



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL
PARA MÁQUINA INYECTORA MARCA MIR EN LA EMPRESA PRINTECSA,
UTILIZANDO P.L.C. Y EL USO DE LA INTERFAZ DE USUARIO DE LA MARCA
ALLEN BRADLEY, ENLAZADOS MEDIANTE PROTOCOLO DE RED
ETHERNET/IP”**

**AUTORES:
TIVANTA RAMIREZ SAMUEL
ZAMBRANO BURGOS JENNIFER CAROLINA**

**DIRECTOR:
ING. BYRON LIMA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR
2016**

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Nosotros, Samuel Tivanta Ramírez y Jennifer Carolina Zambrano Burgos, estudiantes de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana, certificamos que los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, Julio del 2016

Samuel Tivanta Ramírez
C.I.: 0930364914

Jennifer Carolina Zambrano Burgos
C.I.: 0927898759

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS

A través del presente certificado, se ceden los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual y por su normatividad institucional vigente.

Guayaquil, Julio del 2016

Samuel Tivanta Ramírez
C.I.: 0930364914

Jennifer Carolina Zambrano Burgos
C.I.: 0927898759

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Por medio de la presente doy constancia que los Sres. Samuel Tivanta Ramírez y Jennifer Carolina Zambrano Burgos han desarrollado y elaborado satisfactoriamente el proyecto final de titulación, que se ajusta a las normas establecidas por la Universidad Politécnica Salesiana, por tanto, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Ing. Byron Lima
DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Dedico este proyecto técnico de titulación, a mi familia que ha sido el pilar fundamental para la culminación de esta ingeniería, a mis maestros, amigos y conocidos que de alguna manera ayudaron con sus conocimientos compartidos.

Samuel Tivanta

A mis padres Letty Burgos y Rodolfo Zambrano por ser el motor en mi vida, por enseñarme que en la vida se puede alcanzar lo que uno se proponga a pesar de las diversas dificultades que se presenten en el camino...

A mis hermanos, comparto con ustedes la alegría de alcanzar esta meta...

Jennifer Zambrano

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios que me ha permitido compartir y lograr tan anhelada meta, con el propósito de seguir desarrollándome profesionalmente, a mi madre gracias por la perseverancia y el constante aliento de avanzar, a mis hermanos por sus oraciones y consejos brindados, a mi familia, amigos en general, que me inculcaron seguir poco a poco pero lo importante era continuar.

Samuel Tivanta

Gracias Jehová por tus bendiciones diarias y permitirme llegar a esta meta. A mi familia por su apoyo incondicional, a mis amigos y a cada una de las personas que he tenido la oportunidad de conocer en esta etapa de mi vida y me han dejado sus enseñanzas en el ámbito personal y profesional.

Gracias a todos.

Jennifer Zambrano

AGRADECIMIENTO GENERAL

Agradecemos a la empresa Printecsa S.A, por brindarnos la oportunidad de desarrollar el proyecto técnico de titulación dentro de sus instalaciones y culminarla con éxito.

Al Ing. Richard Proaño, agradecemos la amistad brindada y los conocimientos compartidos a lo largo del proyecto.

Al personal de la empresa, gracias por su colaboración y buena predisposición, alegrándonos con sus vivencias ocurridas y haciendo un ambiente de trabajo agradable y ameno.

A nuestro tutor Ing. Byron Lima, que gracias a sus conocimientos compartidos en clases con las materias brindadas, fueron de base fundamental para la elaboración del proyecto.

Jennifer y Samuel

RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DE PROYECTO TÉCNICO	TEMA DEL PROYECTO
2015	SAMUEL TIVANTA RAMIREZ JENNIFER CAROLINA ZAMBRANO BURGOS	ING. BYRON LIMA	“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL PARA MÁQUINA INYECTORA MARCA MIR EN LA EMPRESA PRINTECSA, UTILIZANDO P.L.C. Y EL USO DE LA INTERFAZ DE USUARIO DE LA MARCA ALLEN BRADLEY, ENLAZADOS MEDIANTE PROTOCOLO DE RED ETHERNET/IP”

El presente proyecto técnico de titulación, **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL PARA MÁQUINA INYECTORA MARCA MIR EN LA EMPRESA PRINTECSA, UTILIZANDO P.L.C. Y EL USO DE LA INTERFAZ DE USUARIO DE LA MARCA ALLEN BRADLEY, ENLAZADOS MEDIANTE PROTOCOLO DE RED ETHERNET/IP**, su principal objetivo fue desarrollar el sistema automático de control de la máquina inyectora MIR en la empresa PRINTECSA, la función de la misma es producir elementos de soporte y fijación en general. Se utilizó un controlador de la marca Allen Bradley modelo 1769-L30ER con sus módulos de entradas y salidas 1769-IQ16 y 1769-OB16 respectivamente los cuales reemplazarían la lógica convencional con la que contaba la máquina.

Para realizar la visualización de este proceso se utilizó el Panel View Plus700 de la marca Allen Bradley modelo 2711P-T7C4D8. La programación de este proyecto se la realizó en las siguientes plataformas: RSLogix5000 y Factory Talk View Machine Edition. Se utilizó el lenguaje de programación Ladder para el desarrollo de este proyecto técnico.

El sistema de control implementado cuenta con una alarma sonora y una luz indicadora (baliza), que al presentarse una falla esta se activará y se mantendrá activa hasta que el operador solucione el error presentado. Esta información es de gran utilidad para el operador dado que al saber el origen del problema y con la ayuda de los planos eléctricos podrá resolver de manera rápida y eficaz la falla, disminuyendo así el tiempo de parada de la máquina y aumentando directamente la producción.

Finalmente se pudo obtener las mejoras deseadas en el proceso de la inyectora MIR, se cuenta con un tablero de control ordenado, identificado y con sus respectivos planos eléctricos, se disminuyeron los tiempos de ciclo, se aumentaron las inyecciones diarias de la máquina, mejorando así los datos de producción que benefician a la empresa Printecsa.

PALABRAS CLAVES: Automatización/ RSLogix 5000/Factory TalkView Machine Edition / PLC/ HMI/ Inyectora/ Procesos/ Etapas.

ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	TECHNICAL PROJECT MANAGER	PROJECT THEME
2015	SAMUEL TIVANTA RAMIREZ JENNIFER CAROLINA ZAMBRANO BURGOS	ING. BYRON LIMA	“DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AUTOMATIC SYSTEM OF CONTROL FOR INJECTOR MACHINE MIR IN PRINTECSA COMPANY, USING P.L.C. AND THE USER INTERFACE OF ALLEN BRADLEY USING ETHERNET/IP PROTOCOL”

This technical project titling "DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR MACHINE INJECTION MARK MIR IN THE COMPANY PRINTECSA, USING PLC AND USE OF USER INTERFACE MARK ALLEN BRADLEY, LINKED BY NETWORK PROTOCOL ETHERNET / IP, its main objective was to develop the automatic control system of the injection machine in the company MIR PRINTECSA, the function of it is to produce support and fixing elements in general. A controller of the brand Allen Bradley 1769-L30ER model with input and output modules 1769-IQ16 and 1769-OB16 respectively used which replace conventional logic with which the machine had.

Panel View Plus700 Brand Allen Bradley 2711P-T7C4D8 model was used for visualization of the process. The program for this project was made on the following platforms: RSLogix5000 and Factory Talk View Machine Edition. Ladder programming language for the development of this technical project was used.

The control system has implemented an audible alarm and an indicator light (beacon), upon receipt of a fault, this will be activated and will remain active until the operator presented fix the error. This information is useful for the operator since knowing the source of the problem and with the help of electric planes can solve quickly and efficiently failure, thus reducing the downtime of the machine and directly increasing production.

Finally able to obtain the desired improvements in the process of the MIR injection, it has a board ordered control, identified and their respective electrical drawings, cycle times were decreased, daily injections of the machine is increased, thus improving production data that benefit the company Printecsa.

KEY WORDS: Automation / RSLogix 5000 / TalkView Machine Factory Edition / PLC / HMI / Injection / Processes / steps.

ÍNDICE GENERAL

1. EL PROBLEMA.....	2
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Antecedentes	3
1.3 Importancia y alcance	3
1.4 Delimitación del problema	4
1.4.1 Delimitación temporal	4
1.4.2 Delimitación espacial.....	4
1.4.3 Delimitación académica.....	4
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo general	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4
2. ESTADO DEL ARTE	6
2.1 Componentes de la máquina.....	6
2.2 Unidades de una máquina inyectora	7
2.2.1 Unidad de cierre	7
2.2.2 Unidad de inyección	9
2.2.3 Unidad de potencia.....	15
2.2.4 Unidad de control	17
2.3 Comunicación Ethernet	20
2.4 Proyectos de titulación similares	20
3. MARCO METODOLÓGICO.....	23
3.1 Identificación del sistema	23
3.2 Diseño del controlador.....	24
3.2.1 Dimensionamiento de PLC	25
3.3 Diagrama de flujo	26
3.4 Diseño del software.....	27
3.5 Diseño de interfaz de usuario	34
3.5.1 Arquitectura de red.....	37
3.6 Implementación.....	38
3.6.1 Eliminar viejo control	38
3.6.2 Instalar el nuevo control.....	40
3.6.3 Probar el nuevo control	42
4. RESULTADOS.....	43
4.1 P&D del proceso	43
4.2 Planos eléctricos	43
4.3 Distribución interna del tablero	43
4.4 Aplicación PLC.....	43
4.5 Pruebas con producto	43
4.6 Producción	45
4.7 Revisión de fallas	46
4.8 Manual de usuario.....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Termocuplas y su clasificación según sus rangos y terminales. .13	
Tabla 2. Levantamiento de actuadores en el proceso.24	
Tabla 3. Electroválvulas que actúan en cada etapa del proceso.24	
Tabla 4. Especificaciones técnicas del controlador 1769-I30ERM.25	
Tabla 5. Módulos expansores de E/S utilizados en el proceso.26	
Tabla 6. Tabla de producción.46	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tablero de Control Inicial de Inyectora MIR.....	2
Figura 2. Delimitación espacial del proyecto técnico.	4
Figura 3. Principales componente de un equipo de moldeo por inyección, en nuestro caso particular la inyectora marca MIR, trabaja con los mismos componentes.....	6
Figura 4. Sistema de cierre hidráulico-mecánico.....	7
Figura 5. Partes de un molde en una máquina de inyección por moldeo.	8
Figura 6. Parte móvil del molde o de expulsión.....	8
Figura 7. Molde de tacho Fisher # 8, se visualiza el ingreso del líquido refrigerante, en el caso de la Empresa Printecsa utiliza agua helada.	9
Figura 8. Tolla donde se ingresa la materia prima a fundir.	10
Figura 9 Material polietileno utilizado en la empresa Printecsa para la elaboración de grapas de cables.	10
Figura 10 Material Polipropileno que utiliza la empresa Printecsa, para la elaboración de tacos Fisher.....	11
Figura 11. Zonas de calefacción ubicados en el barril de calentamiento.....	12
Figura 12 Resistencia de calentamiento, utilizado para homogenizar la temperatura en el barril de acero.	12
Figura 13. Esquema de una termocupla.	13
Figura 14. Controlador de Temperatura de la marca HANYOUNG.	14
Figura 15. Tipos distintos de filetes. Filete estándar (izq.). Doble filete (centro). Filete de mezclado rápido (der.)	14
Figura 16. Cilindro doble efecto para la el cierre del molde en el equipo MIR de la empresa Printecsa.	16
Figura 17. Componentes principales de sistema hidráulico en un equipo de moldeo por inyección.....	17
Figura 18. Inicio de plataforma RSLogix 5000.....	27
Figura 19. Selección de controlador en plataforma RSLogix 5000.	28
Figura 20. Selección del Firmware en plataforma RSLogix 5000.	28
Figura 21. Crear nuevo proyecto en plataforma RSLogix 5000.	29
Figura 22. Árbol del proyecto en plataforma RSLogix 5000.	29
Figura 23. Añadir módulos de E/S en plataforma RSLogix5000.....	30
Figura 24. Pantalla para seleccionar un nuevo módulo en plataforma RSLogix 5000.	30
Figura 25. Selección de modelo del módulo que se va a añadir en plataforma RSLogix 5000.	31
Figura 26. Configurar el módulo que se va añadir en plataforma RSLogix 5000. ...	31
Figura 27. Módulo agregado exitosamente en el árbol del proyecto en plataforma RSLogix 5000.....	32
Figura 28. Configurar Tags en plataforma RSLogix 5000.....	32
Figura 29. Configurar nuevas rutinas de programa en plataforma RSLogix 5000.	33
Figura 30. Instrucción para ejecutar rutinas en plataforma RSLogix 5000.	33
Figura 31. Inicio de plataforma FactoryTalk View ME.....	34

Figura 32. Crear nuevo proyecto en plataforma FactoryTalk View ME.....	34
Figura 33. Árbol del proyecto en plataforma FactoryTalk View ME.	35
Figura 34. Selección de HMI en plataforma FactoryTalk View ME.	35
Figura 35. Crear una nueva configuración para enlace entre PLC y HMI en plataforma FactoryTalk View ME.	36
Figura 36. Crear shortcuts en plataforma FactoryTalk View ME.....	36
Figura 37. Configurar alarmas en plataforma FactoryTalk View ME.....	37
Figura 38. Tablero de control viejo y sus elementos de control (izq). Tablero de control viejo con elementos de control desconectados y retirados (der).	38
Figura 39. Retiro del cableado viejo.	39
Figura 40. Tablero de control viejo (izq.). Tablero de control nuevo (der).....	39
Figura 41. Cableado nuevo de la máquina inyectora MIR.	40
Figura 42. Conexión de elementos en campo.	40
Figura 43. Ubicación de elementos de control y fuerza en el nuevo tablero de control.	41
Figura 44. Conexión de elementos en el nuevo tablero de control.	41
Figura 45. Taco Fisher modelo F-10 (izq). Taco Fisher modelo F-8 (der). Producto elaborado con Polipropileno.	44
Figura 46. Grapa modelo 7-10 (izq). Grapa modelo 7-6 (der). Producto elaborado con Polietileno.	44
Figura 47. Mango para brocha de 1/2" (izq). Mango para brocha de 1" (der). Producto elaborado con Polipropileno.	45
Figura 48. Mango para brocha de 2" (izq). Mango para brocha de 5" (der). Producto elaborado con Polipropileno.	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: P&D del proceso

Anexo 2: Listado de Entradas y salidas

Anexo 3: Planos Eléctricos de Fuerza y Control

Anexo 4: Diseño interno de Tablero

Anexo 5: Programación de proceso de la Inyectora MIR

Anexo 6: Manual de Usuario de HMI del proceso de la Inyectora MIR

INTRODUCCIÓN

Productora Industrial Técnica Printecsa S.A, es una de las empresas industriales nacionales dedicadas a la producción de anclajes de fijación y brochas, cuenta con máquinas de moldeo por inyección especializadas para brindar a sus clientes un producto final de calidad.

