
- Motor Hidráulico

Todos estos elementos forman parte de un circuito hidráulico básico, sin embargo, dependiendo los requerimientos estos pueden variar. En la Figura 2.2 se puede observar el esquema de un circuito hidráulico básico.

Figura 2. 2 Circuito Hidráulico Básico



Elementos que conforman un circuito hidráulico básico. Fuente: (Alvarez, 2011)

2.3 Automatización industrial

Los elementos principales que constituyen la automatización industrial son los sensores, transductores, pre accionadores, accionadores, instrumentos de tratamiento de la información. La automatización tiene como principal objetivo la sustitución del hombre por la máquina en tareas específicas. (Martinez, 2017)

2.3.1 Automatismos secuenciales

Para conseguir su objetivo, el automatismo debe interactuar con el proceso actuando sobre él mediante los actuadores y conociendo su estado mediante los captadores.

También permite al operador actuar directamente sobre el sistema y le mantiene informado sobre su estado.(Barrientos & Gambao, 2014)

2.3.2 Parte operativa y parte de control de un sistema de automatización

Un sistema automático de fabricación tiene por objetivo sustituir al operador humano tanto en sus acciones físicas como mentales, es decir, en la toma de decisiones y en la realización de las mismas. La tecnología empleada en la parte operativa dependerá fuertemente de las características del proceso a automatizar. Para la implantación tecnológica de la parte de control existen dos diferentes alternativas históricamente utilizadas: (Barrientos & Gambao, 2014)

- Tecnología cableada
- Tecnología programada

2.4 Sistemas de control

Según su aplicación o finalidad los sistemas de control se dividen en dos tipos: (Rodriguez, 2003)

- Sistema de control lazo abierto: Es un sistema de control en el que, aunque actúa sobre algunas variables no se efectúa auto-corrección. Requiere para su buen funcionamiento que las variables una vez ajustadas, no varíen en el tiempo. En la Figura 2.3 se observa el esquema de un sistema de control lazo abierto.

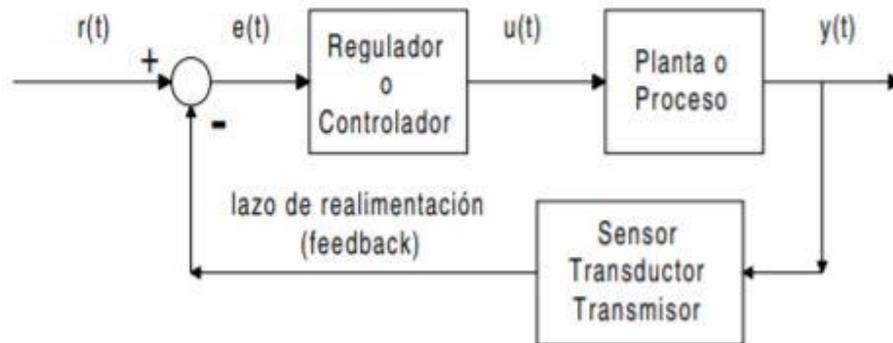
Figura 2. 3 Sistema de Control Lazo Abierto



Esquema del Sistema de Control en lazo abierto. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

- Sistema de control lazo cerrado: Es un sistema de control, el cual se encuentra calculando el error de manera permanente por medio del controlador efectuando una acción correctiva que depende de la magnitud del error. En la Figura 2.4 se observa un control lazo cerrado.

Figura 2. 4 Control Lazo Cerrado

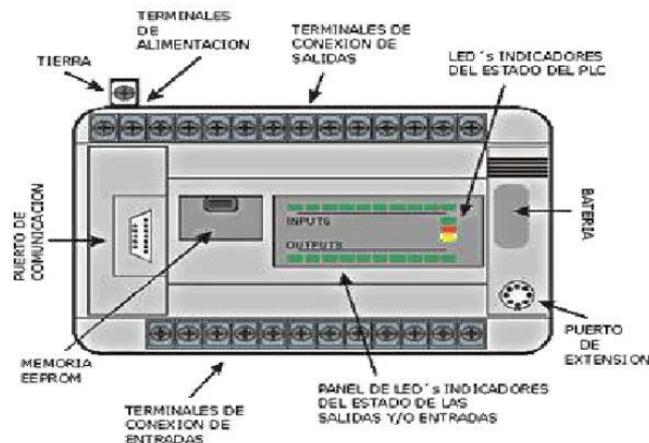


Esquema del Sistema de Control en lazo abierto. Fuente:(Rodriguez, 2003)

2.5 Autómata programable (PLC)

Se puede definir un autómata programable o controlador lógico programable (PLC) como un computador digital diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real y con capacidad de trabajar en ambientes industriales. (Barrientos & Gambao, 2014). En la Figura 2.5 se muestra la estructura básica de un PLC.

Figura 2. 5 Estructura PLC

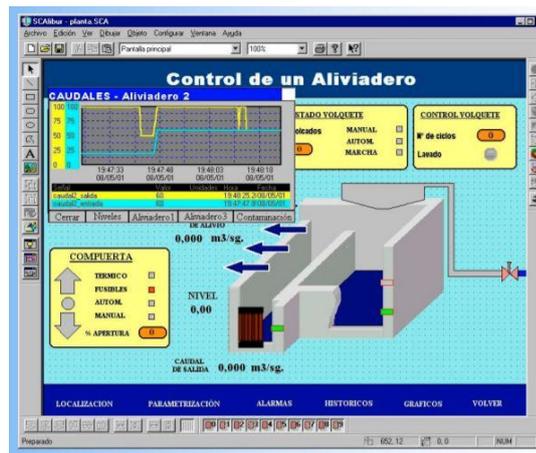


Estructura básica que tiene un PLC. Fuente: (Terán, 2011)

2.6 Interfaz hombre máquina (HMI)

Es la interfaz entre el proceso y los operarios de una fábrica, una línea de producción, una empresa o cualquier sistema donde sea necesaria la operación por parte de un humano. En sí, es un panel de instrumentos que el operario puede manipular para controlar un proceso. La función principal de los HMI es mostrar información en tiempo real, proporcionar gráficos visuales y digeribles que aporten significado y contexto sobre el estado del motor, la válvula, niveles y demás parámetros de un determinado proceso. Es decir, suministran información operativa al proceso y permiten controlar y optimizar los objetivos de productos y del proceso en sí. Las palabras clave que definan el sistema HMI es: operar y observar. Un HMI puede ir desde un interruptor hasta un complejo sistema de control y monitoreo de una línea de producción industrial. (Autycom, 2017). En la figura 2.6 se muestra una interfaz HMI de 7 pulgadas.

Figura 2. 6 Interfaz Hombre Máquina



Interfaz táctil para la interacción del humano con la máquina. Fuente:(Universidad de Oviedo, 2010)

2.7 Elementos de sistema de control

2.7.1 Termopar o Termocupla

Consiste, básicamente, en un par de conductores etiquetados como A y B, los cuales tienen diferentes propiedades; en general, estos conductores son metálicos y se encuentran unidos entre sí formando un bucle o circuito, donde dichas uniones están sometidas a diferentes temperaturas. En estas circunstancias se genera una corriente eléctrica a través del circuito. En la Figura 2.7 se observa un termopar. (Corona, Abarca, & Mares, 2014)

Figura 2. 7 Termopar



Termocupla tipo K para medir temperatura. Fuente: (Ingeniería Mecafenix, 2017)

2.7.4 Controlador de Temperatura

Es un dispositivo capaz de medir una temperatura con una gran precisión, sin tener que estar en contacto con esta. Estos instrumentos además de ser muy precisos, tienen un rango de medición muy amplio. Pueden medir temperaturas desde -50°C a 4000°C , por ende, las aplicaciones son de todo tipo.(Admin, 2017). En la Figura 2.9 se observa varios modelos.

Figura 2. 8 Controladores de Temperatura



Controladores de temperatura tipo ON/OFF. Fuente: (Teii, 2010)

2.8 Aplicaciones similares del proyecto

2.8.1 Aplicación 1

La señorita Cristina Aguirre y el señor Jean Proaño de la Universidad Politécnica Salesiana realizaron un proyecto similar de automatización en febrero de 2018 para la empresa INSOPLASTIC en Quito, el cual consiste en el desarrollo de un sistema de

automatización para una inyectora de plástico MIR 65, con la finalidad de lograr que la inyectora sea controlada por un PLC, pudiendo así añadir nuevos procesos de control dependiendo de la producción.

Este proceso permitió eliminar el excesivo cableado existente al utilizar contactores mecánicos y temporizadores para su funcionamiento y que al ser reemplazados por un PLC e interfaz HMI se facilitó la interacción entre el proceso y operario al obtener una interfaz gráfica de fácil interpretación y acorde a las necesidades de cada producto en fabricación. Para conocer los detalles de este proyecto se puede acceder a la información de (Aguirre & Proaño, 2018).

Figura 2. 9 Tablero de Control MIR 65



Unidad de Control para Inyectora MIR 65. Fuente: (Baldeon & Janeta, 2016)

2.8.2 Aplicación 2

Los señores de la Escuela Politécnica de Chimborazo Paul Baldeon y Alex Janeta realizaron este proyecto para la empresa EDBOR en el año 2016 en la ciudad de Quito con el objetivo de ahorrar tiempo, en la elaboración de piezas plásticas. La máquina dispone de: dos cilindros neumáticos, bandas de resistencia calorífica, reguladores de temperatura, moldes, PLC, electroválvulas, filtro regulador lubricador. Luego de realizar las conexiones y acoples logrando la estanqueidad en el sistema neumático, se

realiza la programación en el PLC y servirá para que la máquina funcione correctamente, finalmente se realizan pruebas de funcionamiento coordinando los ciclos de avance y retorno para cada cilindro y los tiempos de funcionamiento del ciclo de trabajo. Los detalles de este proyecto se pueden encontrar en (Baldeon & Janeta, 2016)

Figura 2. 10 Tablero de Control Proyecto ESPOCH



Tablero de Control para inyectora de plástico. Fuente: (Baldeon & Janeta, 2016)

2.8.3 Aplicación 3.

El señor Richard Guamán de la Escuela Politécnica del Ejército realizó la repotenciación de la inyectora VAN DORN en la empresa TECNITROQUEL S.A. en el año 2017 en Sangolquí. En el proyecto se realizó investigación sobre el proceso de inyección de plásticos y las máquinas que realizan este proceso. Se aplican conocimientos de instrumentación, automatización de procesos y sistemas hidráulicos, además conocimientos de programación de controladores lógicos programables. Se investigó las características más importantes para así realizar el diseño y así llevar a cabo la repotenciación de mismo. Se realizó diagramas: eléctrico, hidráulico, P&ID para así tener todo debidamente documentado y realizar mantenimientos correctivos y preventivos.

Se realiza la automatización utilizando un PLC SIMENS S7-1200, además se realiza el interfaz humano-máquina que permitirá la configuración de tiempos del proceso de inyección, también se realizó pruebas de funcionamiento y calibraciones para validación de resultados. Los detalles de este proyecto se encuentran en (Guaman, 2017)

Figura 2. 11 Tablero de Control ESPE



Tablero de Control y HMI instalado. Fuente: (Guaman, 2017)

CAPÍTULO 3 DESARROLLO

En este capítulo se detalla la caracterización del sistema anterior, la solución adoptada, su diseño, cálculos, selección de elementos hidráulicos, electrónicos y de seguridad, algoritmos mediante diagramas de flujo e implementación para el desarrollo satisfactorio del proyecto.