Para poder satisfacer la demanda del mercado es necesario que las máquinas de inyección se encuentren en buen estado, ya que el trabajo que realizan es constante. Uno de los inconvenientes que ocasiona que no se logre alcanzar la producción deseada, es que una de sus máquinas de inyección cuenta con una lógica de control antigua, lo que ocasiona que al momento de producirse una falla no se pueda resolver el problema de forma inmediata, ocasionando el paro de la máquina afectando directamente a la producción de la empresa.

Para el proyecto técnico de titulación, se planteó desarrollar la automatización de la máquina inyectora marca MIR (Reingeniería). Con el propósito de alargar la vida útil de la inyectora, así mismo igualar tecnologías con el parque de equipos de inyección que cuenta la empresa.

Con los conocimientos adquiridos de automatización, es importante tener claro el funcionamiento de las etapas con las que trabajan los equipos de moldeo por inyección, para poder dimensionar que tipo de autómeta, comunicación, software y hardware se pueden utilizar para el desarrollo de este proyecto técnico.

1. EL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Actualmente la máquina inyectora MIR trabaja con una lógica de funcionalidad convencional a través de interruptores tipo finales de carrera en sus compuertas, en conjunto con relés y contactores que realizan el funcionamiento de este sistema de control.

Al presentarse una falla en la máquina el operador no puede identificar con facilidad de donde proviene el daño, no cuenta con planos eléctricos y el cableado actual no está identificado lo que ocasiona malestar al momento de brindar el soporte técnico, esto origina el paro de la máquina por un tiempo prolongado, disminuyendo directamente el tiempo de producción y aumentando las pérdidas económicas para la empresa.

Debido a la antigüedad de la máquina y a la falta de mantenimiento en su tablero de control, los elementos eléctricos y electrónicos se encuentran en mal estado disminuyendo en gran manera su tiempo de vida útil.

También se puede indicar que con la lógica convencional con la que se encuentra operando la máquina y la falta de información técnica, dificulta al momento de realizar alguna mejora en el proceso.

Otro inconveniente es que el tablero de control se encuentra completamente lleno y al momento de necesitar hacer alguna mejora no tendrá espacio para agregar más elementos.



Figura 1. Tablero de Control Inicial de Inyectora MIR.

(Autores)

1.2 Antecedentes

A principios del año 1981 Printecsa, integra a su grupo de equipos de trabajo la máquina inyectora marca MIR, desde aquel entonces, ha venido trabajando con los diferentes diseños de anclajes de fijación, hace ya unos años atrás, se ha observado que el equipo ha ido presentando inconvenientes eléctricos.

Debido al tiempo y trabajo del equipo, es importante destacar la vida útil de sus componentes y máquina en general. Internamente dentro de las canaletas, su cableado eléctrico se encuentra mezclado con agua y aceite esto puede provocar que el material aislante del cableado se deteriore y genere un corto circuito en algún elemento del tablero.

Otro inconveniente a indicar son los moldes del equipo de inyección, al no tener un elemento que cense la salida de un producto, suelen deteriorarse por hacer doble inyección, dañando el producto final, muy aparte del producto esto también ocasiona daños en los expulsores que se encuentran en la parte móvil del molde, al cerrar el molde con producto y los expulsores atascados, más la nueva inyección, se provocaría un daño tanto a las unidades hidráulicas como en el molde.

Por lo indicado en el párrafo anterior se propone instalar un sensor de salida de producto en la inyectora, el mismo tendrá el trabajo de detectar en un determinado rango de tiempo programado en un PLC, la salida del mismo, de lo contrario se activará un alarma de error a la salida del producto y detendrá todo el proceso hasta que el operador pueda verificar que no hay producto atascado y pueda continuar con la producción.

Con los precedentes planteados, se hace conveniente realizar una reingeniería a la máquina inyectora MIR, equiparla con tecnología digital actual, la misma que al momento de presentarse un inconveniente se pueda resolver a la brevedad posible.

Que cuente con equipos que vayan a la vanguardia con la tecnología industrial, que sean amigables con el usuario, y de fácil acceso a los sistemas y mecanismos con los que operan.

1.3 Importancia y alcance

El proyecto técnico a implementarse es de gran importancia para la empresa Printecsa, dado que mejorará notablemente su producción. En la actualidad las máquinas inyectoras de la planta están equipadas de última tecnología por lo que no presentan problemas frecuentes de fallas y cuando se da algún inconveniente es fácil solucionar el problema. Esto no sucede con la máquina inyectora Mir, como se ha explicado esta máquina cuenta con tecnología convencional lo que produce mayor tiempo de parada al presentarse una falla.

Además de lo descrito cabe recalcar que el propósito de implementar este proyecto técnico es disminuir el tiempo de ciclo y a su vez aumentar las inyecciones diarias de la máquina lo que se verá reflejado directamente en la producción.

1.4 Delimitación del problema

1.4.1 Delimitación temporal

El proyecto técnico implementado tuvo un tiempo de duración de 6 meses y fue culminado en el mes de abril del 2016.

1.4.2 Delimitación espacial

El proyecto técnico fue desarrollado en las instalaciones de la empresa Printecsa S.A ubicado en el Km. 9/5 vía a Daule, en la inyectora marca MIR.



Figura 2. Delimitación espacial del proyecto técnico.

(Autores)

1.4.3 Delimitación académica

El proyecto técnico consiste en la automatización de la máquina inyectora MIR mediante la plataforma RSLogix5000 y Factory Talk View Machine Edition.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Implementar y efectuar la reingeniería del sistema de control de la máquina marca MIR mediante la implementación de un autómata lógico programable en conjunto con un HMI.

1.5.2 Objetivos específicos

- Elaborar el P&D del proceso.
- Diseñar planos eléctricos de fuerza y control de la máquina.
- Diseñar la distribución interna del tablero.
- Reemplazar el tablero existente por el nuevo.

- Implementar los planos eléctricos de fuerza y control de la máquina.
- Realizar pruebas de continuidad de las conexiones realizadas.
- Desarrollar una aplicación en el controlador CompactLogix y en el HMI PanelView Plus 700 a través de la plataforma RSLogix5000 y Factory Talk View Machine Edition que cumpla con el correcto funcionamiento de la máquina.
- Realizar pruebas en vacío de la inyectora marca MIR.
- Realizar pruebas con producto de la inyectora marca MIR con cada uno de sus moldes.
- Realizar un manual de usuario impreso y digital para el personal de la empresa.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Componentes de la máquina

El moldeo por inyección es una técnica para la fabricación de artículos plásticos de diferentes formas y medidas. La popularidad de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, además del bajo costo de su materia prima a invertir para la elaboración del producto.

En el proceso de inyección, el material es ingresado manualmente a una tolva, después pasa por un túnel o barril de calentamiento, donde es fundido para ser inyectado en la cavidad del molde por medio de un pistón o de un tornillo sinfín accionado hidráulicamente, la acción del tornillo no sólo es giratoria sino que también se mueve longitudinalmente como el pistón de inyección, lo que permite incrementar la capacidad de inyección de la máquina. (Díaz F. , 2012)

En la inyectada pueden existir un número de figuras idénticas como también puede constar de una sola figura, a la que se la puede denominar pieza o producto. También pueden existir unos sobrantes o desechos de material, que provienen de la solidificación de los canales de alimentación a las piezas. Estos sobrantes le llamaremos residuos, que luego pueden ser reutilizados y colocados dentro de la tolva para seguir con el proceso inicial con sus mismas propiedades y características.

Cada vez que se realiza el proceso de inyección, el material es sometido a una pequeña degradación, su cuantía dependerá de las condiciones de transformación (temperatura, velocidad, tiempo, presión) y de la forma del molde por donde fluye lo inyectado. Otro tema interesante, es el estudio de variaciones de calor que va sufriendo el polímero, a lo largo del proceso de inyección, mientras en la máquina inyectara, va absorbiendo calor hasta su fusión completa del polímero, por otro lado cuando llega al molde va perdiendo calor hasta su solidificación.

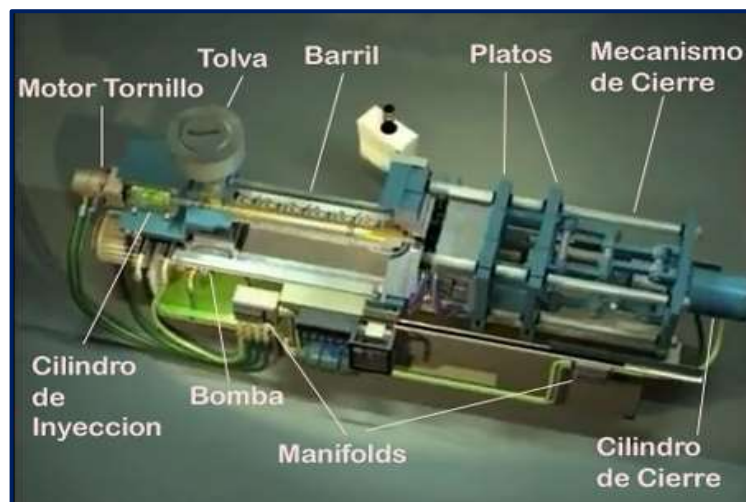


Figura 3. Principales componente de un equipo de moldeo por inyección, en nuestro caso particular la inyectora marca MIR, trabaja con los mismos componentes.

(Rueda, 2011)

2.2 Unidades de una máquina inyectora

En una máquina inyectora de moldeo por inyección pueden identificarse principalmente las siguientes unidades:

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

2.2.1 Unidad de cierre

En esta etapa se trabaja con un sistema mecánico-hidráulico. Es de gran importancia que el cierre del molde sea perfecto, ya que de esto depende que al final se obtenga un producto en muy buenas condiciones para su venta en el mercado.

La función principal es mantener cerrado el molde con la fuerza adecuada para resistir la presión que ejerce la unidad de inyección.

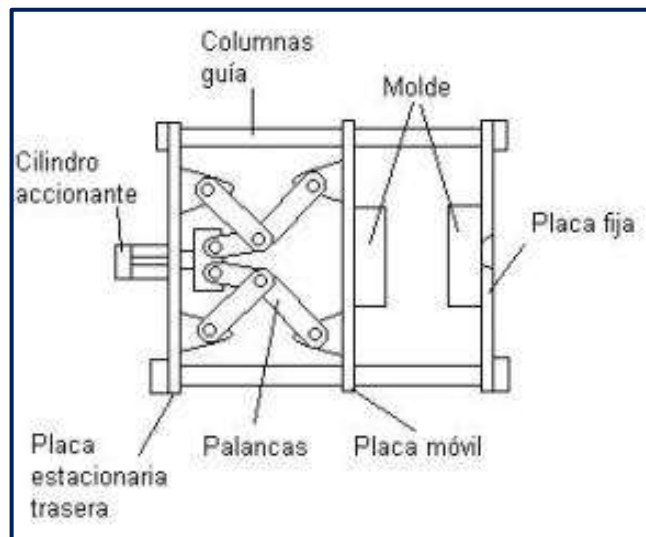


Figura 4. Sistema de cierre hidráulico-mecánico.

(Sanz, 2008)

El Molde

El molde en un equipo de moldeo por inyección, está dividido en dos partes elementales, ambas con circuito de refrigeración:

- Parte fija o de inyección
- Parte móvil o de expulsión

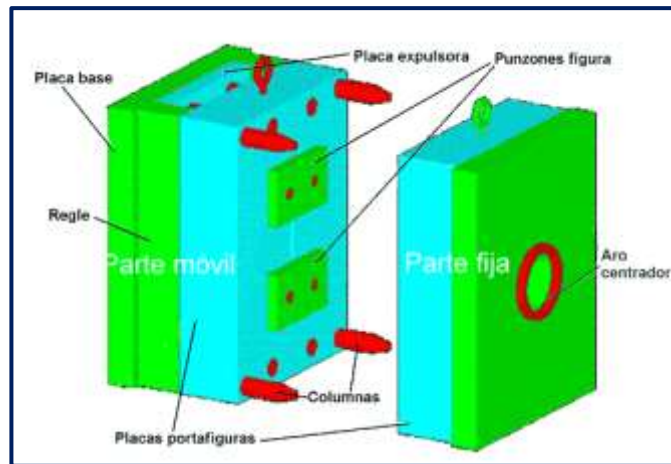


Figura 5. Partes de un molde en una máquina de inyección por moldeo.

(Castillo, 2007)

- **Parte Fija o de inyección**

Nombrada así porque es la parte del molde que no se mueve, cuando la inyectora realiza su proceso de inyección. Está sujeta al plato de la máquina inyectora fijo, y es donde apoya el cilindro de inyección de la máquina, para introducir en el molde el material plástico fundido. Es decir es el que está cercano al grupo de elementos de inyección por ende el nombre.

- **Parte móvil o de expulsión**

Nombrada así porque es la parte que está sujeta al plato móvil de la máquina y con esta la misma se mueve. También es importante indicar que en esta parte están ubicados los expulsores del sistema de la pieza inyectada.

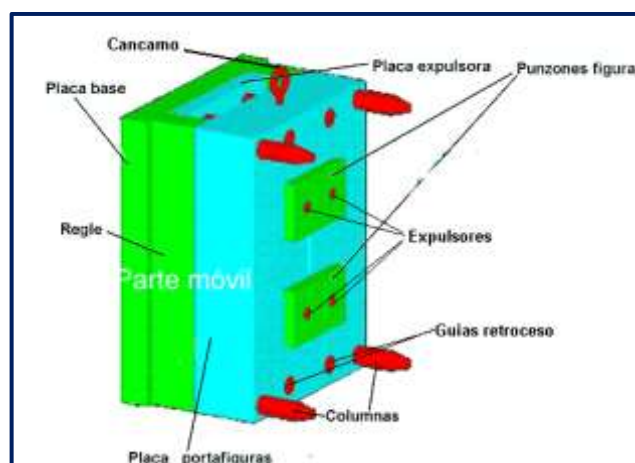


Figura 6. Parte móvil del molde o de expulsión.

(Castillo, 2007)

- Circuito de Refrigeración

Como se mencionó, ambas partes del molde tienen una serie de tuberías internas por donde pasa el líquido refrigerante. Con este mecanismo, a una temperatura establecida del líquido refrigerante y trabajando de forma continua, se establecerá un equilibrio entre la cantidad de calor que se suministra al molde con el polímero fundido y la cantidad de calor que se le quita al molde con el líquido refrigerante.

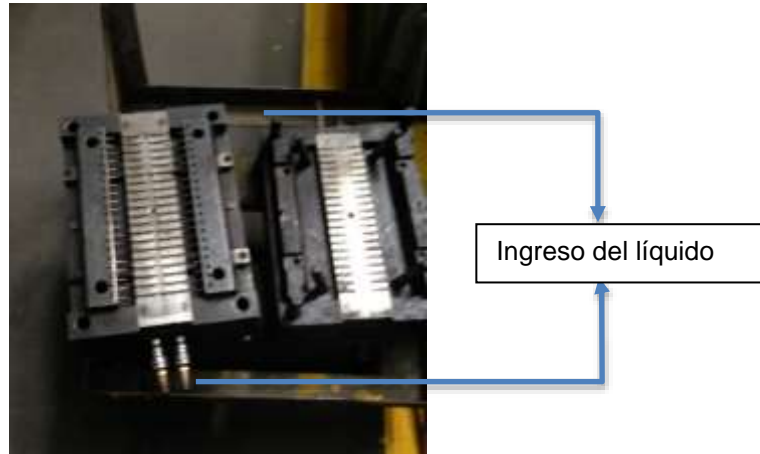


Figura 7. Molde de tacho Fisher # 8, se visualiza el ingreso del líquido refrigerante, en el caso de la Empresa Printecsa utiliza agua helada.

(Autores)

2.2.2 Unidad de inyección

La unidad de inyección es una etapa del proceso, que consiste en fundir la materia prima por medio del calor, en una máquina inyectora. El material es calentado y alojado en un túnel de resistencias térmicas de calentamiento, para luego ser inyectado dentro de las cavidades internas de un molde, con una determinada presión, velocidad y temperatura. Transcurrido el tiempo el plástico fundido en el molde va perdiendo su grado de calor y volviéndose sólido, por medio del sistema refrigerante que contiene el molde, acoplándose a la forma interna del molde donde ha estado alojado el material. El resultado es una pieza sólida con las formas y dimensiones similares a las del molde.

Las fases necesarias de la máquina inyectora para la carga, fusión, inyección y expulsión del material plástico, está determinada por las siguientes etapas:

- Ingreso de material
- Calentamiento del material
- Movimiento del material
- Inyección del material

Ingreso del material

El ingreso del material se lo realiza de forma manual a través del operador, el cual ingresa la materia prima en una tolva, para luego continuar con las siguientes etapas.



Figura 8. Tolva donde se ingresa la materia prima a fundir.

(Autores)

Para la elaboración de los anclajes de fijación la empresa Printecsa utiliza los siguientes tipos de materiales:

- Polietileno (PE)
- Polipropileno (PP)

Polietileno (PE)

Este polímero se obtiene a partir del etileno. Las dos variedades comerciales más conocidas de este polímero son el polietileno de baja densidad (LDPE) y el de alta densidad (HDPE). La diferencia en sus propiedades y aplicaciones vienen dadas por el grado de cristalinidad que cada uno puede alcanzar.

El LDPE, posee una estructura muy ramificada y por ende una baja cristalinidad. Sus principales aplicaciones son la fabricación de bolsas plásticas, tuberías y recubrimiento para cables. Por su parte el polietileno de alta densidad, que posee un mayor cristalinidad debido a su estructura prácticamente lineal, encuentra aplicaciones como tuberías, recipientes, enseres domésticos, aislamiento para cables, juguetes y asientos para uso público, entre otras. (Lépez, 2004)



Figura 9 Material polietileno utilizado en la empresa Printecsa para la elaboración de grapas de cables.

(Autores)

Polipropileno (PP)

El polipropileno se obtiene mediante la polimerización del propileno. En términos generales las propiedades del PP son similares a las del HDPE. Se emplea para la elaboración de tubos, fibras para cuerdas, artículos textiles y películas para empaque de alimentos.

Es un polímero que reúne varias propiedades como son su alta estabilidad térmica que le permite operar durante mucho tiempo a temperatura de 100°C en el aire. También se puede indicar que es resistente al agua hirviendo pudiendo esterilizarse a temperaturas de 140°C, sin que sufra algún grado de deformación el producto. Una de sus ventajas son sus excelentes propiedades dieléctricas su alta resistencia a la tensión y a la compresión y su bajo coeficiente de absorción de humedad. (López, 2004)



Figura 10 Material Polipropileno que utiliza la empresa Printecsa, para la elaboración de tacos Fisher.

(Autores)

Calentamiento de material

El calentamiento del material es donde se funde la materia prima, en este caso los equipos de inyección utilizan un túnel o barril de acero cubierto con unas bandas calefactoras, el barril está diseñado para soportar temperaturas y presiones altas, para luego una vez fundido el material ser inyectado hacia el molde.

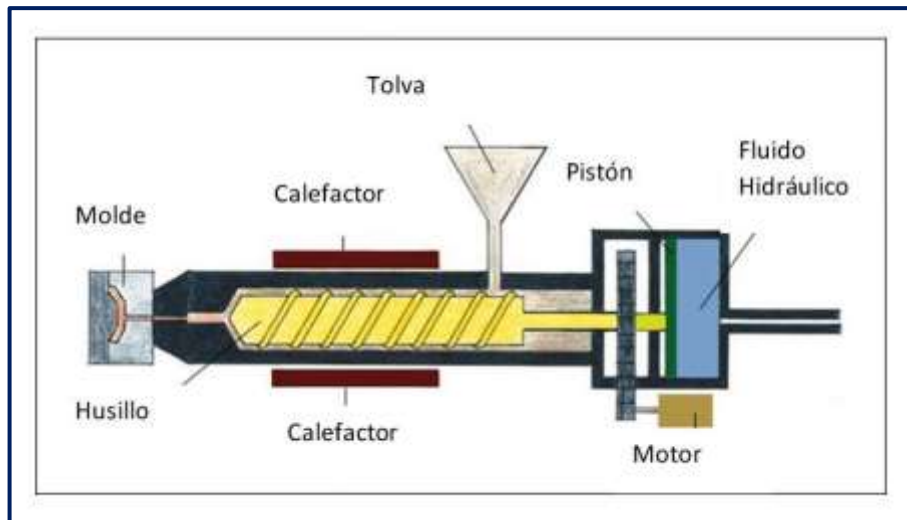


Figura 11. Zonas de calefacción ubicados en el barril de calentamiento.

(Mariano, 2011)

En el equipo de inyección marca MIR, el barril está dividido en 3 zonas de calentamiento, en cada zona se utilizan los materiales descritos a continuación:

- Resistencias de Calentamiento
- Termocuplas
- Controladores de Temperatura

El encendido de estos equipos lo realiza el operador a través de disyuntores magnéticos ubicados dentro del tablero principal de fuerza y control.

Resistencias de calentamiento

Las resistencias de calentamiento se fabrican a base níquel, la energía eléctrica que se le aplica se transforma en calor. La intensidad de calor que pueda proporcionar esta resistencia va a depender directamente del tiempo que se le aplique energía eléctrica.



Figura 12 Resistencia de calentamiento, utilizado para homogenizar la temperatura en el barril de acero.

(Autores)

Termocuplas

Las termocuplas son sensores de temperatura más utilizados en la industria. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, que al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los mili-voltios el cual aumenta con la temperatura. (Bausa, 2003)

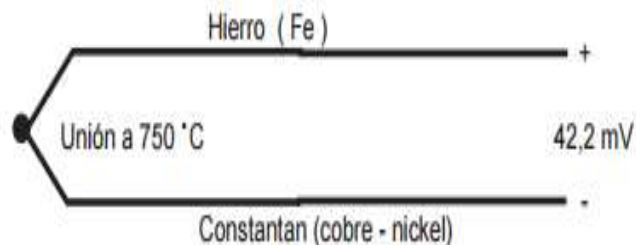


Figura 13. Esquema de una termocupla.

(Bausa, 2003)

Las termocuplas podrían clasificarse dependiendo de sus características como por el material por el que están construidas, su tolerancia o desviación.

TERMOCUPLAS

CODIGO ANSI	TERMINAL +	TERMINAL -	RANGO TEMP.	SALIDA mV
J	HIERRO	CONSTATAN	0 A 750 °C	0 A 42.283
K	Ni-Cr	Ni-Al	-200 A 1250 °C	-5.973 A 50.633
V*	Cu	Cu-Ni	0 A 80 °C	
T	Cu	Cu-Ni	-200 A 350 °C	-5.602 A 17.816
E	Ni-Cr	Cu-Ni	-200 A 900 °C	-8.824 A 68.783
N*	Ni-Cr-Si	Ni-Si-Mg	-270 A 1300 °C	-4.345 A 47.502
R	Pt-13%Rh	Pt	0 A 1450 °C	0 A 16.741
S	Pt-10%Rh	Pt	0 A 1450 °C	0 A 14.973
U*	Cu	Cu-Ni	0 A 50 °C	
B	Pt-30%Rh	Pt-6%Rh	0 A 1700 °C	0 A 12.426
G*	W	W-26%Re	0 A 2320 °C	0 A 38.564
C*	W-5%Re	W-26%Re	0 A 2320 °C	0 A 37.066
D*	W-3%Re	W-25%Re	0 A 2320 °C	0 A 39.506

Tabla 1. Tipos de Termocuplas y su clasificación según sus rangos y terminales.

(Turmero, 2015)

Controladores de temperatura

El controlador de temperatura es el encargado de controlar el tiempo que permanecen encendidas la resistencia de calentamiento, se ingresa el valor de la temperatura que se desea mantener como referencia, el pirómetro comparará la temperatura seteada con la temperatura actual que indique la termocupla. La resistencia permanecerá encendida hasta alcanzar el valor seteado en el pirómetro.



Figura 14. Controlador de Temperatura de la marca HANYOUNG.
(Autores)

Movimiento del material

El movimiento del material inicia cuando empieza a girar el husillo (tornillo), para transportar el material que se encuentra en la tolva hacia el túnel o barril de inyección, alrededor del túnel se encuentran unas resistencias térmicas logrando una temperatura uniforme dentro del barril.