3.1 Caracterización

La micro empresa IBALL se encuentra en proceso de crecimiento, por lo cual se ve en la necesidad de mejorar los procesos de producción. En este caso se automatizó una máquina inyectora de plástico que se encontraba funcionando en modo manual. Para la automatización, previamente se realizó la caracterización de la inyectora para saber con qué elementos cuenta la máquina, los cuales son detallados en la Tabla 3.1 y Tabla 3.2. y su estado anterior se puede evidenciar en la Figura 3.1

Tabla 3. 1 Elementos Eléctricos

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN
Tablero Eléctrico	Fabricación Local	Encendido y apagado de motor y resistencias
Controlador de temperatura	Marca: Camsco TC-72 y Autonix TOS	Controlan la temperatura de la cocina o cañón
Resistencias	Potencia: 450 W	Calienta la cocina
	Voltaje: 220 [V]	
Termocupla	Tipo: K	Sensor de temperatura para la cocina

Elementos eléctricos involucrados en la inyectora inicialmente. Autores: Edwin Armijos y Adriana

Vivas

Tabla 3. 2 Elementos Hidráulicos

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN
Motor Eléctrico	Marca: West	Conversión de energía eléctrica en energía mecánica
	Trifásico	
	Potencia: 7,5 HP	
	$fp=0,8$	
	$\eta = 0,8$	
	rev/min: 1750	
Bomba Hidráulica	Giro: Derecho	Suministra aceite al sistema hidráulico
	Marca: Honor	
	Tipo: engranaje	
	Giro: izquierdo	
Tanque	Caudal: $16 \text{ cm}^3/\text{rev}$	Almacena el fluido hidráulico
	Galones: 10	
Motor Hidráulico	Marca: International	Suministra carga a la cocina
Cilindro 1	Fabricación Local	Abrir y cerrar el molde
	Carrera: 10 in	
	Diámetro: 2 in	
Cilindro 2	Marca: Prince	Inyección de material
	Carrera: 8 in	
	Diámetro: 4 in	
Válvula de dirección manual	Marca: OMFB	Mando de funcionamiento
	3 servicios	

Elementos hidráulicos involucrados en la inyectora inicialmente. Autores: Edwin Armijos y Adriana

Vivas

Figura 3. 1 Inyectora de Plástico en estado inicial



Inyectora de Plástico antes de la automatización. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

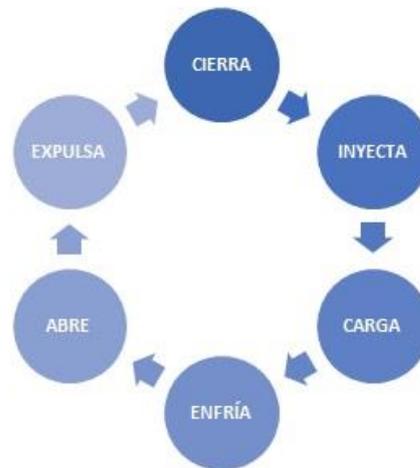
Una vez realizada la caracterización, se procedió a analizar los elementos con los que se podía contar para la automatización y los que serán sustraídos del sistema. Los elementos eliminados del sistema se muestran a continuación:

- Tablero eléctrico
- Válvula de dirección Manual
- Tanque
- Controladores de temperatura

3.2 Diseño del sistema

Dentro de las especificaciones del propietario, se dispuso la utilización de un Controlador Lógico Programable para la automatización del proceso. La máquina cuenta con la opción de trabajar en modo manual y automático y debe operar bajo los pasos que se observa en la Figura 3.2.

Figura 3. 2 Ciclo de Funcionamiento de la Inyectora



Proceso de funcionamiento que realiza la inyectora. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Previo al ciclo de funcionamiento de la máquina las resistencias deben estar encendidas hasta llegar a la temperatura adecuada, es importante no realizar el proceso de inyección y carga, si estas no se encuentran en la temperatura configurada para evitar daños mecánicos. Las primeras piezas deben realizarse en modo manual para la calibración adecuada de temperatura y tiempos de cada uno de los procesos, además antes de ingresar a modo automático la cocina debe encontrarse cargada.

Teniendo la cocina o cañón a la temperatura adecuada y previamente cargada, el proceso debe iniciar con el molde cerrado, posterior a esto se realiza la inyección del material, después de este proceso se debe cargar el mismo a la cocina mientras que en el molde se solidifica la pieza deseada. Para complementar la solidificación se realiza un proceso de enfriamiento, finalmente se abre el molde expulsando la pieza

3.2.1 Diseño del Circuito Hidráulico

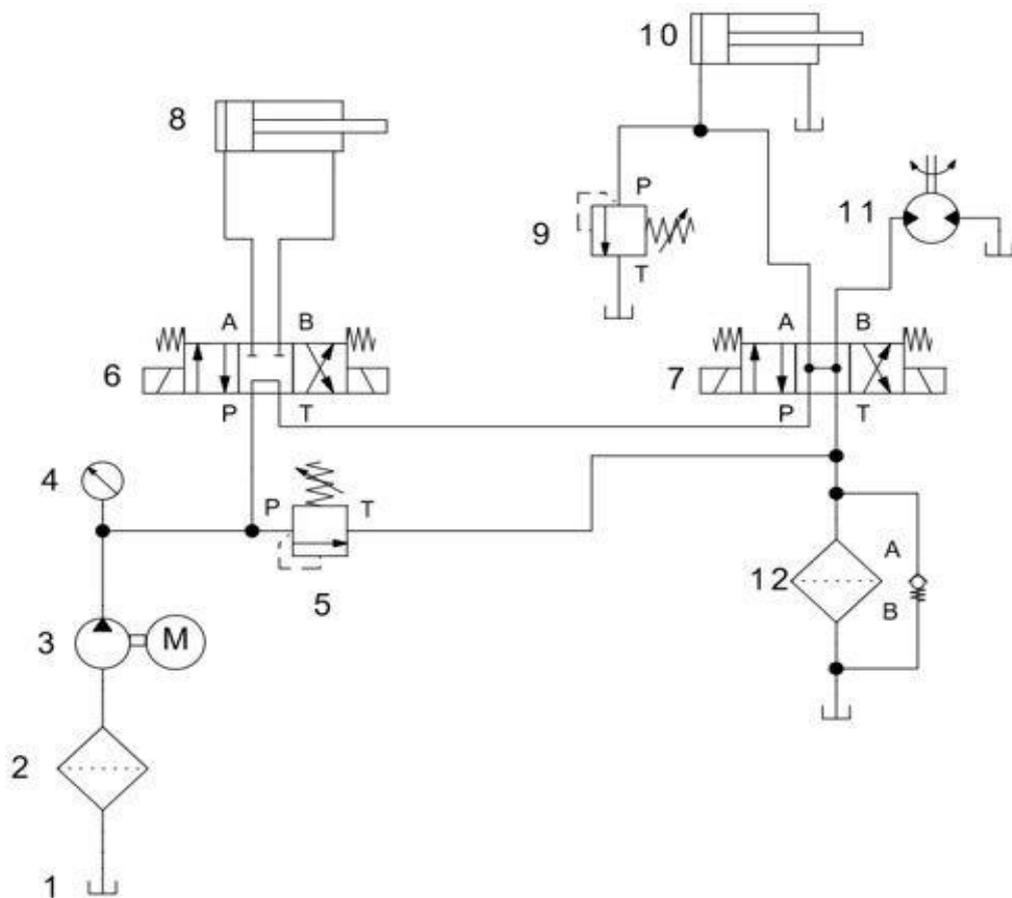
Para diseñar el circuito hidráulico es necesario determinar los actuadores y su función dentro de la máquina, en este caso la misma cuenta con 3 actuadores hidráulicos, los cuales son:

- Cilindro doble efecto para la inyección
- Cilindro doble efecto para abre/cierra molde
- Motor hidráulico para carga

El circuito hidráulico a implementarse se observa en la Figura 3.3. La máquina cuenta con el grupo motor bomba, cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 3.2. Con estos datos se seleccionó los elementos faltantes en el circuito hidráulico como son:

- Tanque
- Filtro de succión
- Filtro de retorno
- Filtro desgasificador
- Válvulas de alivio
- Electroválvulas biestables

Figura 3. 3 Circuito Hidráulico



Circuito Hidráulico a Implementarse. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Tabla 3. 3 Elementos del circuito hidráulico de la Figura 3.3

ITEM	ELEMENTO
1	Tanque
2	Filtro de succión
3	Grupo Motor Bomba
4	Manómetro
5	Válvula de Alivio
6	Electroválvula (Abre/Cierra)
7	Electroválvula (Inyecta/Carga)
8	Cilindro Doble Efecto (Abre/Cierra)
9	Válvula de Alivio
10	Cilindro Doble Efecto (Inyecta)
11	Motor Hidráulico
12	Filtro de Retorno

Detalle de los elementos del circuito hidráulico. Autores: Edwin Armijos Adriana Vivas

3.2.2 Dimensionamiento del Tanque

Para dimensionar el tanque es recomendable que la capacidad sea de dos a tres veces el caudal que entrega la bomba a la velocidad del motor. (Orduña, Olvera, Mendieta, & Acosta, 2012). Se tiene una bomba que entrega 16 cm^3 por cada revolución, al tener un motor de 1750 rpm se tendrá un caudal de $2800 \text{ cm}^3/\text{min}$, esto transformado a galones por minuto da como resultado $7,39 \text{ gal}/\text{min}$. Siguiendo la recomendación, se dimensionó el tanque al doble del caudal que entrega la bomba a 1750 rpm, es decir la capacidad del mismo es de 15 galones, de esta manera se dispuso de tanque con las siguientes medidas: alto 41cm, ancho 42cm y largo 60cm. En la Figura 3.4 se muestra la estructura del mismo.

Figura 3. 4 Tanque Hidráulico



Estructura del Tanque Hidráulico. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

El tanque consta de una tapa superior desmontable, una tapa lateral para limpieza, un drenó, además de dos puntos para recirculación de agua para enfriamiento del aceite oleo- hidráulico, estas modificaciones en el depósito se pueden observar en la Figura 3.5.

Figura 3. 5 Adecuaciones del Tanque



Ajustes realizados al tanque. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

3.2.3 Filtros

En la etapa de succión, se seleccionó un filtro tipo malla que retiene partículas hasta de 100 micrones, evitando que posibles impurezas que se encuentren en el tanque afecten a la bomba, además de garantizar que no exista resistencia a la succión. Para la etapa de retorno se seleccionó un filtro de celulosa que tiene la capacidad de retener impurezas hasta 10 micras, evitando que retorne al tanque partículas que podrían desprenderse de los actuadores. En la Figura 3.6 se presenta el filtro de succión instalado en el tanque.

Figura 3. 6 Filtro de Succión y su ubicación



Filtro de Succión ubicado en Tanque. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

3.2.4 Dimensionamiento de las válvulas de alivio

La válvula de alivio permite regular la presión del sistema, en esta aplicación al encontrarse con varios elementos sometidos a presión, se requiere de una válvula de alivio en la línea de presión de la bomba y por requerimiento del propietario se agregó una válvula que alivie en la línea de inyección. Para seleccionar las válvulas de alivio se debe calcular la presión en PSI que puede soportar la bomba. Para este cálculo se utilizará la Ecuación 3.1.

$$Presión (psi) = \frac{Potencia\ motor(HP) \times 1714}{Caudal (gpm)} \quad Ec. (3. 1)$$

Aplicando la ecuación 3.1 se tiene:

$$Presión (psi) = \frac{7,5(HP) \times 1714}{7,39\ gpm.}$$

$$Presión (psi) = 1739 [psi]$$

Con los valores obtenidos del cálculo de la presión se puede observar que la bomba en esta aplicación tiene la capacidad de soportar una presión de 1739[psi], por lo tanto, se selecciona las válvulas de alivio en un rango aproximado de 500 a 2000 [psi]

3.2.5 Elección de Electroválvulas

Recordando que la bomba trabaja a 7,39 gal/min se seleccionan dos electroválvulas cetop 3 que trabajan alrededor de los 15 gal/min. Cada una de las electroválvulas cuenta con dos solenoides para su accionamiento y retorno tipo muelle. La electroválvula es de 4/2 vías, centro tándem para la apertura y cierre del molde, mientras que para la inyección y la carga se seleccionó una electroválvula de 4/2 vías, centro abierto, las mismas que consumen una corriente de 0,6 [A].

Cabe recalcar que los retornos del cilindro de inyección y el motor para la carga van directo a tanque, por este motivo se puede utilizar una sola electroválvula para ambas funciones. Una vez establecidos los elementos con los que cuenta el sistema hidráulico se pudo proceder al ensamblaje del mismo, como se muestra en la Figura 3.7.

Figura 3. 7 Equipo Hidráulico



Ensamblaje del equipo Hidráulico. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

3.2.6 Selección del Controlador Lógico Programable (PLC)

Para la selección del PLC se debe recordar el ciclo de funcionamiento que se va a realizar. En este caso la máquina tiene seis etapas, donde sólo cuatro de ellas requieren salidas físicas del PLC. El ciclo de funcionamiento se detalla en la Figura 3.2. Cada uno de etapas requiere de un hardware, con excepción de las de enfriamiento y expulsión, las cuales solo necesitarán un espacio de memoria dentro del PLC. El hardware que se dispone para las entradas y salidas del PLC se detalla a continuación:

- 2 electroválvulas
- 1 motor de 7,5 HP trifásico, 220 [V]
- 3 finales de carrera
- 2 controladores de temperatura
- 2 resistencia de 4 KW
- 4 pulsadores
- 1 selector de 2 posiciones

Una vez conocido el ciclo de funcionamiento y el hardware que se va a conectar al PLC, se procedió a establecer el número de entradas y salidas necesarias en el controlador, las mismas que se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Mapa de entradas y salidas del PLC

Input Digital		Output Digital	
no.	Descripción	no.	Descripción
1	Relé térmico motor	1	Motor
2	Selector posición manual	2	Bobina abre molde
3	Selector posición automática	3	Bobina cierra molde
4	Pulsador abre molde	4	Bobina inyecta
5	Pulsador cierra molde	5	Bobina carga
6	Pulsador carga	6	Resistencia 1
7	Pulsador inyecta	7	Resistencia 2
8	Señal pirómetro 1		
9	Señal pirómetro 2		
10	Final de carrera abre		
11	Final de carrera carga		
12	Final de carrera seguridad		

Descripción de los elementos a utilizarse en las entradas y salidas del PLC.

Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Una vez establecido el número de entradas y salidas que se requieren en el controlador lógico programable y la aplicación que este va a tener, se procedió a buscar la mejor opción en características, precio, calidad y garantía. Tomando en cuenta estos parámetros, se seleccionó un PLC de la marca Delta serie DVP24ES200T, el cual consta de 16 entradas y 8 salidas digitales, quedando cuatro entradas y una salida digital disponibles para escalabilidad. En la Tabla 3.5 se presenta la descripción de las características del PLC Delta DVP24ES200T

Tabla 3. 5 Características PLC Delta DVP24ES200T

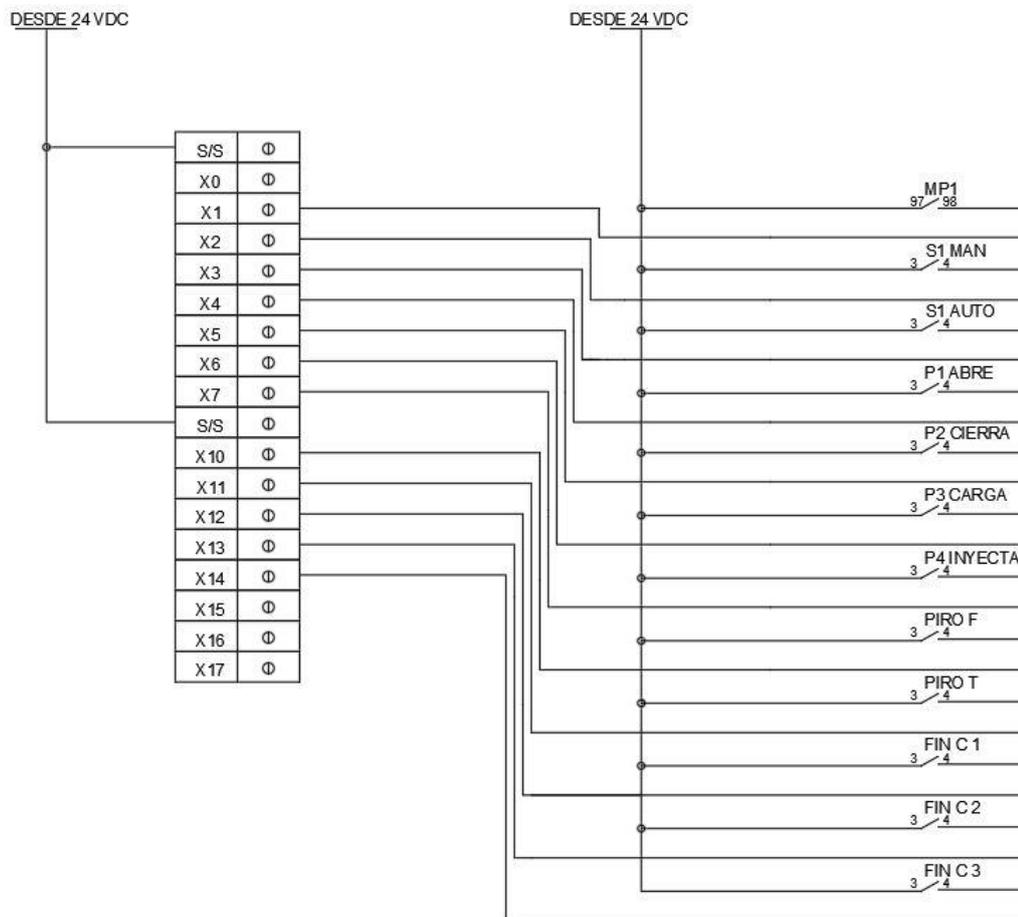
Serie	ES2 series
Alimentación	100-240 VAC
Entrada Digital	16
Salida Digital	8
Descripción	PLC Estándar
Tipo de Salida	Transistor
Dimensiones (mm)	(H)90 x (D)60
Montaje	Riel DIN

Descripción de las características del PLC Delta DVP24ES200T.

Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

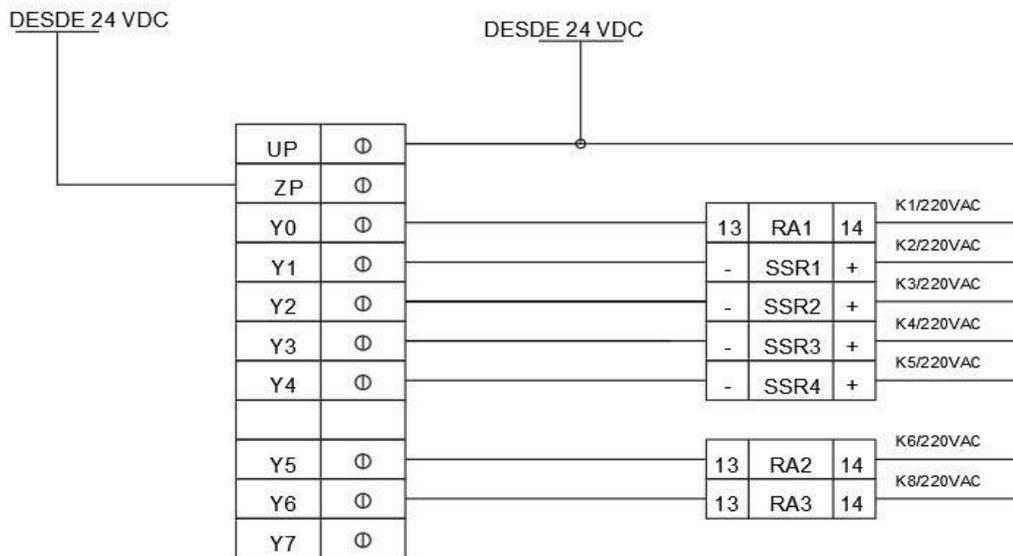
Una vez seleccionado el controlador lógico programable se puede establecer la conexión de los diferentes elementos en sus respectivos puertos. El esquema de conexión se realizó en el software AutoCad, estos diagramas facilitan la conexión física de los elementos en cada uno de los puertos de entradas y salidas. En las Figuras 3.8 y 3.9 se muestra la distribución de los elementos de control en las entradas y salidas del PLC.

Figura 3. 8 Entradas Digitales



Distribución de los elementos en cada entrada del PLC. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Figura 3. 9 Salidas Digitales



Distribución de los elementos en cada salida del PLC. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

En las Tablas 3.6 y 3.7 se especifica el elemento que se encuentra conectado en cada entrada y salida del PLC, donde el puerto de entrada X0 del PLC se encuentran libre para posibles modificaciones y los puertos X15, X16 y X17 se encuentran si conexión para escalabilidad. En la Figura 3.10 se presenta el PLC seleccionado.

Tabla 3. 6 Elementos de entrada del PLC

No.	BIT	Descripción
1	X0	Sin conexión
2	X1	Relé térmico motor
3	X2	Manual
4	X3	Automático
5	X4	Pulsador abre molde
6	X5	Pulsador cierra molde
7	X6	Pulsador carga
8	X7	Pulsador inyecta
9	X10	Señal pirómetro frontal
10	X11	Señal pirómetro trasero
11	X12	Final de carrera abre
12	X13	Final de carrera carga
13	X14	Final de carrera seguridad
14	X15	Sin conexión
15	X16	Sin conexión
16	X17	Sin conexión

Descripción de los elementos de entrada del PLC. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Tabla 3. 7 Elementos de Salida del PLC

No.	BIT	Descripción
1	Y0	Motor
2	Y1	Abre molde
3	Y2	Cierra molde
4	Y4	Inyecta
5	Y3	Carga
6	Y5	Resistencia frontal
7	Y6	Resistencia trasera
8	Y7	Sin conexión

Descripción de los elementos de salida del PLC. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Figura 3. 10 PLC Delta



Autómata Programable Delta. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

3.2.7 Selección del HMI

Una de las principales características que debe tener el HMI es que sea compatible con el PLC, que tenga el espacio adecuado para la interfaz que se va a desarrollar y que tenga la protección apropiada para el ambiente en el que va a trabajar. Analizando estas características se eligió la pantalla HMI DOP-B07E515 de 7", que cuenta con comunicación RS-485 con el PLC entre otras y Ethernet para transferencia de datos del computador a la interfaz. En la Tabla 3.8 se muestra la descripción de las características de la interfaz.