El calentamiento del barril se lo realiza por zonas, el número de zonas dependerá del tamaño del barril, en este caso se dividen 3 zonas. Dentro del barril se encuentra un tornillo, el cual generalmente está pulido y cromado para facilitar el movimiento del material sobre la superficie. El tornillo se encarga de recibir el plástico, fundirlo, mezclarlo y alimentarlo en la parte delantera hasta que se junta la cantidad suficiente para luego inyectarlo hacia el molde

A medida que el husillo va transportando el material hacia adelante, este retrocede debido a la acumulación de material que se produce en la parte delantera de la cámara de inyección. El retroceso del husillo va a finalizar cuando haya llegado a la posición definida.



Figura 15. Tipos distintos de filetes. Filete estándar (izq.). Doble filete (centro).
Filete de mezclado rápido (der.)

(Mariano, 2011)

Inyección del material

El husillo (tornillo) es una parte fundamental en la unidad de inyección, su función es inyectar (avanzar sin rotación) el material fundido dentro del molde. La duración de esta etapa va a depender de la cantidad de material que se necesite para llenar el molde.

En el transcurso de esta etapa se generan las siguientes variables:

- Velocidad de inyección
- Presión de inyección
- Temperatura del material

2.2.3 Unidad de potencia

Está conformado por el conjunto de elementos que la máquina necesita para transformar y suministrar la fuerza a través del sistema hidráulico principalmente para las unidades de inyección y de cierre.

Sistema hidráulico

Es la rama de la ingeniería y la física que estudia las propiedades y el comportamiento de los fluidos líquidos, en este caso se estudia los fluidos y comportamiento para transmitir potencia. (Rueda, 2011)

Partes Principales del Sistema hidráulico

Los principales componentes de una máquina de moldeo por inyección hidráulica son los siguientes:

- **Cilindro hidráulico de inyección.** Es el encargado de convertir la energía hidráulica en fuerza mecánica lineal y movimiento, dependiendo del cilindro pueden tener una o dos cámara, cuando el flujo entra en la cámara se crea un flujo lineal extendiendo el vástago, la presión a la entrada depende de la fuerza de la carga en el vástago y la velocidad lineal del vástago va a depender del flujo suministrado al cilindro en la entrada. En los equipos de moldeo por inyección su función es empujar el plástico fundido dentro de las cavidades del molde.
- **Motor hidráulico de accionamiento del Tornillo.**-Carga el material plástico derretido en bruto en el barril.
- **Cilindro hidráulico de cierre.**- Este cilindro hidráulico, recibe el aceite a presión proveniente de una bomba y del conjunto de válvulas, hace mover el émbolo que está unido directamente al plato móvil (caso de cierre hidráulico) o a través de las articulaciones (caso de rodillera), realiza los movimientos para cerrar o abrir, dependiendo del punto donde entre en aceite a presión en el cilindro hidráulico.

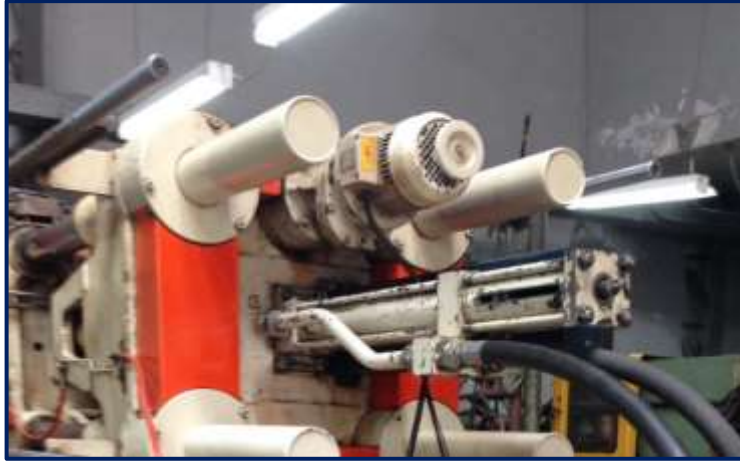


Figura 16. Cilindro doble efecto para la el cierre del molde en el equipo MIR de la empresa Printecsa.

(Autores)

- **Cilindros hidráulicos de expulsión.-** Expulsa las piezas de plástico fuera del molde al final del proceso.
- **Motores hidráulicos de los expulsores.-** Empujan las piezas de plástico del molde, generalmente en las partes roscadas como en botellas.
- **Bombas hidráulicas.-** Es el componente de un sistema hidráulico, que convierte la energía mecánica del motor fuente en energía Hidráulica, mediante el envío de flujo de aceite al sistema, la bomba hidráulica dispone de dos puertos, de entrada, de salida y un eje de rotación que se conecta al motor principal. Cuando el eje de la bomba está rotando y la entrada está conectada al depósito, el fluido hidráulico es trasladado desde el depósito hasta la entrada y luego la salida de la bomba que envía el líquido al sistema a una cierta velocidad (flujo) y (presión) la cual depende de la carga.

Recorrido del Aceite Hidráulico

Para el buen rendimiento de la máquina inyectora MIR, se debe utilizar el aceite tipo AGIP F1 OSO 45, partimos de un depósito de aceite, el aceite hidráulico tiene la composición necesaria para aguantar presiones elevadas por ejemplo 180 bares, temperatura de hasta 60°C y velocidades altas. Por medio de unas bombas accionadas por el motor eléctrico absorbe el aceite del depósito y lo envía con una presión determinada a un circuito cerrado con retornos al mismo depósito de aceite. El aceite hidráulico que circula por el circuito es regulada por unas reguladoras de presión, y ajustado el caudal por unas reguladoras de caudal, este aceite llega a una serie de electroválvulas direccionales, que como su nombre lo indica, le dan una dirección hacia donde pueden dirigir el aceite, así cada cilindro hidráulico tendría una válvula direccional, el émbolo o pistón iría para un lado o para el otro, según la posición de la válvula direccional. (Juan, 2007)

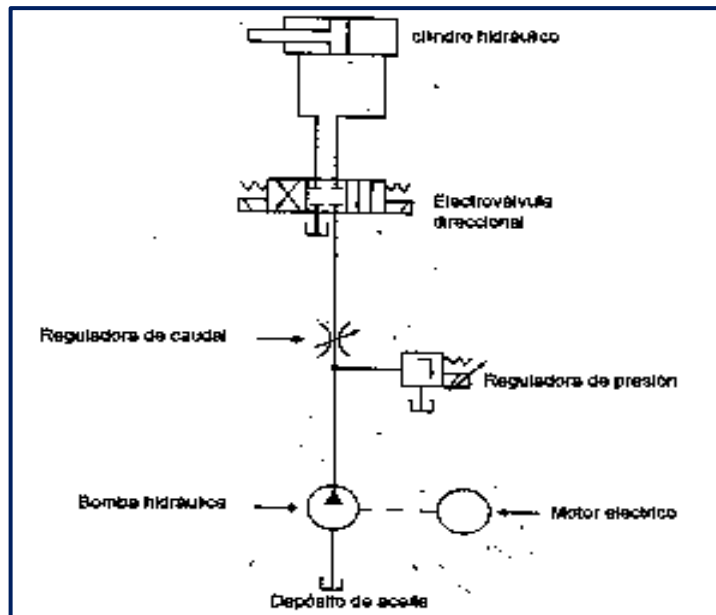


Figura 17. Componentes principales de sistema hidráulico en un equipo de moldeo por inyección.

(Castillo, 2007)

2.2.4 Unidad de control

La unidad de control es la parte fundamental de un equipo de inyección, porque es donde se establecen, monitorean y controlan todos los parámetros del proceso como ajustes de tiempos, temperaturas y velocidades.

El sistema de control permite configurar y dar órdenes para que la inyectora trabaje de forma manual o en ciclos repetitivos de manera automática, permitiendo cambiar parámetros si es necesario según el molde y producto a inyectar.

El sistema de control trabaja de la mano con el sistema de potencia, a través del cual las diferentes señales digitales y analógicas se convierten en movimientos de las unidades de inyección y cierre.

Control y Automatización

El término de control tiene un significado general que suele utilizarse para referirse a equipos que tienen las siguientes funciones:

- Controlar
- Regular
- Vigilar
- Captar datos (de un proceso)
- Comunicar
- Diagnosticar

En la técnica de la automatización se emplean numerosas denominaciones para calificar diversos tipos de control que asumen funciones específicas. Entre ellos están los siguientes:

- **Controles programables con relés**
Se trata de controles en los que la lógica se ejecuta mediante las conexiones establecidas con relés.
- **Controles lógicos programables**
Los PLC fueron desarrollados en sustitución de los controles por contactos mediante relés, ya que estos son poco versátiles. Están compuestos de un ordenador que tiene módulos de entradas y salidas especiales. El programa no se define mediante la conexión entre varios relés, sino que se encuentra en la unidad de memoria de la unidad de control y, por lo tanto, pueden modificarse dentro de determinados límites. (F. Ebel, 2008)

PLC

El PLC en la actualidad son los controladores más utilizados principalmente para la automatización a nivel industrial, están diseñados para trabajar en tiempo real y controlar procesos secuenciales.

Un PLC realiza, entre otras, las siguientes funciones:

- Recoger datos de las fuentes de entrada a través de las fuentes digitales y analógicas.
- Tomar decisiones en base a criterios pre programado.
- Almacenar datos en la memoria.
- Generar ciclos de tiempo.
- Realizar cálculos matemáticos.
- Actuar sobre los dispositivos externos mediante las salidas analógicas y digitales.
- Comunicarse con otros sistemas externos. (Prieto, 2007)

A continuación se enlistan las ventajas y desventajas que trae consigo el empleo de un PLC:

Ventajas

- Control más preciso.
- Mayor rapidez de respuesta.
- Flexibilidad Control de procesos complejos.
- Facilidad de programación.
- Seguridad en el proceso.
- Empleo de poco espacio.
- Fácil instalación.
- Menos consumo de energía.
- Mejor monitoreo del funcionamiento.
- Menor mantenimiento.
- Detección rápida de averías y tiempos muertos.
- Menor tiempo en la elaboración de proyectos.
- Posibilidad de añadir modificaciones sin elevar costos.
- Menor costo de instalación, operación y mantenimiento.
- Posibilidad de gobernar varios actuadores con el mismo autómeta.

Desventajas

- Mano de obra especializada.
- Centraliza el proceso.
- Condiciones ambientales apropiadas.
- Mayor costo para controlar tareas muy pequeñas o sencillas. (Rojas, 2009)

Sensores

Para efectuar el control de la máquina es necesario que los controladores conozcan la posición de las partes móviles de las máquinas, de los objetos fabricados por ellas, o de las variables como temperatura, presión. Para suministrar esa información al controlador será necesario disponer de sensores en las máquinas.

La gama de sensores (también denominados captadores o detectores) disponible en el mercado es muy amplia con el objeto de responder a los múltiples problemas de detección que se plantean en las máquinas de fabricación. Se pueden encontrar finales de carrera, detectores de proximidad inductivos, detectores de proximidad capacitivos, ultrasónicos, ópticos. (Piedrafita Moreno, 2004)

Finales de carrera

Los finales de carrera son captadores de conmutación electrónica, la detección del objeto por medio del cabezal hace conmutar los contactos eléctricos del final de carrera. Para que la señal del captador llegue al autómatas se cablea un terminal del contacto a una fuente de alimentación y el otro terminal a una entrada digital del autómatas. El cierre del contacto hace que la tensión llegue a la entrada digital. (Piedrafita Moreno, 2004)

Detectores fotoeléctricos

Los detectores fotoeléctricos incorporan un emisor y un receptor. El receptor reacciona ante las variaciones de la luz que es emitida por el emisor. El tratamiento de la variación de la luz se transforma en una activación de la salida. La activación de la salida por la luz se denomina "conmutación por luz". La activación de la salida por interrupción del rayo de luz "conmutación por oscuridad".

- Sistema emisor – receptor o barrera

Consta de dos aparatos: el emisor y el receptor. La interrupción del haz de luz provoca la conmutación. Permite la detección a larga distancia y la posición de detección es estable. Permite detectar los objetos opacos sea cual sea su forma, color o material. (Piedrafita Moreno, 2004)

HMI

También conocidas como pantallas de operador o simplemente HMI (por sus siglas en inglés), las interfaces Hombre-Máquina ha pasado de ser simples elementos de comunicación entre el operario y su proceso para transformarse en componentes "inteligentes" de control y monitoreo. La nueva generación de HMI integra

prestaciones que anteriormente sólo encontrábamos en plataformas dedicadas al control y automatización. (Electro Industria, 2013)

En cualquier proceso industrial, es casi inevitable encontrar, al menos, una interfaz (HMI) que ayude a los operarios a monitorear y controlar el funcionamiento de un equipo. Hasta la llegada de las "HMI", los operarios, personal de mantenimiento y gerentes, sólo podían interactuar con sus procesos industriales a través de una serie de botones y luces piloto.