Cuenta con protección IP65 que indica protección completa contra contacto y penetración de polvo, además de protección contra chorros de agua en cualquier dirección, ideal para el ambiente en el que va a trabajar, ya que existen varias partículas

de polvo. En la Figura 3.11 se observa la pantalla HMI que se seleccionó para esta aplicación

Tabla 3. 8 Características del HMI

Modelo	DOP-B07E515	
Tipo de Pantalla	7" TFT LCD (65536 colors)	
Resolución	800 x 600 pixels	
Tamaño de Pantalla	141 x 105,75mm	
SDRAM	64Mbytes	
Memoria de Respaldo	16Mbytes	
Tarjeta de Memoria	Tarjeta SD (Compatible con SDHC)	
Puerto Serial COM	COM 1	RS-232
	COM2	RS- 232 /RS- 485
	COM3	RS- 422 / RS- 485
Voltaje de Operación	DC + 24V (- 10% ~ + 15%)	
Consumo de Energía	7,68W	

Descripción de las características del HMI. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Figura 3. 11 HMI Delta



Pantalla HMI. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

3.3 Elementos de protección

Para dimensionar los elementos de protección se debe conocer los valores de corriente nominal de cada uno de sus elementos y aplicar el factor de seguridad del 125% para cargas continuas, adicionando el 100% para cargas no continuas.(Farías, 2016)

3.3.1 Cálculo de la Corriente del motor

Para calcular la corriente del motor se utiliza la siguiente fórmula

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times fp \times \eta} \quad \text{Ec. (3. 2)}$$

Donde:

P: Potencia [W]

V: Voltaje entre líneas [V]

fp: Factor de Potencia

η: Eficiencia del Motor

Aplicando los datos del motor eléctrico mostrados en la Tabla 3.2, se procede a calcular la corriente del motor usando la Ecuación 3.2.

$$I = \frac{7,5 \times 746}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,8 \times 0,8}$$

$$I = 22,94 [A]$$

Una vez calculada la corriente del motor, se procede a seleccionar el breaker de seguridad con un sobredimensionamiento del 25%. En este caso se necesita un breaker de protección de alrededor de los 30 [A].

3.3.2 Cálculo de la corriente de las resistencias

La cocina o cañón dispone de seis resistencias, cada una de estas es de 450[W] a 220[V]. Se procede a calcular el valor de cada resistencia, para posteriormente encontrar la corriente que consume cada una de ellas.

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{Ec. (3. 3)}$$

De la ecuación 3.3 se obtiene:

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{220^2}{450}$$

$$R = 107,55 [\Omega]$$

La máquina inyectora tiene dos grupos de resistencias, cada uno de estos consta de tres resistencias conectadas en paralelo. Se procede a calcular el valor de resistencia y corriente para cada grupo con las Ecuaciones 3.4 y 3.5 respectivamente.

$$R_{eq} = \frac{R}{3} \quad \text{Ec. (3.4)}$$

$$R_{eq} = \frac{107,55}{3}$$

$$R_{eq} = 35,85 [\Omega]$$

$$I_T = \frac{V}{R_{eq}} \quad \text{Ec. (3.5)}$$

$$I_T = \frac{220}{35,85}$$

$$I_T = 6,13 [A]$$

El cañón dispone de dos grupos de resistencias que consumen 6,13 [A] cada uno, por lo tanto, se tiene una corriente total de 12,26 [A]. Una vez calculada la corriente total los dos grupos de las resistencias, se procede a seleccionar el breaker de protección para cada grupo de resistencias con un sobredimensionamiento del 25%. En este caso se necesita un breaker de protección de alrededor de los 15,32[A]. Por motivos comerciales se ubica un breaker de 20[A]

Debido a que el consumo de corriente del circuito de control con el PLC es bajo, se colocó dos breakers comerciales de 2 [A] un polo. Mientras que cada electroválvula consume 0,6 [A], para ello se dispuso de borneras con fusible de 1 [A]. Finalmente se procede a seleccionar el breaker principal, para esto se suma todas las cargas y se

sobredimensiona el 25%, esto es 46,77 [A], por este motivo se escogió un breaker de 50 [A] 3 polos.

3.4 Selección de conmutadores

3.4.1 Relé de estado Sólido (SSR)

Uno de los análisis principales para la selección de los relés es la frecuencia de conmutación, la cual en esta parte del proceso es constante por lo que se estableció el uso de SSR que al tener accionamiento electrónico no posee desgaste mecánico como los relés electromecánicos. Para el dimensionamiento de los SSR, es importante conocer las siguientes características:

- La señal del PLC es de 24V
- Las electroválvulas tienen una alimentación de 110[V]

Por las características nombradas se seleccionó SSR que admiten una alimentación de 3 a 32[VDC], cumpliendo con la especificación de 24 [VDC] en su entrada. Las electroválvulas funcionan a 110[VAC], valor que se encuentra dentro de la capacidad de voltaje de 24 a 380[VAC] para el arranque de la carga.

En esta aplicación se dispuso de cuatro SSR para el accionamiento de las bobinas que se encuentran en las electroválvulas para las etapas de inyecta, carga, cierra y abre molde, estos SSR tienen las siguientes características:

- Larga vida útil
- Conmutación rápida
- Voltaje de salida de 24-380 VAC
- Un voltaje de entrada de 3-32 VDC
- Método de control: CC a CA
- Tiempo de conmutación ≤ 10 [ms]

Cuando estos elementos se encuentran conmutando generan pérdidas en forma de calor. Para evitar daños en el dispositivo se dispuso de un disipador de aluminio para cada elemento. En la Figura 3.12 se presenta los relés de estado sólido usados en el proyecto con sus respectivos disipadores de calor.

Figura 3. 12 Relés de Estado Sólido

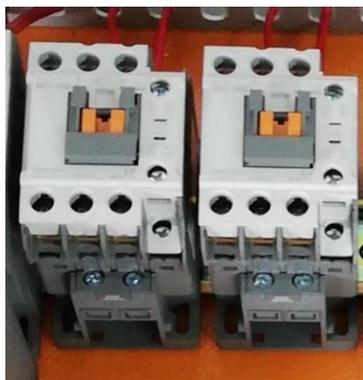


Relés de Estado Sólido con sus respectivos disipadores. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

3.4.2 Selección de contactores para resistencias

Para las resistencias se seleccionó contactores electromecánicos debido a que la conmutación en esta aplicación no es frecuente, ya que necesitan llegar a una temperatura límite para cambiar de estado. En el dimensionamiento de los contactores se tomó en cuenta el voltaje de las resistencias el cual es de 220[V] y la corriente de 6,13 [A] calculada con la Ecuación 3.4. Por motivos comerciales se dispuso de un contactor de 3 polos, 220 [VAC], 9 [A]. En la Figura 3.13 se observa los Contactores utilizados en este proyecto.

Figura 3. 13 Contactores electromecánicos



Contactores utilizados en el desarrollo del proyecto de titulación. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

3.4.3 Selección y calibración del controlador de temperatura

Para el dimensionamiento del controlador de temperatura se tomó en cuenta varias características como el rango de temperatura admisible, el tipo de salida, el tipo de sensor de entrada y el algoritmo de control. En el cañón se requiere temperaturas de

máximo 220°C, el algoritmo de control debe ser del tipo ON/OFF debido a que se necesita enviar esta señal al PLC para el accionamiento o desactivación de las resistencias, es por eso que la salida del controlador de temperatura debe ser tipo relé.

Para la medición de la temperatura, es necesario el uso de un sensor, los más comunes para esta aplicación son las termocuplas tipo J y tipo K, las cuales tienen rangos de temperatura de 0-700°C y de 0-1300°C respectivamente. Se eligió una termocupla tipo K por motivos comerciales, la cual se observa en la Figura 3.14.

Figura 3. 14 Termocupla tipo K



Termocuplas tipo K. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Debido a las características descritas se eligió dos controladores de temperatura de la marca Camsco modelo REX-C7000FK06-M*AN, el cual se muestra en la Figura 3.15 y su descripción se encuentra detallada en la Tabla 3.9.

Figura 3. 15 Controlador de Temperatura



Controlador de Temperatura Camsco. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Tabla 3. 9 Características del Controlador de Temperatura

Rango	0-1200 °C
Salida	Relé
Alimentación	110/220VAC
Frecuencia	50 Hz/60 Hz
Entrada	Termocupla K

Descripción de las características del Controlador de Temperatura.

Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Los controladores reciben las señales provenientes de las termocuplas tipo K, los mismos que se encargan de acondicionarlas, para posteriormente ser utilizados en el control de las resistencias. En estos controladores se configuró los siguientes parámetros:

- Temperatura Límite: 160 °C (Variable dependiendo el molde)
- Rango de Histéresis: ± 5 °C

Una vez que se han establecido los elementos de medición, control, protección y fuerza, se procedió al ensamblaje dentro de un gabinete de 26 cm x 60 cm, quedando los elementos distribuidos como se puede observar en las Figuras 3.16, donde los botones dispuestos en el tablero se detallan en la Tabla 3.10

Figura 3. 16 Parte externa e interna del Tablero



a) Parte externa del Tablero



b) Parte interna del Tablero

Distribución de los elementos de la parte externa e interna del Tablero. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Tabla 3. 10 Botones Tablero Eléctrico

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Botón Inyecta	Proceso de inyección manual
Botón Carga	Proceso de carga manual
Botón Abre	Proceso de abertura de molde manual
Botón Cierra	Proceso de cierre de molde manual
Botón Emergencia	Parar proceso en caso de emergencia
Selector (Manual/Automático)	Determina el proceso (manual/automático)

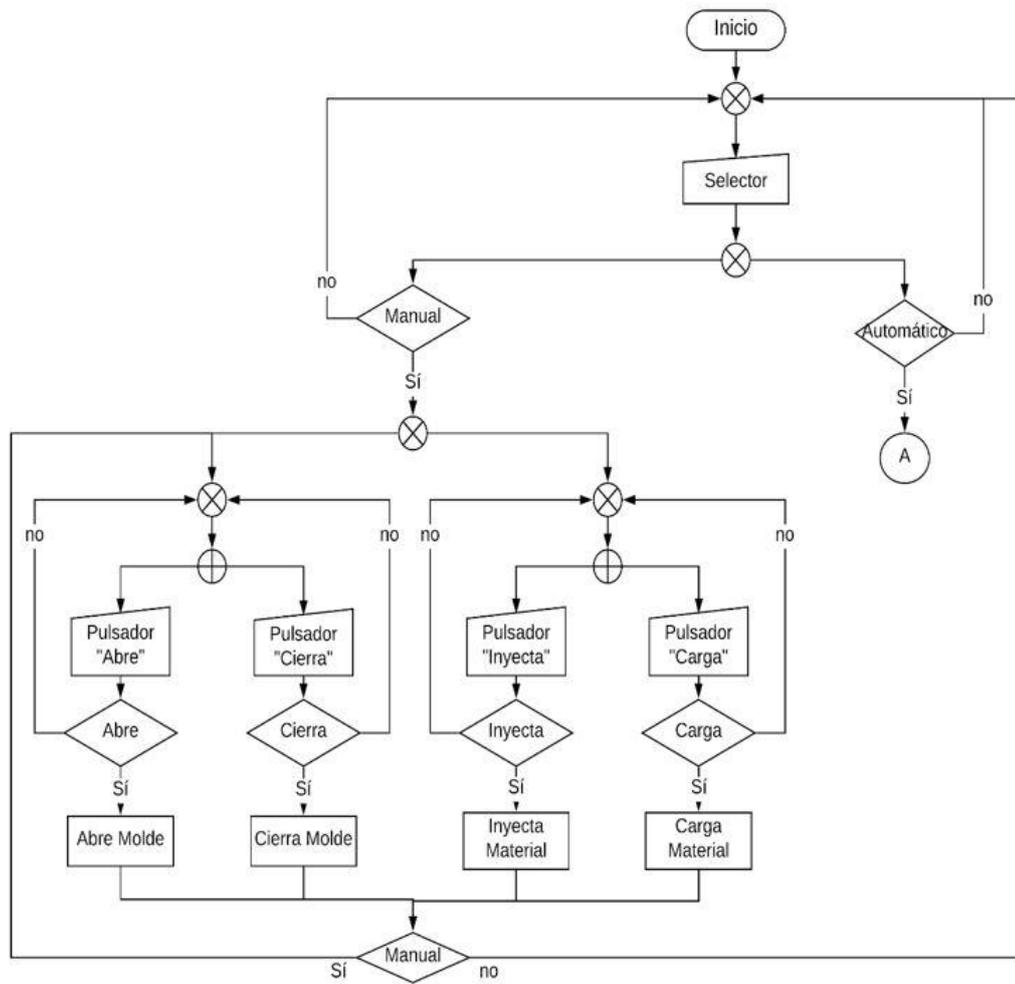
Botones dispuestos en el exterior de tablero eléctrico. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

3.5 Algoritmo de programación

El algoritmo de programación que se utilizó para el desarrollo del proyecto se detallara mediante diagramas de flujo. El programa se divide en cuatro etapas: manual, automático, ingreso de datos y encendido/apagado de resistencias.