Al tratarse de equipos de bajos grados de complejidad, dicha alternativa era aceptable, pero cuando se busca supervisar y modificar los parámetros de un proceso que posee diversas velocidades, materiales, equipos, y procedimientos, entre otras variables, la versatilidad y capacidades gráficas de las pantallas HMI, las transforman en el elemento preferido para llevar a cabo estas tareas. (Electro Industria, 2013)

2.3 Comunicación Ethernet

La conexión a través del puerto Ethernet es un estándar de redes de área local, es decir de corta extensión, en este caso surge como alternativa una conexión PPI. La diferencia entre las conexiones anteriormente nombradas radica en la velocidad de transmisión, Ethernet transmite a 10Mbps, mientras que PPI a 9.6 Kbps. Por una rapidez de transmisión mayor la opción escogida es Ethernet. (Salazar, 2012)

Los componentes básicos en una conexión Ethernet se los detalla a continuación:

- **Medio físico**

Componentes para transportar la señal, (Ej: cables y conectores).

- **Componentes de señalización**

Dispositivos electrónicos que reciben y envían señales en el canal.

- **Normas de acceso al medio**

Protocolo utilizado por la tarjeta de red para utilizar de forma compartida un canal Ethernet.

- **Un patrón llamado trama**

Paquete de bits organizados bajo un estándar, que transporta la información y datos para orientar en el viaje al mismo. (Salazar, 2012)

2.4 Proyectos de titulación similares

Existen diferentes proyectos realizados acerca de la automatización de una máquina inyectora. A continuación se describen algunos de ellos:

- **Automatización y puesta en marcha de máquina inyectora Reed-100 en Plásticos Ecuatorianos S.A**

Este proyecto fue realizado en la empresa Plásticos del Ecuador S.A, en donde se implementó un PLC que será el encargado de recibir las señales de cada una de las entradas y de controlar las activaciones de las válvulas.

Se colocó un microcontrolador que hace la función de 4 temporizadores para controlar el tiempo de enfriamiento, inyección y espera de ciclo.

Se instaló una pantalla HMI a través de la cual se puede dar movimiento en manual, activar o desactivar funciones dependiendo del tipo de producto a fabricar además se podrán visualizar las alarmas presentadas durante el proceso. Para el control y supervisión de los movimientos y variables de la máquina. Para realizar el control de temperatura se instaló controladores de temperaturas modernos, los cuales controlan la misma y emiten alarma si esta no llega o se sobrepasa de su punto deseado. (Burbano Sotomayor & Con Sanchez, 2013)

- **Propuesta del sistema de control para una máquina de inyección de plástico**

Se desarrolló la propuesta de control de una máquina de inyección de plástico marca Battenfeld de la empresa Transformaciones Universales. La renovación del sistema de control era necesaria, pues la máquina presentaba inconvenientes de producción y mantenimiento; los tiempos de producción eran extensos, el porcentaje de piezas defectuosas era elevado, y los paros por fallo eran frecuentes.

Una vez que se registraron los requerimientos de control, se seleccionó el controlador lógico programable PLC, que cumplía con los requerimientos del sistema.

Los aspectos a cubrir de la propuesta de control son los siguientes: la secuencia del ciclo de inyección, el control de temperatura y el control hidráulico, encargado de realizar el accionamiento de los pistones de acuerdo al ciclo de moldeo.

La secuencia del ciclo de inyección fue programada mediante técnica Grafset, en lenguaje escalera, y permite al usuario seleccionar tres modos de operación: manual, automático y semiautomático.

El control de temperatura se propuso mediante un controlador PID. En cuanto al sistema hidráulico la sustitución del controlador permite ajustar el porcentaje de apertura de las válvulas, y el resultado es un producto de mejor calidad. (Díaz & Saldaña Hernández, 2011)

- **Desarrollo e implementación de un sistema automático para una máquina inyectora de PVC de la empresa Plasticaucho Industrial S.A – Ambato**

Se implementó un sistema automático basado en un PLC S7 200 CPU 226 de la familia SIMATIC de SIEMENS complementado con módulos de ampliación EM221 y EM222 de entradas y salidas digitales respectivamente para controlar 27 entradas y 21 salidas digitales, 1 módulo de ampliación EM 231 de 4 entradas analógicas que controle termocuplas y 1 módulo de ampliación EM 235 de 4 entradas analógicas/1 salida analógica que controle el volumen de material de PVC. Con ayuda de una HMI DELTA se ha logrado un intercambio de información entre el sistema electromecánico y el usuario. La programación se lleva a cabo utilizando el software ScrEdit. Instalado el equipo físico necesario en el control del proceso de producción de zapatillas de lona, se programó en el lenguaje ladder el software de STEP 7-Micro/WIN para el manejo de tales dispositivos. Como uno de los resultados más importantes del proyecto, se logró al cambiar la

dosificación de volumen de material de PVC que tenía un control mecánico, a un control automático a través del desplazamiento de un potenciómetro en función al volumen de material que se requiera para la inyección. En la pantalla HMI DELTA se ingresa el volumen. (Criollo Guatapi, 2010)

3. MARCO METODOLÓGICO

Para realizar un diseño de control automático en la inyectora MIR, se necesita identificar cuantas señales (sensores, actuadores) se van a controlar, de esta forma se podrá dimensionar correctamente el controlador que se utilizará.

3.1 Identificación del sistema

Lo primero que se realizó fue la identificación de las etapas que conforman un ciclo en la inyectora. Dando como resultado 9 etapas, que se mencionan a continuación:

- Cierre de molde
- Carro adelante
- Inyección
- Dosificación
- Carro atrás
- Rechupe
- Enfriamiento
- Abrir molde
- Expulsión

Luego de identificar las etapas, se procedió a efectuar un levantamiento de los actuadores que conforman este proceso. Se pudo identificar 16 electroválvulas direccionales, 4 cilindros hidráulicos doble efecto.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
S2B	Válvula de 4/3 vías
S5	Válvula de 4/3 vías
S1	Válvula de 4/3 vías
S2	Válvula de 4/3 vías
S45	Válvula de 4/3 vías
S46	Válvula de 4/3 vías
S19	Válvula de 4/3 vías
S18	Válvula de 4/3 vías
S27	Válvula de 4/3 vías
S28	Válvula de 4/3 vías
S29	Válvula de 4/3 vías
S4	Válvula de 4/3 vías
S26	Válvula de 4/3 vías
S51	Válvula de 4/3 vías
S52	Válvula de 4/3 vías

S3	Válvula de 4/3 vías
Cierre de molde	Cilindro hidráulico doble efecto
Inyección	Cilindro hidráulico doble efecto
Expulsor	Cilindro hidráulico doble efecto
Movimiento de Carro	Cilindro hidráulico doble efecto

Tabla 2. Levantamiento de actuadores en el proceso.

(Autores)

Una vez obtenida esta información, es necesario determinar los actuadores que intervendrán en cada etapa del proceso. Esta información es parte del levantamiento inicial y va a permitir tener claro que electroválvulas activar al momento de realizar la automatización del proceso para cumplir con cada etapa del mismo.

ETAPA	ELECTROVÁLVULAS
Cierre de molde	S5 – S1 – S4 – S51 – S52
Carro adelante	S18 – S52
Inyección	S18 – S28 – S4 – S51 – S52
Dosificación	S27 – S51
Carro atrás	S19 – S52
Rechupe	S26 – S52
Abrir molde	S2B – S5 – S2 – S4 – S51 – S52
Expulsión	S45 – S46 – S4 – S52

Tabla 3. Electroválvulas que actúan en cada etapa del proceso.

(Autores)

Se debe mencionar que cada etapa cuenta con un interruptor tipo final de carrera y tiempos que permiten controlar cada etapa en el proceso.

3.2 Diseño del controlador

En el diseño del controlador es importante saber cuántas entradas y salidas se tienen en el proceso, además si son tipo digital o analógico es por esto que se elaboró un listado de entradas y salidas. Ver Anexo 2

Controlador de temperatura

El controlador de temperatura que se utilizó es de la marca Hanyoung modelo NX4.

3.2.1 Dimensionamiento de PLC

Para estandarizar los equipos de control en la planta, se utilizó el PLC Allen Bradley de la familia Compact Logix 5370 L3, catálogo 1769-L30ERM.

A continuación se detallan las especificaciones de este controlador.

	1769-L30ERM
Memoria de usuario	1MB
Tareas del controlador	32
Programas por tarea	100
Control de movimiento integrado	Eje de lazo de posición de movimiento CIP de 4 ejes
Módulos expansores locales	8
Puntos de E/S de expansión locales	256
Servovariadores (lazo de posición CIP)	4
Nodos IP de E/S Ethernet	16
Ejes virtuales	100
Retroalimentación solamente, par, velocidad, Vhz (variadores de movimiento CIP máx.)	16
Ejes/ms	2
Compatibilidad con Kinematics	Sí
Software/Firmware	RSLogix 5000 V20 y firmware RSLinx Classic V2.59 v20.1x o posterior

Tabla 4. Especificaciones técnicas del controlador 1769-L30ERM.

(Allen Bradley, 2011)

Según el levantamiento realizado de entradas y salidas (Anexo 2), el proceso cuenta con 33 entradas digitales y 20 salidas digitales. Los módulos E/S de catálogo 1769

se pueden encontrar de 8 a 32 puntos por módulo. Para el desarrollo de este proyecto se escogió trabajar con módulos de 16 puntos. A continuación se indican los modelos seleccionados.

CANT.	MODELO	DESCRIPCIÓN
3	1769-IQ16	Módulos de entradas digitales
2	1769-OB16	Módulos de salidas digitales

Tabla 5. Módulos expansores de E/S utilizados en el proceso.

(Autores)

Estos módulos se unen entre sí mediante lengüetas y ranuras, además cuentan con un bus de comunicación integrado que se conecta de un módulo a otro. En este proyecto se mantiene un 25% de reserva en los módulos, según criterio técnico por cualquier cambio o mejora que se desee realizar en un futuro.

Alimentación eléctrica

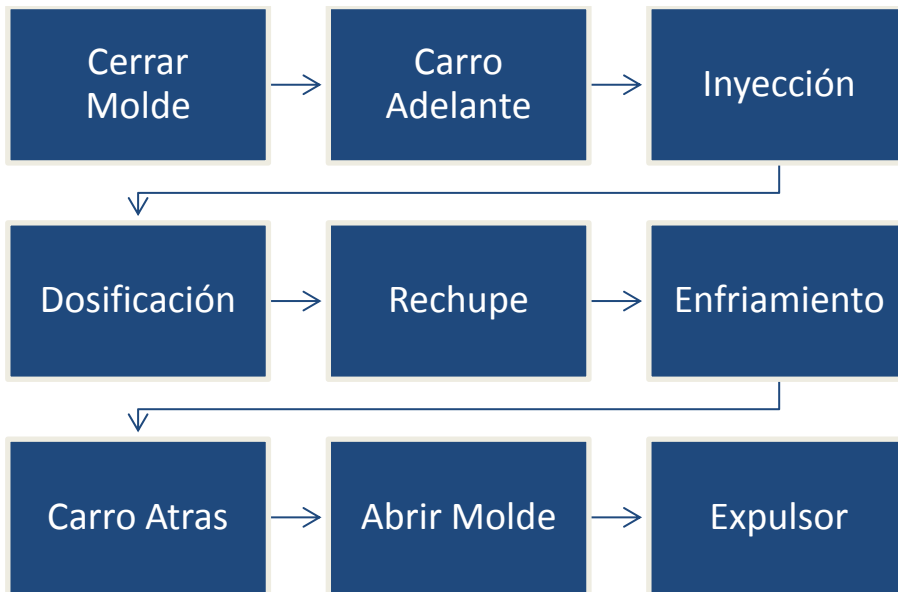
Se seleccionó una fuente de 4A modelo 1769-PA4, la cual será la encargada de suministrar la alimentación eléctrica al controlador y a los 5 módulos expansores.

Terminación de tapa final

Al momento de ubicar el controlador, la fuente de alimentación eléctrica y los módulos expansores es necesario colocar al final una terminación de tapa final modelo 1769-ECR que indicará el final del bus de datos.

3.3 Diagrama de flujo

En el siguiente diagrama de flujo se puede visualizar las etapas y el orden en que se ejecutan cada una de ellas. Este proceso corresponde al proceso de inyección que realiza la inyectora marca MIR.



3.4 Diseño del software

El diseño del software de programación se lo realizará en base a la sección 3.3, donde se describe el ciclo de la inyectora MIR.

Para empezar se debe crear un nuevo proyecto en la plataforma RSLogix5000.

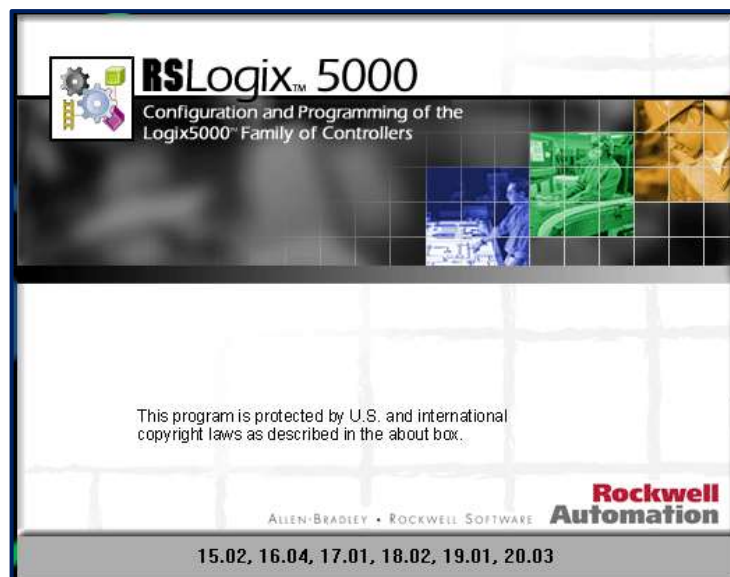


Figura 18. Inicio de plataforma RSLogix 5000.

(Autores)

Lo primero que se debe realizar es seleccionar el controlador con el que se va a trabajar.

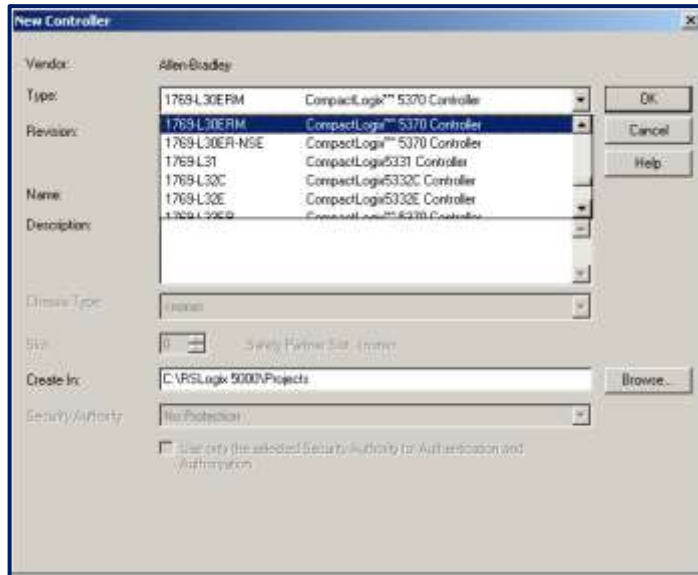


Figura 19. Selección de controlador en plataforma RSLogix 5000.
(Autores)

Una vez seleccionado el controlador es importante seleccionar la revisión o firmware del PLC, para que al momento de cargar el software no exista incompatibilidad.

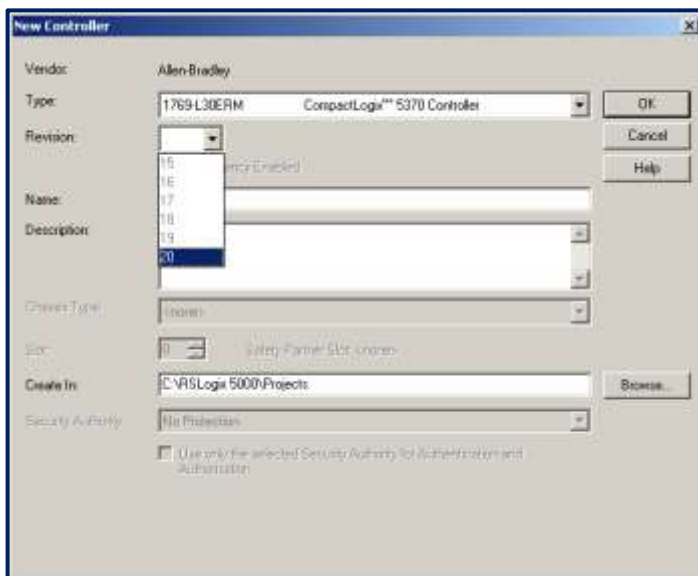


Figura 20. Selección del Firmware en plataforma RSLogix 5000.
(Autores)

Después se debe asignar un nombre al proyecto y guardar los cambios dando clic en el botón OK.

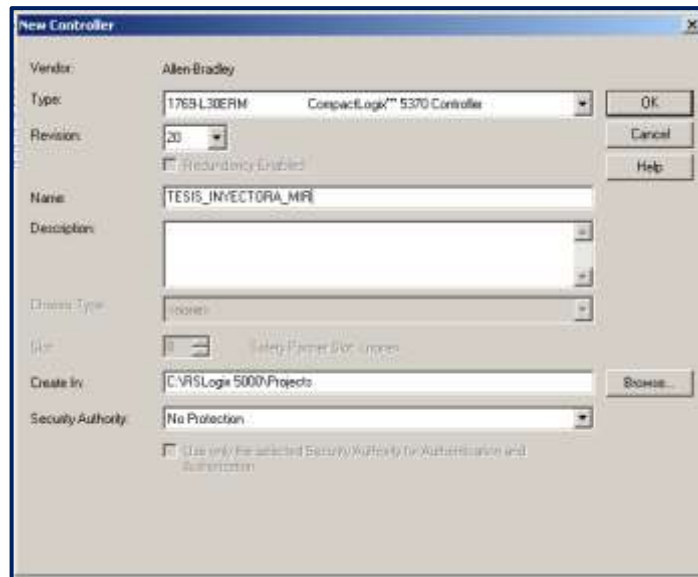


Figura 21. Crear nuevo proyecto en plataforma RSLogix 5000.

(Autores)

El proyecto se ha creado y en la plataforma se puede visualizar el árbol del proyecto.

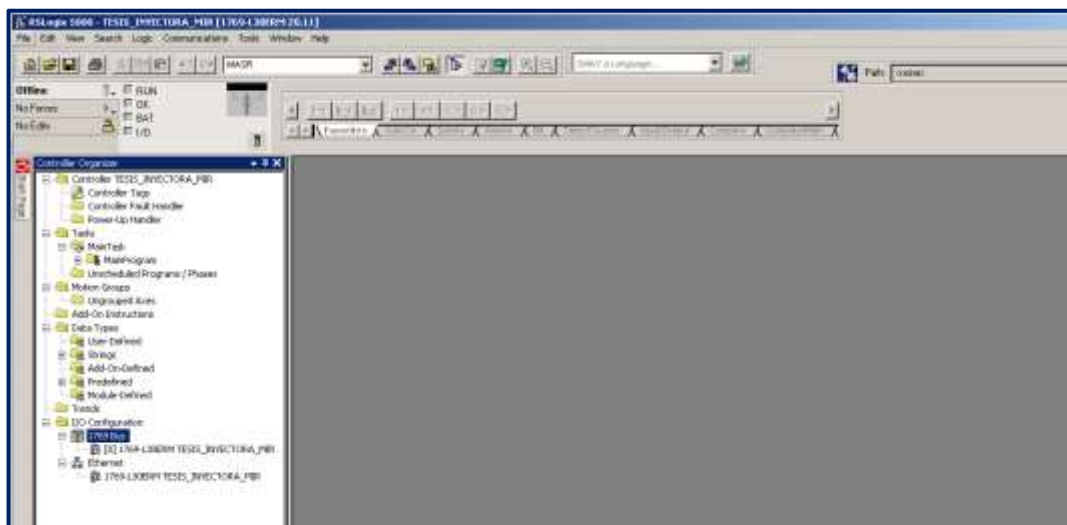


Figura 22. Árbol del proyecto en plataforma RSLogix 5000.

(Autores)

Hasta ahora solo se ha configurado el controlador, también se debe configurar los módulos E/S que se van a utilizar. Para ellos se debe seguir los siguientes pasos:

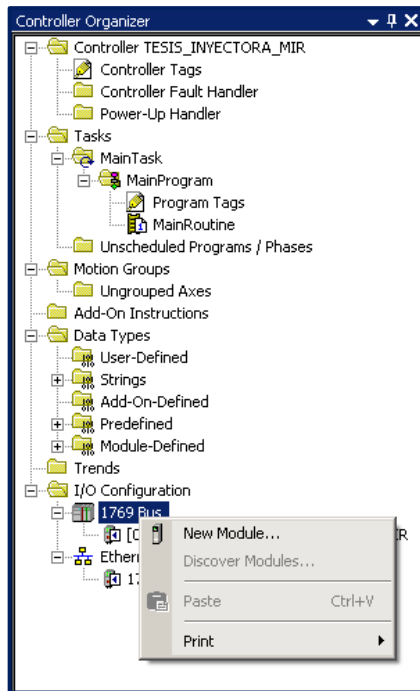


Figura 23. Añadir módulos de E/S en plataforma RSLogix5000.

(Autores)

Al seleccionar New Module se desplegará la siguiente pantalla.

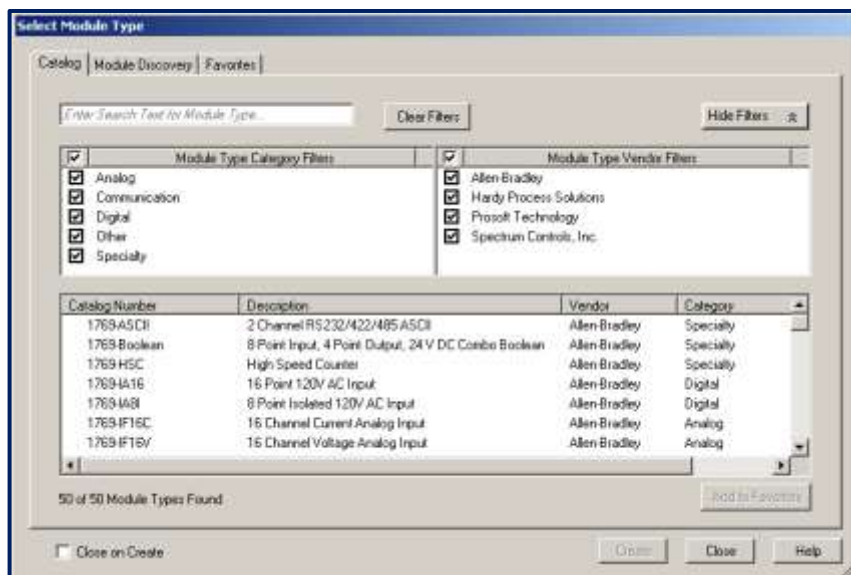


Figura 24. Pantalla para seleccionar un nuevo módulo en plataforma RSLogix 5000.

(Autores)

Esta pantalla permite configurar los diferentes módulos (análogos, digitales, comunicación, etc.) que se necesiten. En nuestro caso se necesitan módulos de entradas y salidas digitales como se muestra en la Tabla 5 de este documento.

En el tipo de módulo se selecciona Digital, y en la parte inferior se selecciona el catálogo o modelo del módulo a configurar. A continuación se debe seleccionar el modelo de entrada digital.

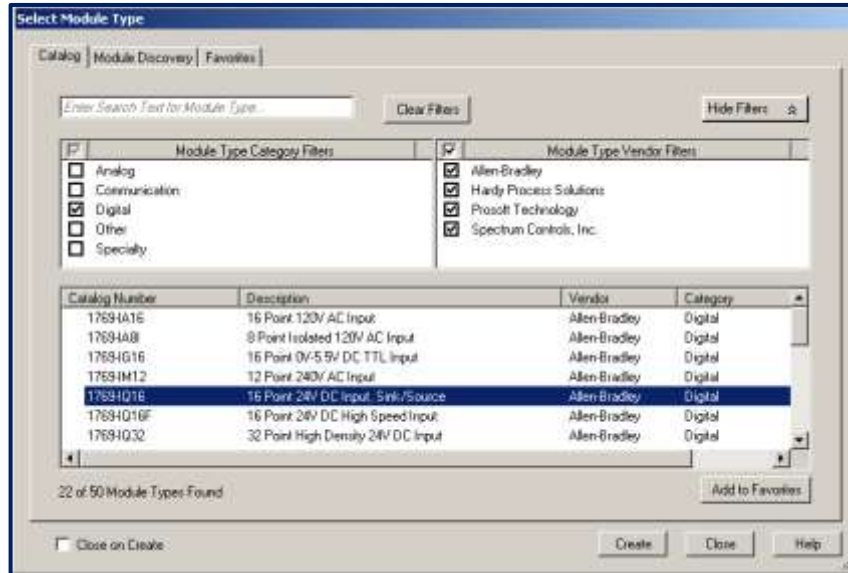


Figura 25. Selección de modelo del módulo que se va a añadir en plataforma RSLogix 5000.

(Autores)

Al pulsar sobre el botón CREAR, se desplegará la siguiente pantalla.

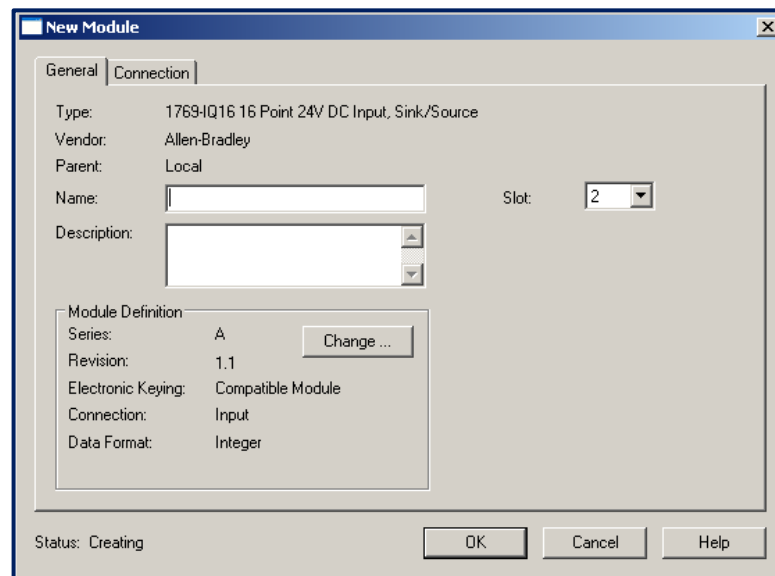


Figura 26. Configurar el módulo que se va a añadir en plataforma RSLogix 5000.