Para la etapa manual se dispone dentro del tablero de cuatro pulsadores de color verde, cada uno con una función independiente, las cuales son: cierra, inyecta, carga y abre. El funcionamiento de la etapa manual se puede observar en el flujograma de la Figura 3.17.

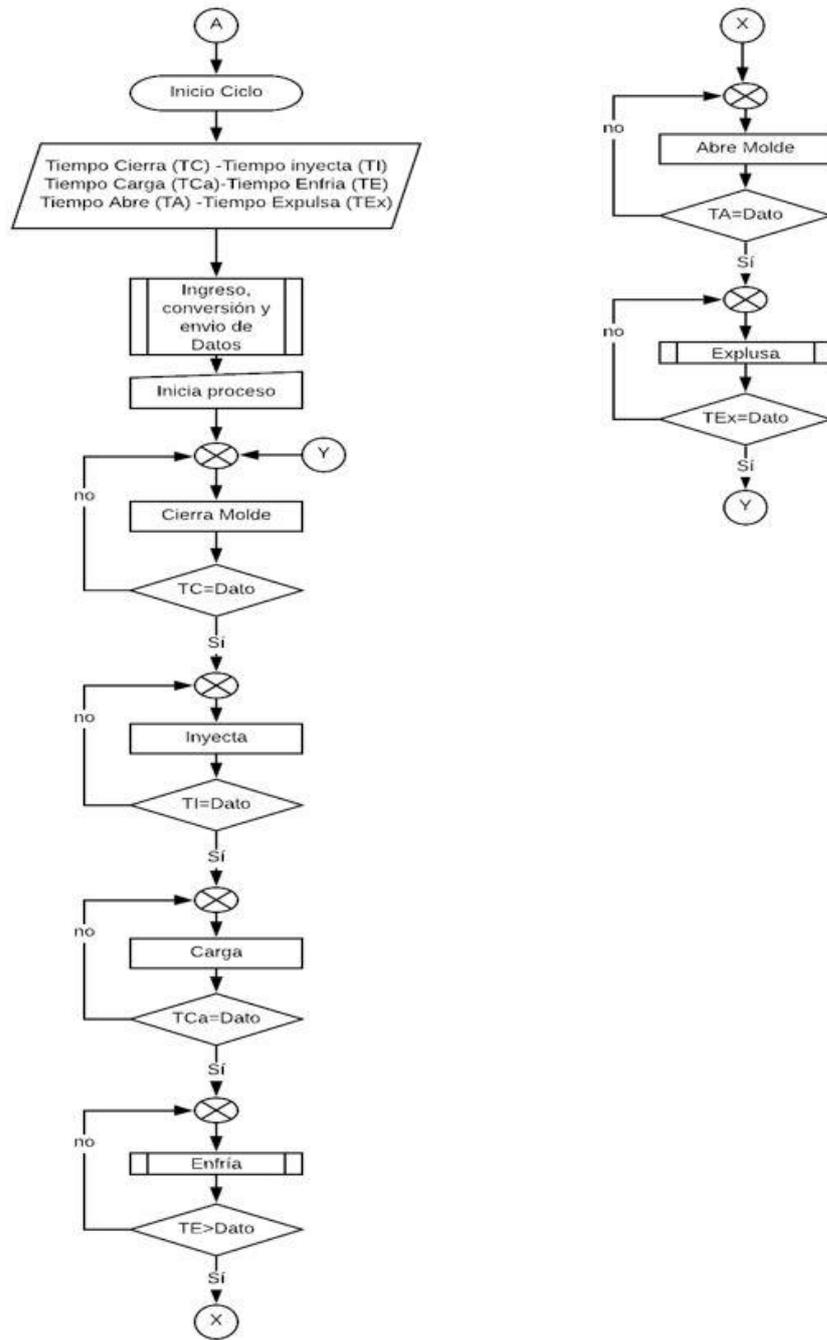
Figura 3. 17 Flujograma Funcionamiento Manual



Flujograma del Funcionamiento Manual de la máquina. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

La etapa de automático se desarrolló basándose en el ciclo de funcionamiento mostrado en la Figura 3.1, cada uno de los procesos dentro del ciclo de funcionamiento cuentan con un tiempo configurable por el operador. El algoritmo que se utilizó en este proceso se observa en el flujograma de la Figura 3.18.

Figura 3. 18 Flujograma Funcionamiento Automático



Flujograma del Funcionamiento Automático de la máquina. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

El proceso de ingreso, conversión y almacenamiento de datos se puede observar en el diagrama de flujo de la Figura 3.19. Para el ingreso de los datos se debe tener en cuenta que estos se harán con números decimales, para esto el manual del PLC recomienda que se utilice las instrucciones de punto flotante, de esta manera los pasos a seguir son los siguientes:

- Utilizar la instrucción “DMOV” para mover la variable ingresada por el usuario a una nueva variable (D#)
- Utilizar la instrucción “DMULR” para multiplicar la variable D# (punto flotante) por el valor de 100, esto se realiza debido a que el temporizador que se está utilizando es de 10ms
- Se convierte este nuevo valor a entero mediante la instrucción “INT”
- Se envía este dato al temporizador.

Figura 3. 19 Diagrama de Flujo de Conversión y Almacenamiento de Datos

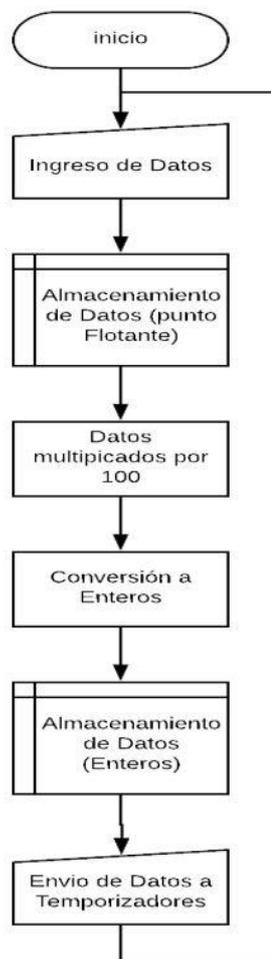


Diagrama de Flujo de la conversión y almacenamiento de datos. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

En el proceso de encendido y apagado de las resistencias influyen los controladores de temperatura, la señal que estos envían de acuerdo a la temperatura configurada

determina el encendido o apagado de las mismas. Este proceso se puede observar en el diagrama de flujo de las Figuras 3.20 y 3.21.

Figura 3. 20 Diagrama de Flujo del Proceso de Encender Resistencias

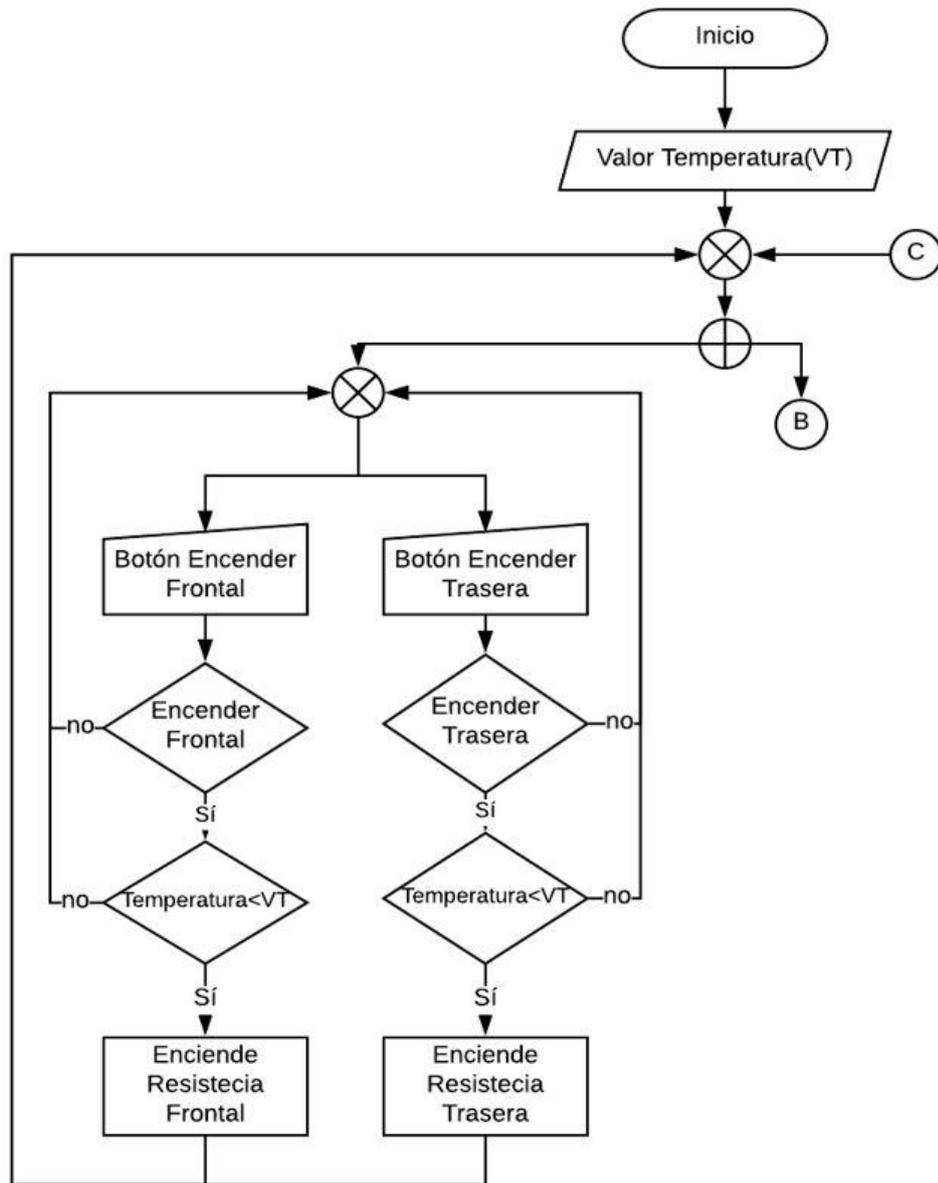
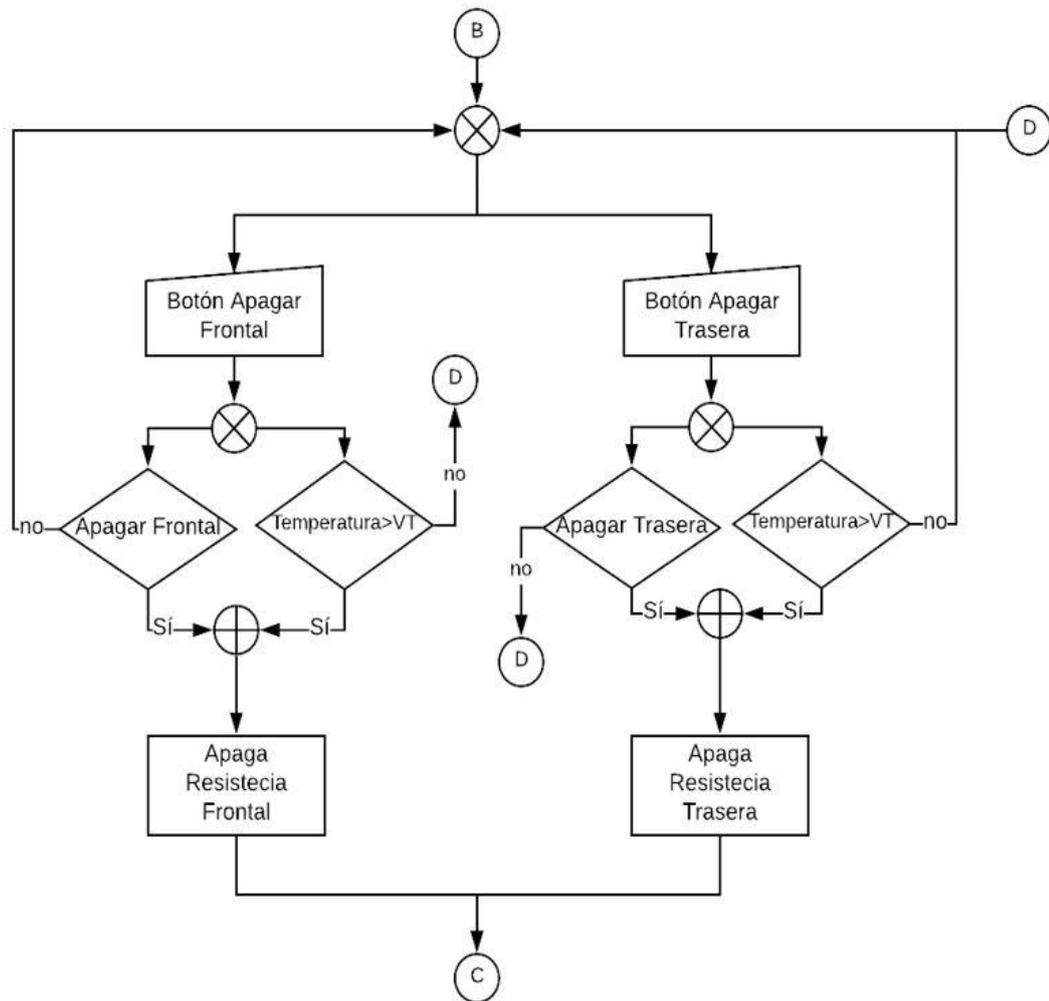