(Autores)

Aquí, se podrá asignar un nombre al módulo y el slot o ubicación que va a tener, cabe recalcar que el orden que se asigne en el programa deberá respetarse al momento de implementar.

Una vez configurado se da OK, y en el árbol del programa se podrá visualizar que el módulo ha sido agregado satisfactoriamente.

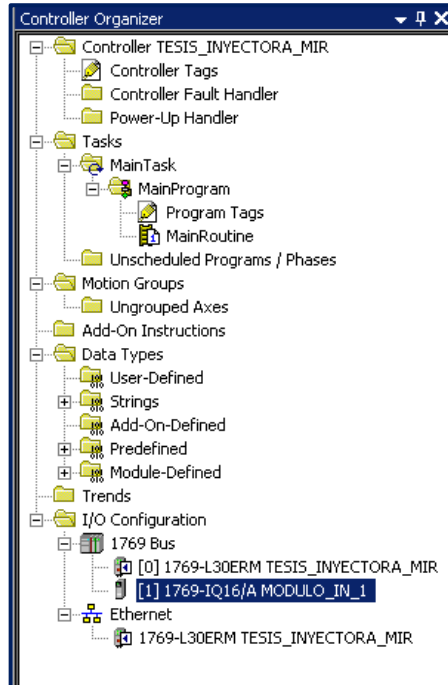


Figura 27. Módulo agregado exitosamente en el árbol del proyecto en plataforma RSLogix 5000.

(Autores)

Esta configuración se debe realizar con cada uno de los módulos restantes.

Asignación de tags

En base al listado E/S (anexo listado E/S), se hace la declaración de cada entrada y cada salida física del sistema. Esto se lo realiza para poder facilitar el uso de cada variable al momento de programar.

En el árbol del proyecto se selecciona la opción **Controller Tags**, al dar clic se mostrará la siguiente pantalla.

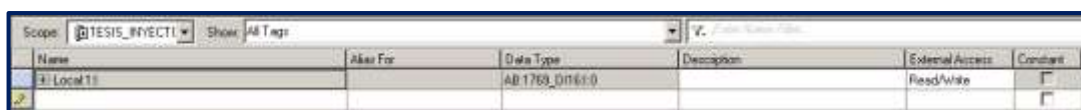


Figura 28. Configurar Tags en plataforma RSLogix 5000.

(Autores)

Se podrá asignar un nombre, Alias (dirección), tipo de dato y una descripción en cada Tag que se desee configurar.

Creación de rutinas

Nuestro software estará dividido en rutinas que serán ejecutadas desde el **MainRoutine**. Para agregar una nueva rutina hay que ubicarse en la opción **Tasks** del árbol del proyecto. Haciendo clic derecho en la opción **MainProgram** se debe seleccionar la opción **New Routine**, una vez realizados estos pasos se mostrará la siguiente pantalla.

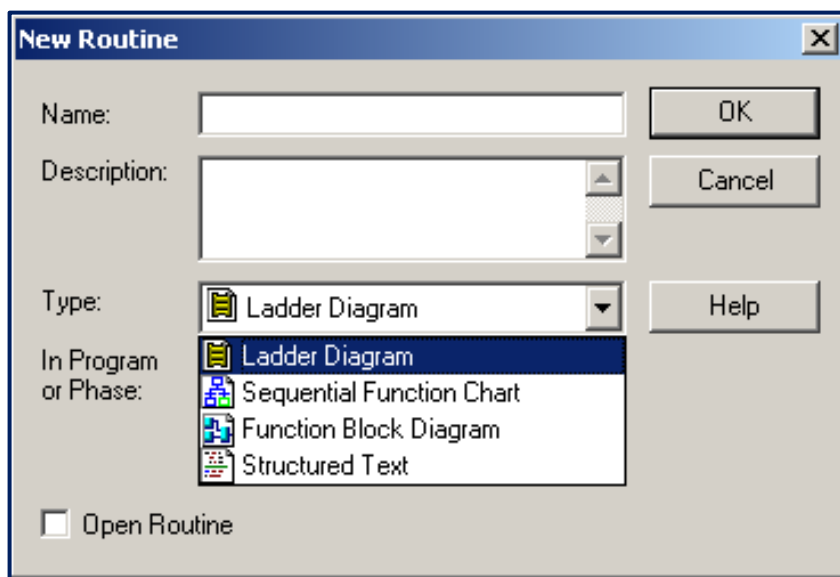


Figura 29. Configurar nuevas rutinas de programa en plataforma RSLogix 5000.

(Autores)

Se asigna un nombre a la rutina y se selecciona el tipo de lenguaje en el que se va a programar. Una vez realizadas estas configuraciones se da OK. Esto se realiza con cada una de las rutinas que se deseen agregar.

En este proyecto se utilizarán 9 rutinas, el lenguaje de programación es Ladder.

Rutina principal (Main Routine)

En la rutina principal se ejecutarán cada una de las rutinas existentes en el proyecto. Para poder ejecutarlas se utiliza la instrucción **Jump to Subroutine (JSR)**.

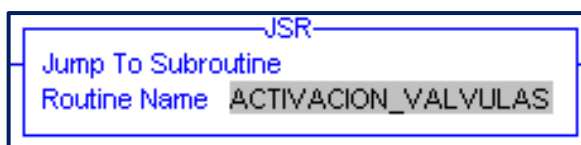


Figura 30. Instrucción para ejecutar rutinas en plataforma RSLogix 5000.

(Autores)

Es necesario que todas las rutinas sean ejecutadas desde la rutina principal, caso contrario no realizarán ninguna función.

El software del proceso de la inyectora MIR se lo puede revisar en el Anexo 5.

3.5 Diseño de interfaz de usuario

El diseño de la interfaz de usuario se lo realizó en la plataforma FactoryTalk View Machine Edition.



Figura 31. Inicio de plataforma FactoryTalk View ME.

(Autores)

Al abrir la plataforma aparece la siguiente ventana, en donde se permitirá crear un nuevo proyecto.

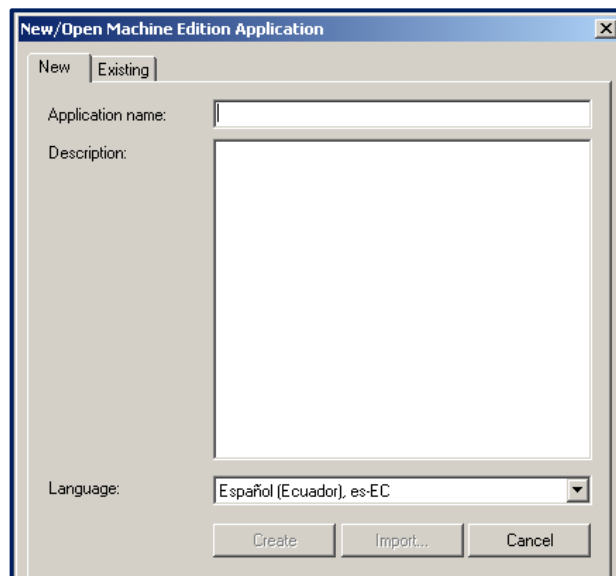


Figura 32. Crear nuevo proyecto en plataforma FactoryTalk View ME.

(Autores)

Una vez creado el proyecto aparece el área de trabajo, en donde se puede apreciar el árbol del proyecto.

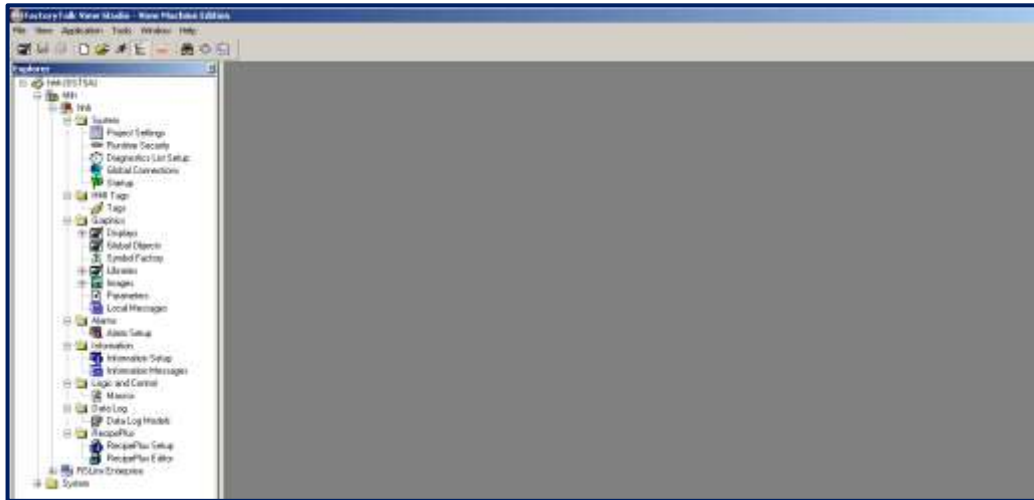


Figura 33. Árbol del proyecto en plataforma FactoryTalk View ME.

(Autores)

Para seleccionar que modelo de panel se va a utilizar hay que dar doble clic en la opción **Project Settings** del árbol del proyecto. Aparecerá la siguiente pantalla.

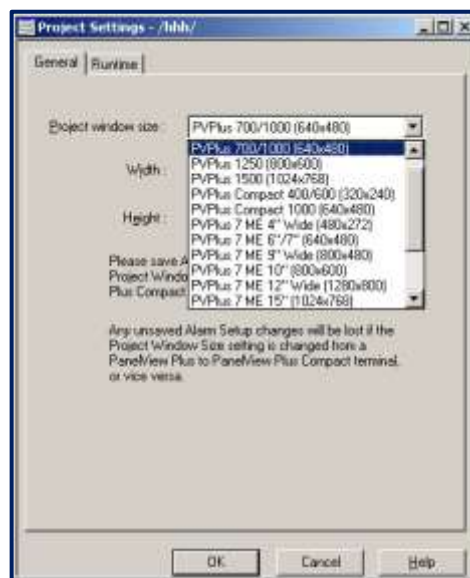


Figura 34. Selección de HMI en plataforma FactoryTalk View ME.

(Autores)

Aparecerán los diferentes modelos de PanelView, para nuestro proyecto vamos a trabajar con el Panel View Plus700, damos OK y ya se encuentra configurado el panel.

En el árbol del proyecto en la opción **Graphics** vamos a encontrar los displays que vienen por defecto en el programa y también se podrá agregar los displays que se necesiten para la aplicación de este proceso.

Comunicación con PLC

Para realizar la comunicación con el PLC, se despliega la opción **RSLink Enterprise** en el árbol del proyecto haciendo doble clic sobre la opción **Communication Setup** la cual mostrará la siguiente pantalla.



Figura 35. Crear una nueva configuración para enlace entre PLC y HMI en plataforma FactoryTalk View ME.

(Autores)

Se selecciona crear una nueva configuración, aparecerá la siguiente pantalla en la cual se deberá configurar el Shortcuts o enlace para que pueda estar comunicado con el PLC.

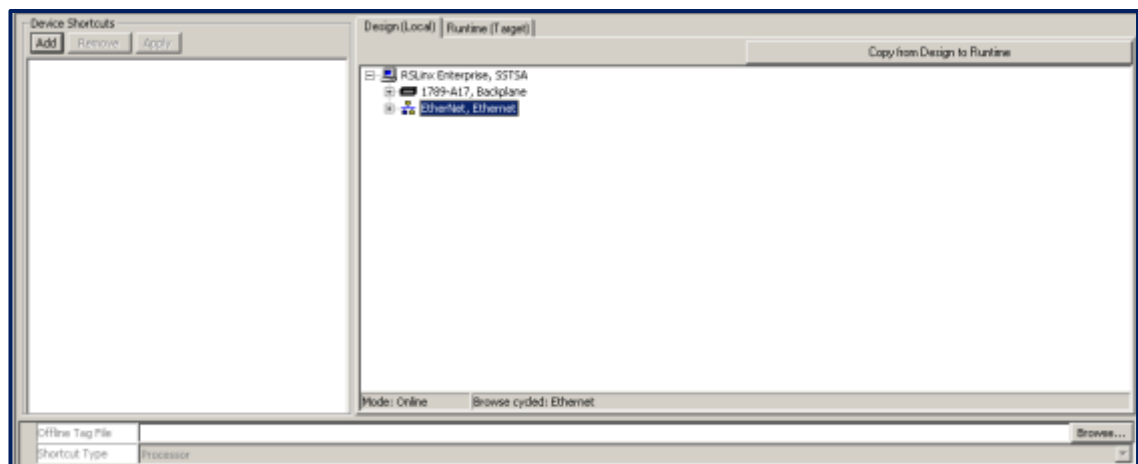


Figura 36. Crear shortcuts en plataforma FactoryTalk View ME.