Diagrama de Flujo para el proceso de encendido de las resistencias. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Figura 3. 21 Flujograma Apagar Resistencias



Flujograma para el apagado de las resistencias. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

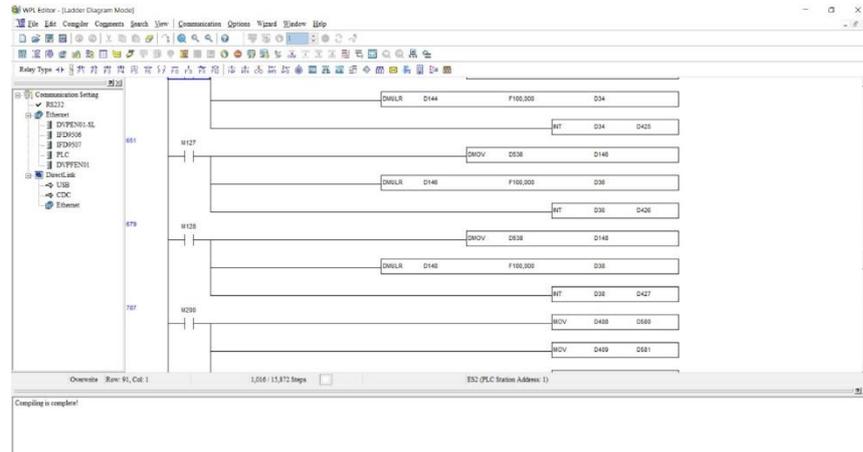
3.6 Software de programación del PLC

El software utilizado para realizar y cargar el programa en el PLC es WPLSOFT, versión 2.46, el cual es un software gratuito que pertenece a la marca Delta, el cual se puede obtener desde su página web. El código se realizó mediante el lenguaje de programación de Diagrama tipo Escalera (Ladder), cabe recalcar que este software soporta otros tipos de lenguaje como son: Diagrama de Bloque de Funciones, Lista de Instrucciones, Texto Estructurado y Diagrama de Funciones Secuenciales.

A pesar de ser un programa gratuito, cuenta entre otras cosas con iconos de simulación en la barra de herramientas, que permite visualizar el programa antes de ser cargado

en el PLC y una ventana de visualización de mensajes donde se puede observar si la compilación del programa fue correcta o incorrecta. El entorno de trabajo del WPLSOFT se puede observar en la Figura 3.22.

Figura 3. 22 Entorno de programación PLC



Pantalla de visualización del entorno de programación del PLC. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

3.7 Diseño del HMI

El diseño del HMI está desarrollado con la finalidad de ser sencillo para el propietario y el operador de la máquina. La interfaz consta de 4 ventanas que se detallan a continuación:

- Ventana de inicio
- Ventana de proceso
- Ventana para molde 1 y 2
- Ventana para molde 3 y 4

3.7.1 Ventana de Inicio

La ventana de inicio que se muestra en la Figura 3.23 consta de los siguientes elementos como parte de la presentación del proyecto:

- Hora y fecha
- Logotipo de la empresa auspiciante
- Logotipo de la Universidad
- Título del Proyecto
- Nombre de los Autores

- Botones de acceso a las siguientes pantallas detallados en la Tabla 3.11

Figura 3. 23 Ventana de Inicio del HMI



Pantalla principal del HMI. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Tabla 3. 11 Botones Pantalla Principal

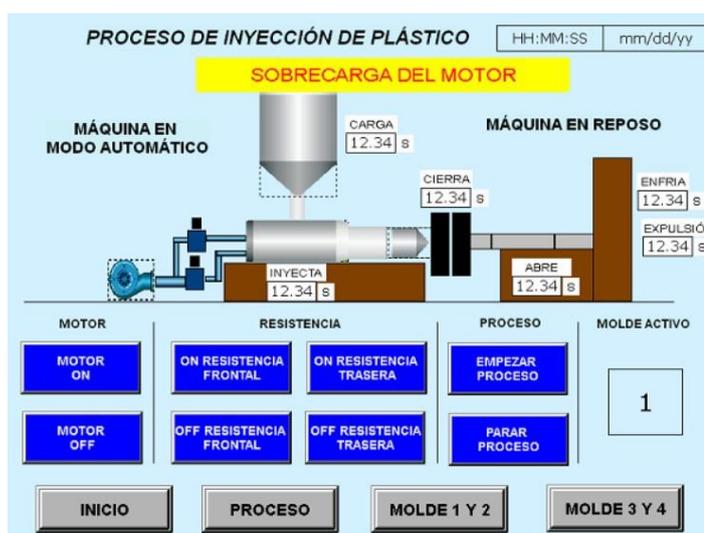
Botón	Función
Inicio	Muestra la caratula en la pantalla principal
Proceso	Ingresa a la ventana de proceso y accionamiento de resistencias y motor
Molde 1 y 2	Ingresa a la ventana de configuración de moldes 1 y 2
Molde 3 y 4	Ingresa a la ventana de configuración de moldes 3 y 4

Descripción de los botones de la pantalla principal. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

3.7.2 Ventana de Proceso

En la Figura 3.24 se puede observar el diseño de la ventana de proceso, la cual contiene los botones de accionamiento de resistencias y motor, botones de inicio y fin de proceso, la visualización del ciclo de funcionamiento mediante animación, tiempos configurados y alarmas del sistema. Los elementos de la ventana de proceso se detallan en la Tabla 3.12.

Figura 3. 24 Ventana del Proceso



Pantalla para visualizar el proceso que realiza la máquina. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Tabla 3. 12 Elementos ventana Proceso

BOTONES	
Botón	Descripción
Motor ON	Encendido de motor eléctrico
Motor OFF	Apagado de motor eléctrico
ON Resistencia frontal	Encendido de resistencias frontales
OFF Resistencia frontal	Apagado de resistencias frontales
ON Resistencia trasera	Encendido de resistencias traseras
OFF Resistencia trasera	Apagado de resistencias traseras
Empezar Proceso	Inicia el ciclo automático
Parar Proceso	Detiene el ciclo automático
Visualizadores de Texto	
Texto	Descripción
Máquina en Modo Automático/Manual	Muestra el estado de funcionamiento de la inyectora
Máquina en Reposo/Proceso	Indica el estado de la máquina
Inyecta	Tiempo de inyección
Carga	Tiempo de carga
Abre	Tiempo de apertura de molde
Cierra	Tiempo de cierre de molde
Enfría	Tiempo de enfriamiento de pieza
Expulsión	Tiempo de expulsión de pieza
Molde Activo	Muestra el molde activado
Alarmas	
Sobrecarga de Motor	Indica cuando el motor eléctrico tiene una sobrecarga
Final de carrera Abre activo	Indica que el molde está abierto
Final de carrera carga	Indica que se ha completado la carga

Descripción de los elementos de la ventana de proceso. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

3.7.3 Ventanas de Moldes

En la Figura 3.25 se presenta las ventanas de moldes, las mismas que contienen espacios de entrada de datos para ingresar los valores de tiempo dependiendo del molde que se va a usar. Los datos que se ingresan en este espacio son:

- Tiempo Abrir
- Tiempo Cerrar
- Tiempo Carga
- Tiempo Inyecta
- Tiempo Enfría
- Tiempo Expulsa

Además, cada tiempo consta de un botón para guardar cada valor y un botón para activar el molde en el que se va a trabajar. Los elementos de la ventana de moldes se describen en la Tabla 3.13

Figura 3. 25 Ventana de Molde 1 y 2

The screenshot shows a software interface for mold configuration. The title is 'INGRESE INFORMACIÓN PARA MOLDE 1 Y 2'. In the top right, there are two input fields for time: 'HH:MM:SS' and 'mm/dd/yy'. The main area is divided into two columns: 'DATOS DE MOLDE 1' and 'DATOS DE MOLDE 2'. Each column has six rows corresponding to mold actions: ABRIR, CERRAR, CARGA, INYECTA, ENFRIA, and EXPULSIÓN. Each row contains a blue 'GUARDAR' button followed by a text input field with a placeholder '##.##'. Below these columns are two blue buttons: 'ACTIVAR MOLDE 1' and 'ACTIVAR MOLDE 2'. At the bottom of the window are four grey buttons: 'INICIO', 'PROCESO', 'MOLDE 1 Y 2', and 'MOLDE 3 Y 4'.

Pantalla para visualizar la información para los moldes 1 y 2. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Tabla 3. 13 Elementos Ventana de Moldes 1 y 2

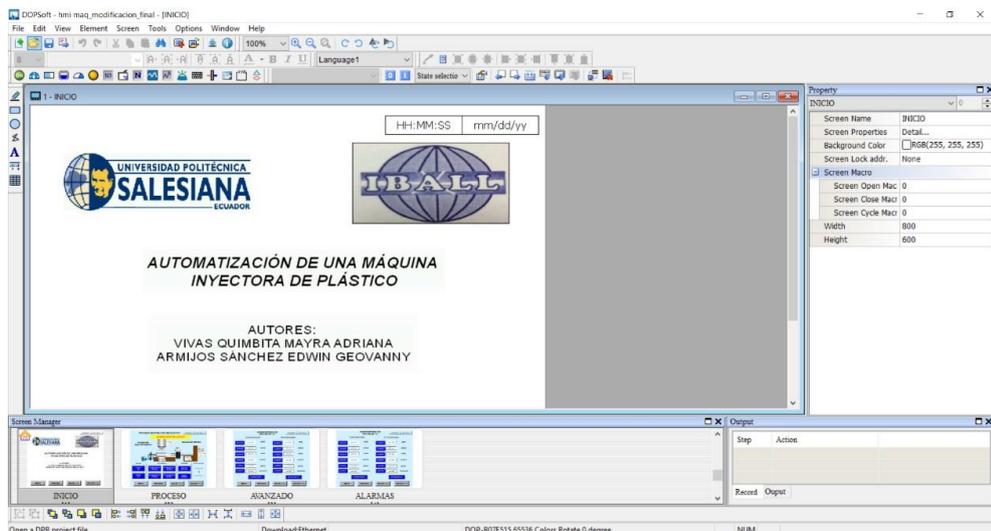
DATOS MOLDE 1	
Botón	Descripción
Guardar	Guarda en un espacio de memoria cada uno de los tiempos configurados para el molde 1 (Abrir, cerrar, carga, inyecta y expulsión)
Activa Molde 1	Activa la configuración del molde 1
DATOS MOLDE 2	
Botón	Descripción
Guardar	Guarda en un espacio de memoria cada uno de los tiempos configurados para el molde 2 (Abrir, cerrar, carga, inyecta y expulsión)
Activa Molde 2	Activa la configuración del molde 2

Descripción de los elementos de la ventana de moldes. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

3.8 Software de programación para HMI

El software de programación utilizado para desarrollar y cargar la interfaz hacia el HMI es DOPsoft, versión 2.00.05. Este es un software gratuito que pertenece a la marca Delta el cual puede ser descargado desde su página web. Permite desarrollar interfaces de diferentes tipos y tamaños de pantallas pertenecientes a la marca Delta, es un software con muchas herramientas gráficas, que mediante la creatividad permite incluso realizar animaciones. El entorno de trabajo de DOPsoft se observa en la Figura 3.26.

Figura 3. 26 Entorno de programación del HMI



Pantalla de visualización del entorno de programación del HMI. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Una vez establecidos y programados los parámetros de cada una de las ventanas que componen la interfaz, se procedió a cargar esta información por medio del puerto Ethernet a la pantalla, la cual se muestra en la Figura 3.27.

Figura 3. 27 Funcionamiento del HMI



Interfaz HMI en funcionamiento. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Una vez realizado el armado del tablero eléctrico, el equipo hidráulico, la programación, diseño y configuración del HMI, se procedió a la ubicación e instalación de cada uno de los equipos. La máquina automatizada se muestra en la Figura 3.28.

Figura 3. 28 Inyectora Automatizada



Máquina Inyectora con el circuito electro hidráulico. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se ejecuta la puesta en marcha de sistema y la validación de la solución implementada para el proyecto de titulación, basándose en estadísticas de funcionamiento en modo manual y automático en distintos intervalos de tiempo.

4.1 Puesta en marcha

Antes que la inyectora empiece a producir es necesario que la cocina o cañón se encuentre previamente calentado, para ello se debe configurar la temperatura en los controladores y encender mediante la interfaz gráfica las resistencias traseras, frontales y el motor eléctrico. Posterior a esto se necesita la configuración de los tiempos de cada uno de los procesos. En el PLC se dispuso de un espacio de memoria para 4 moldes, donde los tiempos a configurar son los siguientes:

- Tiempo de Cierre de molde
- Tiempo de Inyección
- Tiempo de Carga
- Tiempo de Enfriamiento
- Tiempo de Abertura de molde
- Tiempo de Expulsión

La configuración de estos tiempos depende del tipo de molde que este colocado. Para las pruebas de la inyectora, se dispuso de un molde en el que se puede realizar bases para sifones de piso. Los tiempos y la temperatura para este molde se configuró con respecto a la experiencia del operador cuando las piezas eran realizadas manualmente.

Esta información solo sirvió como guía para llegar al tiempo adecuado, debido a que el operador no trabaja al mismo ritmo todo el día y no tendrá la misma precisión de tiempo en la elaboración de cada pieza. En la Tabla 4.1 se muestra la configuración de tiempo y temperatura del molde para sifones.

Tabla 4. 1 Tiempo de cada proceso

MODO	TIEMPO (s)
Cierra molde	1,20
Inyecta	3,50
Carga	5,00
Tiempo Enfría	11,00
Tiempo Abre Molde	1,20
Tiempo Expulsa	0,50

Configuración de tiempo de los procesos de abre molde, inyecta, carga, enfría, abre molde, expulsa.

Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Ambas resistencias se encontrarán calentando la cocina o cañón a una temperatura de 160°C. Es importante que no se realicen las etapas de inyección y carga si la cocina o cañón se encuentra a muy baja temperatura ya que podría sufrir daños el motor hidráulico encargado de la carga y el cilindro hidráulico el cual está encargado de la inyección.

Para comprobar estos tiempos y verificar la temperatura a la que se encuentra fundiéndose el material se realizó piezas en modo manual, tomando en cuenta sobre todo el tiempo de carga e inyección, dos procesos sumamente importantes para garantizar la calidad de la pieza y evitar posibles taponamientos en la boquilla de inyección por la vela de inyección. Esta configuración se realizó en el espacio dispuesto para el molde 1 dentro de la interfaz del HMI, la cual se observa en la Figura 4.1.

Figura 4. 1 Configuración de datos en el HMI



Ingreso de datos del molde 1 en el HMI. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Una vez configurado los tiempos y las temperaturas adecuadas la máquina puede empezar a producir piezas en forma automática. Con los tiempos establecidos, para este molde se puede obtener piezas cada 23 segundos, es decir alrededor de 3 piezas por minuto. En la Figura 4.2 se presenta la pieza inyectada.

Figura 4. 2 Pieza Inyectada



Producto final obtenido de la máquina. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

4.2 Estadísticas de funcionamiento manual y automático

Mientras la máquina se encontraba funcionando en modo manual necesitaba de un operador todo el tiempo, el cual no trabaja al mismo ritmo todo el día, debido al

desgaste físico que puede tener, además de parar la producción cuando se le encomiendan otras tareas, estas circunstancias hacen que la fabricación sea menor.

Cuando la máquina se encontraba funcionando manualmente se tenía de un promedio de 100 piezas por hora, asumiendo que la hora fue trabajada por el operador al mismo ritmo y sin ninguna distracción. Para el análisis de producción se tiene varios puntos de consideración detallados de la siguiente manera:

- Producción en modo manual (1 hora)
- Producción en modo automático (1 hora)
- Producción en modo manual (4 horas)
- Producción en modo automático (4 horas)
- Piezas con falla en modo manual (1 hora)
- Piezas con falla en modo automático (1 hora)
- Piezas con falla en modo manual (4 horas)
- Piezas con falla en modo automático (4 horas)

4.2.1 Producción manual y automática (1 hora)

Para la producción en modo manual, se dispuso de la primera hora de la mañana laboral, evitando todas las posibles distracciones para el operador, para este análisis se tomó intervalos de 10 minutos. De igual forma se realizó la producción en forma automática tomando intervalos de 10 minutos sin la intervención del operario, salvo caso de emergencia. Los datos de producción manual y automático se observan en la Tabla 4.2.

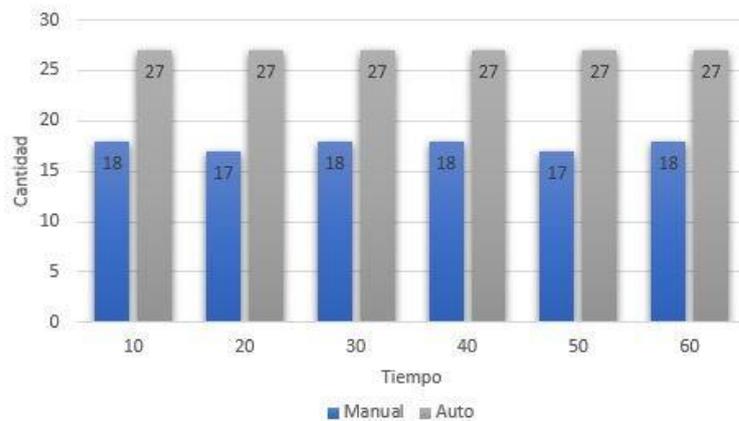
Tabla 4. 2Producción modo manual y automático (1 Hora)

Manual		Automático	
Tiempo (min)	Cantidad	Tiempo (min)	Cantidad
10	18	10	27
20	17	20	27
30	18	30	27
40	18	40	27
50	17	50	27
60	18	60	27

Producción y cantidad de piezas realizadas por la máquina en modo manual y automático en el transcurso de una hora. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Se puede observar que trabajando con la máquina manualmente la cantidad de piezas completadas en intervalo de 10 minutos es variable incluso sin distracciones para el operador, mientras que en modo automático la cantidad de piezas es constante. En la Figura 4.3 se muestra el gráfico comparativo de producción en una hora con la máquina en modo manual y automático.

Figura 4. 3 Comparación de producción en 1 hora



Comparación de producción funcionamiento manual y automático en una hora. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

La cantidad de piezas con la máquina en modo manual en el transcurso de una hora es en promedio de 18 unidades, mientras que en modo automático es de 27 unidades, es decir que en el transcurso de una hora en modo manual se realizó un total de alrededor 106 unidades, mientras que en modo automático en el lapso de una hora se realizó un total de 160 unidades. En este caso se puede observar que la producción en modo automático es mayor con alrededor del 53% de la producción total.

4.2.2 Producción manual y automática (4 horas)

De igual forma se dispuso de las primeras horas de la jornada laboral para la producción de piezas en funcionamiento manual, para este análisis se tomó intervalos de 30 minutos por el transcurso de 4 horas, evitando el máximo de distracciones para el operario.

En la producción automática se tomó intervalos de 30 minutos por el transcurso de 4 horas, sin la intervención del operador salvo casos de emergencia. En la Tabla 4.3 se muestran los datos que se obtuvo en las 4 horas de trabajo aproximadamente.

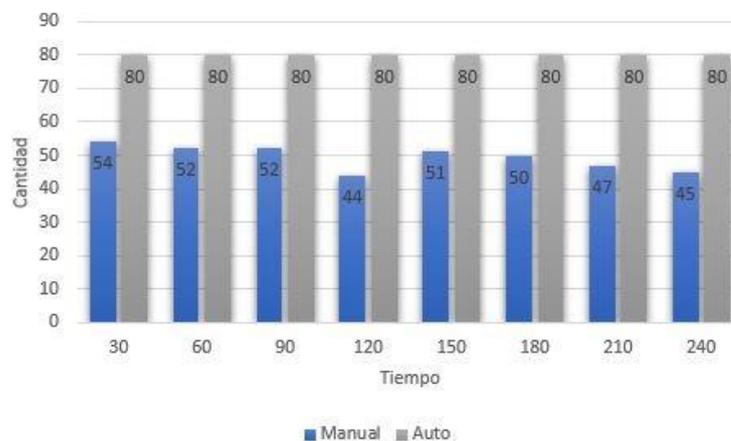
Tabla 4. 3 Producción Automática

Manual		Automático	
Tiempo (min)	Cantidad	Tiempo (min)	Cantidad
30	54	30	80
60	52	60	80
90	52	90	80
120	44	120	80
150	51	150	80
180	50	180	80
210	47	210	80
240	45	240	80

Producción automática en intervalos de 30 minutos. Edwin Armijos y Adriana Vivas

Se puede observar que al incrementar el tiempo de trabajo en modo manual la cantidad de piezas es mucho más variante que en el transcurso de la primera hora, esto se debe a múltiples motivos como puede ser desgaste físico del operador, piezas atascadas en el molde, taponamiento de la boquilla, posibles distracciones, entre otras. Mientras en modo automático se sigue manteniendo una constante en este caso de 80 unidades cada 30 minutos. En la Figura 4.4 se puede observar el gráfico comparativo de producción en 4 horas con la máquina en modo manual y automático.

Figura 4. 4 Comparación de producción en 4 horas



Comparación de producción funcionamiento manual y automático en 4 horas. Edwin Armijos y Adriana Vivas

En el transcurso de cuatro horas con la máquina funcionando de modo manual se pudo obtener en promedio de 49 unidades cada 30 minutos, mientras que en modo automático la producción se mantuvo en 80 unidades cada 30 minutos. Es decir que en cuatro horas la maquina en modo manual realizó aproximadamente 395 unidades mientras que en modo automático alrededor de 640 unidades dando una productividad mayor del 61%.

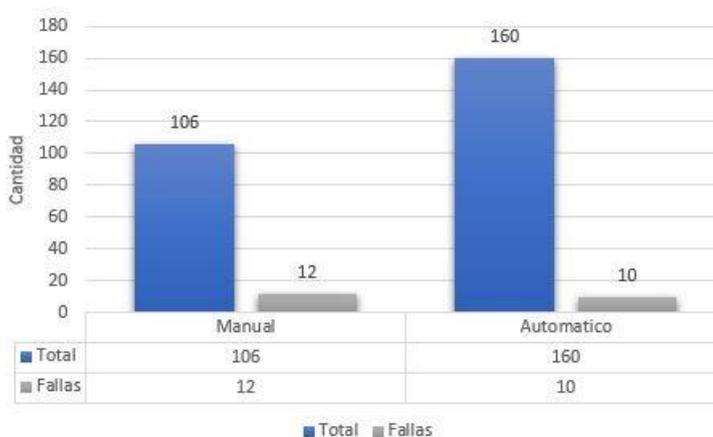
4.2.3 Piezas defectuosas (1 hora)

Es necesario conocer que una vez obtenidas las piezas no se cuenta con el 100% de las mismas en perfecto estado, debido a esto es necesario hacer un análisis de la cantidad de piezas defectuosas con la maquina en modo manual y en modo automático.

Para el primer análisis se tomará en cuenta la cantidad total de piezas realizadas en una hora, la cual fue de 106 unidades de las cuales 12 unidades se encontraron defectuosas, es decir el 11,3% de la producción en una hora. Cabe recalcar que el operario contaba con gran experiencia para trabajar en modo manual en esta máquina.

Por otra parte, al tomar las 160 unidades elaboradas con la máquina automatizada se encontró 10 unidades defectuosas es decir el 6,2% de la producción en modo automático. En la Figura 4.5 se muestra la gráfica de piezas defectuosas frente a la producción total en el transcurso de una hora.

Figura 4. 5 Piezas defectuosas (1 Hora)



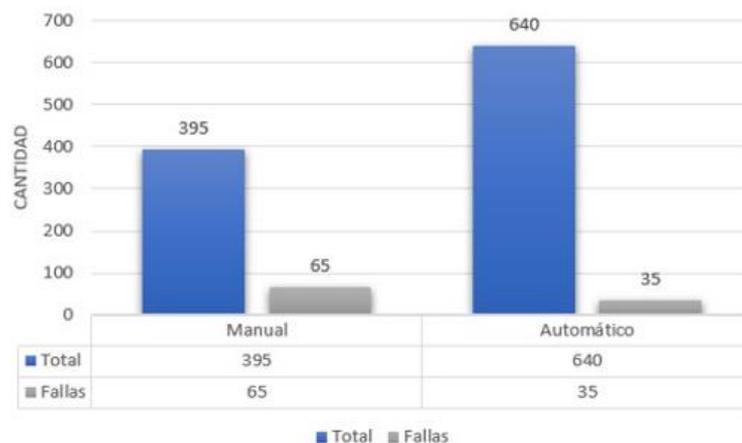
Piezas defectuosas en intervalos de 1 horas. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

4.2.4 Piezas defectuosas (4 horas)

Se toma en cuenta los valores totales adquiridos en las pruebas en el transcurso de 4 horas, donde se obtuvo que en modo manual se realizaron 395 unidades de las cuales 65 unidades se encontraban defectuosas, es decir, el 16,45% de la producción en modo manual.

Al realizar las piezas en el transcurso de 4 horas con la máquina en modo automático, se obtuvo un total de 640 unidades de las cuales 35 fueron defectuosas, es decir el 5,6% de la producción en modo manual, esto se ve reflejado en la Figura 4.6.

Figura 4. 6 Piezas defectuosas (4 Horas)



Piezas defectuosas en 1 horas. Autores: Edwin Armijos y Adriana Vivas

Como se puede observar el porcentaje de piezas en mal estado aumenta en el tiempo cuando estas se realizan en forma manual, mientras que en modo automático se mantiene en un rango de 5% a 6%. Con ello se puede observar que, en modo automático, la máquina reduce aproximadamente en un 44.6% el número de piezas defectuosas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se redujo tiempos de producción de piezas plásticas en la microempresa IBALL en alrededor de un 85% mediante la implementación de un control electro hidráulico automático en una inyectora de plástico, mejorando su productividad.

Se determinó mediante la caracterización del sistema hidráulico y eléctrico de la máquina los elementos que fueron necesarios incluir para mejorar el proceso de la misma, tomando en cuenta los requerimientos de la microempresa IBALL.

Se estableció mediante la investigación visual en campo y mediante TIC's, que la mejor alternativa de automatización de la inyectora es el uso de un PLC junto a una interfaz (HMI), debido a su robustez, capacidad de memoria, versatilidad y economía, obteniendo un mejor desarrollo dentro del ambiente industrial.

Se implantó mediante el Software FluidSIM el diseño y la secuencia de funcionamiento del circuito hidráulico a implementarse en la inyectora de plástico para validar el correcto funcionamiento de cada uno de los procesos.

Mediante diagramas de Flujo se estableció el algoritmo a programarse dentro del PLC, teniendo en cuenta cada una de las secuencias a cumplir, ingreso de datos y seguridades con las que debe contar la inyectora.

Se observó que al automatizar la máquina inyectora de plástico, se cumple el objetivo de mejorar la productividad de la microempresa IBALL debido a que se aumentó la producción en un 83%, además poder prescindir de un operario para la ejecución de las piezas de plástico.

Se llegó a determinar que la solución propuesta incrementó la productividad, disminuyó tiempos de entrega del producto final y se redujo en un 54% el número de unidades defectuosas.

5.2 Recomendaciones

Para la programación del PLC delta, es necesario revisar detenidamente el manual de usuario, donde se pueden observar espacios de memoria y funciones que se pueden utilizar, ya que esta marca trabaja con un software gratuito y por lo tanto cuenta con muy pocas ayudas para el programador.

Es importante no realizar los ciclos de carga e inyección si la cocina o cañón no se encuentra a la temperatura adecuada ya que puede ocasionar daños al tornillo encargado de la carga.

Para mejorar el tiempo de enfriamiento en la máquina inyectora de plástico, se debe mejorar el sistema de recirculación de agua encargada de enfriar el molde.

Para mejorar la velocidad de los procesos se requiere cambiar el motor y la bomba por unos de mayor potencia, así los actuadores operarían a mayor velocidad.

Se debe considerar que al trabajar con resistencias que generan altas temperaturas, es necesario usar cable siliconado más fibra de vidrio el cual es resistente a altas temperaturas.

Antes de realizar la instalación tanto eléctrica como hidráulica se debe considerar el espacio dispuesto para el tablero eléctrico y el equipo hidráulico, para posterior a esto establecer la cantidad de cable eléctrico necesario y el tamaño de las mangueras hidráulicas.

Para mejorar la presión en la inyección en caso de ser necesario, se requiere aumentar una válvula de alivio en la línea que alimenta el cilindro de inyección, así la inyección puede trabajar a una presión diferente al resto de los procesos.

REFERENCIAS

- Admin. (2017). PIROMETRO | Como funciona, partes y aplicaciones del pirometro.
- Aguirre, C., & Proaño, J. (2018). *Desarrollo de un sistema de automatización para una inyectora de plástico MIR 65 en la empresa INSOPLASTIC*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Albarrán, J. (2014). Diseño Y Fabricación De Un Molde Para Inyección En Plástico, 129.
- Almandoz, J., Mongelos, B., & Pellejero, I. (2007). *SISTEMAS NEUMÁTICOS Y OLEOHIDRÁULICOS Oleohidráulica*.
- Alvarez, A. (2011). Automatización Industrial: Elementos de un circuito hidráulico.
- Autycom. (2017). ¿Qué es un sistema ERP y para qué sirve?
- Baldeon, P., & Janeta, A. (2016). *Máquina inyectora de plástico para la empresa Matriceria y Producción EDBOR*. Escuela Politécnica del Chimborazo.
- Barrientos, A., & Gambao, E. (2014). *Sistemas de Producción Automatizados*. (Dextra Editorial S.L, Ed.). Madrid.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2011). Tema 5. Inyección. *Tecnología de Polímeros*, (Ciencias), 276.
- Contaval. (2017). Regulación ON/OFF.
- Corona, G., Abarca, G., & Mares, J. (2014). *Sensores y Actuadores. Publicacion En Internet*. Larousse - Grupo Editorial Patria.
- Crespo, M. (2014). COMPONENTES EN UN SISTEMA HIDRAÚLICO - ppt descargar.
- ECIL, G. (2015). Termopar Tipo K.
- Farías, Á. (2016). CÓDIGO ELÉCTRICO ECUATORIANO - PDF.
- Guaman, R. (2017). *Repotenciación del sistema eléctrico y electrónico de una Máquina Inyectora de plástico VAN DORN modelo 150-RS-8F para la empresa TECNITROQUEL S.A*. Escuela Superior Politécnica del Ejército.
- Ingeniería Mecafenix. (2017). Sensor de temperatura termopar - Ingeniería mecafenix.
- Mariano. (2011). INYECCION DE MATERIALES PLASTICOS I.
- Martinez, J. F. (2017). Qué es la Automatización | Blog SEAS.
- Orduña, E., Olvera, J., Mendieta, P., & Acosta, J. (2012). Tanque Hidraulico.
- Pallás Areny, R. (1993). *Adquisición y distribución de señales*. Marcombo Boixareu.
- Prada, R., & Acosta, J. (2017). El MOLDEO EN EL PROCESO DE INYECCIÓN

DE PLÁSTICOS PARA EL LOGRO DE OBJETIVOS EMPRESARIALES.

Universitas Nusantara PGRI Kediri, 01, 1–7.

Rodriguez, J. L. (2003). Conceptos Básicos y Terminología de Control.

Romo, S. (2015, July). Válvula Solenoide. *Revista Cero Grados Celsius*.

Saavedra, L. R. M. (2015). Circuitos neumáticos y oleohidráulicos: Sistemas Hidráulicos - ppt video online descargar.

Solorzano, R. (2016). Fundamentos de motores hidráulicos.

Teii. (2010). Controles de temperatura, PID y ON-OFF.

Terán, J. (2011). Estructura plc.

Universidad de Oviedo. (2010). Introducción HMI, 18. Retrieved from

<http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/Introduccion SCADAS y HMI.pdf>

Wendt, Z. (2017). Relés de estado sólido y relés electromecánicos | Arrow.com.