(Autores)

Se debe recordar que tanto el PLC como el HMI deberán estar dentro de la misma red para que pueda existir comunicación entre ambos.

Una vez que se ha establecido la comunicación ya se pueden direccionar cada una de las variables que se necesiten para realizar el control desde el HMI.

Alarmas

En el árbol del proyecto se despliega la opción **Alarms** y se hace doble clic sobre **Alarm Setup**, mostrará la siguiente pantalla en la cual se podrá añadir las alarmas que se necesiten en el proceso así como direccionarla con la variable que corresponda en el PLC.

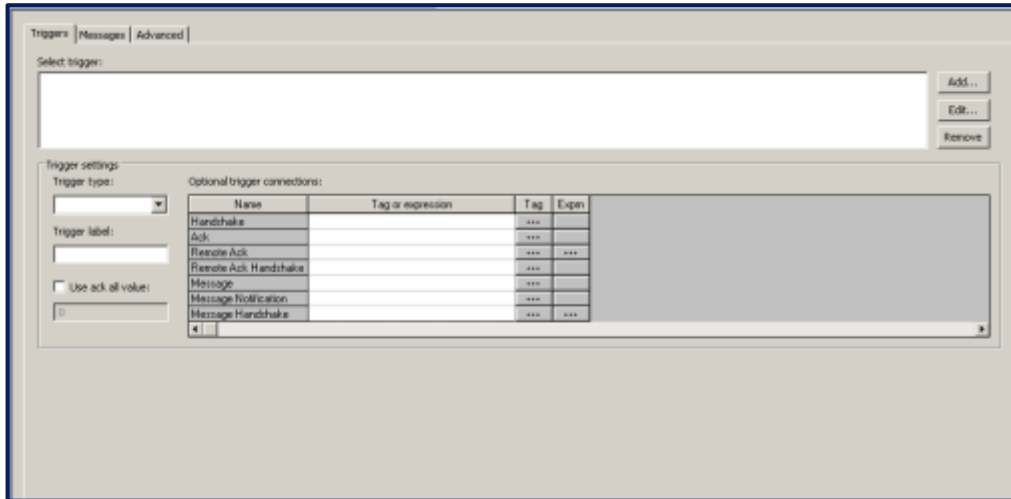


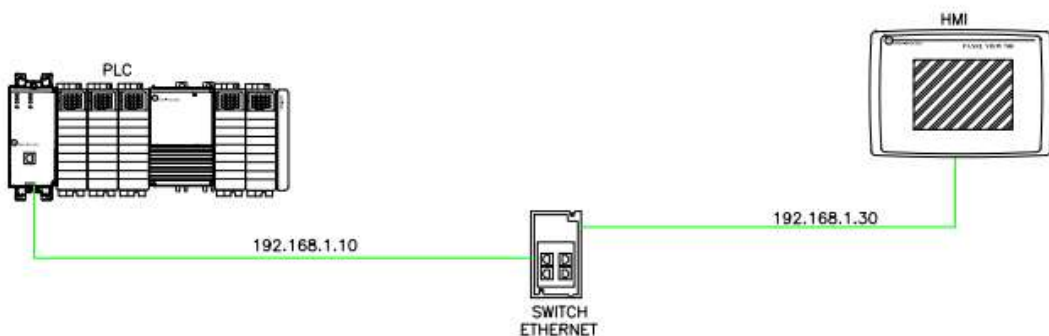
Figura 37. Configurar alarmas en plataforma FactoryTalk View ME.

(Autores)

Si se desea verificar las pantallas realizadas para el control de este proceso se recomienda revisar el Anexo 6.

3.5.1 Arquitectura de red

A continuación se muestra la arquitectura de red del proyecto. El protocolo que se utilizó para enlazar el PLC con el HMI es Ethernet/IP.



3.6 Implementación

Para la automatización de la máquina inyectora MIR se realizó el siguiente procedimiento que va desde desmontar los controles viejos hasta la instalación del nuevo control (PLC), y puesta en marcha de la máquina.

A continuación se detallan los pasos que se siguieron:

3.6.1 Eliminar viejo control

Una vez realizada la identificación del sistema como se detalla en la sección 3.1, se procede a desconectar el cableado del tablero de control viejo y remover los elementos.



Figura 38. Tablero de control viejo y sus elementos de control (izq). Tablero de control viejo con elementos de control desconectados y retirados (der).

(Autores)

Una vez desconectado en el tablero de control viejo y en campo se procedió a remover todo el cableado viejo.



Figura 39. Retiro del cableado viejo.

(Autores)

Cuando todo el cableado fue retirado se procedió a realizar un mantenimiento general de la máquina inyectora para poder trabajar en un ambiente limpio y ordenado. Se procedió con el retiro del tablero de control antiguo para colocar el nuevo tablero.



Figura 40. Tablero de control viejo (izq.). Tablero de control nuevo (der).

(Autores)

3.6.2 Instalar el nuevo control

Luego de la instalación del tablero se procedió a colocar las cajas de paso, posteriormente se pasó el nuevo cableado hasta cada uno de los sensores y actuadores del sistema.



Figura 41. Cableado nuevo de la máquina inyectora MIR.

(Autores)

Con el cable en sitio se conectó cada uno de los solenoides para el nuevo control, identificando cada uno de los elementos así como el cable en cada extremo evitando confusiones al momento de conectar en el tablero de control.



Figura 42. Conexión de elementos en campo.

(Autores)

Se conectó en campo cada uno de los elementos. Luego se procedió a armar el nuevo tablero de control, colocando cada elemento en el plafón según la distribución interna de mismo que se puede observar en el anexo 4.



Figura 43. Ubicación de elementos de control y fuerza en el nuevo tablero de control.

(Autores)

Previamente se habían elaborado los planos eléctricos de fuerza y control que se encuentran detallados en el anexo 3. En base a estos planos se realizaron las conexiones tanto en campo como en el tablero de control. Una vez terminada las conexiones se ubicó el plafón en el tablero.



Figura 44. Conexión de elementos en el nuevo tablero de control.

(Autores)

3.6.3 Probar el nuevo control

Realizadas todas las conexiones se empezó a realizar las pruebas del nuevo control. Lo primero que se verificó fue el encendido y apagado del motor principal que cuenta con un control independiente del PLC, un arranque estrella – delta.

Luego se realizaron las pruebas en modo manual de cada una de las etapas. Se prosiguió con las pruebas en modo semi automático y finalmente se realizaron las pruebas en modo automático. Todas las pruebas fueron realizadas bajo supervisión del personal técnico y operativo de la planta.

4. RESULTADOS

A continuación se detallan cada uno de los objetivos planteados a inicio:

4.1 P&D del proceso

Se elaboró el P&D de acuerdo a cada uno de los elementos del proceso. El mismo se lo puede apreciar en el Anexo 1.

4.2 Planos eléctricos

Se realizó el diseño de los planos eléctricos de fuerza y control de acuerdo al listado de entradas y salidas de proceso. Posteriormente se implementaron los planos y se realizaron pruebas de continuidad.

Estos planos se los puede apreciar en el Anexo 3.

4.3 Distribución interna del tablero

Previamente se realizó el diseño interno del tablero de fuerza y control, para ubicar cada uno de los elementos y tener una perspectiva de como quedarían ubicados finalmente. Revisar Anexo 4.

4.4 Aplicación PLC

En el Anexo 5 se encuentra la programación que se elaboró para el proceso de la inyectora MIR, la misma que se encuentra dividida en rutinas que son ejecutadas desde el Main Principal.

4.5 Pruebas con producto

Una vez que se ha concluido con la implementación y pruebas del sistema de control de la inyectora MIR se muestran los diferentes tipos de anclajes elaborados por la máquina.

Pruebas con diferentes moldes

Para la elaboración de los Taco Fisher se realizaron pruebas con los moldes detallados a continuación:



Figura 45. Taco Fisher modelo F-10 (izq). Taco Fisher modelo F-8 (der).
Producto elaborado con Polipropileno.

(Autores)

Para la elaboración de Grapas se realizaron pruebas con los moldes detallados a continuación:



Figura 46. Grapa modelo 7-10 (izq). Grapa modelo 7-6 (der).
Producto elaborado con Polietileno.

(Autores)

También se hicieron pruebas con los moldes para la elaboración de los mangos de brochas.



Figura 47. Mango para brocha de 1/2" (izq). Mango para brocha de 1" (der).
Producto elaborado con Polipropileno.

(Autores)



Figura 48. Mango para brocha de 2" (izq). Mango para brocha de 5" (der).
Producto elaborado con Polipropileno.

(Autores)

4.6 Producción

Con el nuevo sistema de control de la inyectora MIR, se puede tener un control más efectivo de las piezas diarias que produce la máquina.

Con la implementación del nuevo sensor detector de piezas se puede obtener un valor diario de las cantidades de piezas producidas exitosamente. Así mismo se obtiene un valor diario de las inyecciones que ejecuta la máquina. Con el sistema de control antiguo solo se obtenía un valor de las inyecciones diarias pero estas piezas no eran la producción real dado que en el transcurso del día muchas piezas no eran expulsadas por ende no se tenía un valor exacto de producción.

Para poder visualizar la producción diaria se diseñó una ventana en la interfaz de usuario (HMI), en esta ventana se contabilizaran los datos ya mencionados y del mismo modo se podrán encerrar los valores para iniciar una nueva contabilización. Para más información revisar Anexo 6.

Datos de producción

A continuación se muestra una tabla comparativa con los datos de producción antes y después de la automatización de la máquina. Se comparan los datos de inyecciones diarias realizadas por la inyectora.

MOLDE	<u>ANTES</u> INYECCIONES DIARIAS	<u>DESPUÉS</u> INYECCIONES DIARIAS
F10 (30 unidades)	850	1200
F10 (20 unidades)	900	1300
GRAPAS 7-10	1100	1350
MANGO AZUL	750	1000

Tabla 6. Tabla de producción.

(Autores)

4.7 Revisión de fallas

En caso de ocurrir una falla en el sistema el proceso se detendrá. Se podrá visualizar en la interfaz de usuario en donde se indicará dónde está localizado el problema.

El sistema de control cuenta además con una alarma sonora y una luz indicadora (baliza), al presentarse una falla esta alarma se activará la cual se mantendrá activa hasta que el operador solucione el error presentado.

Esta información es de gran utilidad para el operador dado que al saber el origen del problema y con la ayuda de los planos eléctricos podrá resolver de manera rápida y eficaz la falla, disminuyendo así el tiempo de parada de la máquina y aumentando directamente la producción.

Mientras la máquina se encuentra trabajando existe la posibilidad de detener el proceso siempre y cuando el operador lo crea conveniente, para esto se han ubicado estratégicamente 3 paros de emergencia los cuales al presionarlos detendrá todo el proceso hasta que el operador habilite nuevamente la máquina.

4.8 Manual de usuario

Se elaboró un manual de usuario que sirva de guía para el operador al momento de trabajar en la inyectora MIR.

Este manual se entregó de manera física y digital a la empresa, así como también toda la información correspondiente al desarrollo de la automatización de la máquina.

Con la información entregada se realizó una capacitación al personal técnico de la empresa para que puedan operar la máquina sin ningún inconveniente. Revisar Anexo 6.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El proyecto de titulación pudo realizarse con éxito, empleando los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera. Ha sido de vital importancia elaborar con anticipación los planos eléctricos así como realizar el diseño interno del tablero, al momento de implementar esto nos ahorró tiempo y se disminuyeron los errores.

Las mejoras a la máquina se evidencian en muchos aspectos, ahora se cuenta con un tablero de control donde sus elementos y cables están debidamente etiquetados esto facilita la revisión en cualquier momento que se lo necesite, estas etiquetas son las mismas a las que se hace referencia en los planos eléctricos por ende el técnico tiene como guiarse y puede resolver cualquier falla en menor tiempo.

Se disminuyó notablemente los tiempos de ciclo, esto se ve reflejado directamente en las inyecciones diarias de la máquina MIR. Cabe recalcar que además se mejoró los datos de producción diaria gracias a la implementación del sensor detector de piezas.

Para el desarrollo de la programación del proceso de la inyectora MIR se escogió trabajar con lenguaje Ladder, este programa cuenta con los respectivos comentarios y cada variable del proceso está identificado, esto facilitará cualquier modificación que se necesite realizar en un futuro.

Con la implementación del HMI el personal de la empresa puede tener acceso a los datos de producción de la máquina, a histórico de alarmas y puede visualizar en tiempo real lo que está ocurriendo en el proceso.

Trabajar en conjunto con el personal encargado de la máquina fue de vital ayuda, ya que por su experiencia están más familiarizados con el proceso, al final se pudo obtener los resultados deseados.

Recomendaciones

Revisar que las puertas estén cerradas al momento de iniciar el proceso ya que los finales de carrera que se activan al cerrar las puertas, ya que estas son condiciones iniciales para la marcha del proceso.

Realizar mantenimiento preventivo en la parte eléctrica, electrónica y mecánica cada 2 meses para evitar acumulaciones de polvo o desgastes en la máquina.

Antes de dar marcha al proceso es importante haber dado marcha a la bomba principal, en caso de no hacerlo el proceso no funcionará.

Se recomienda revisar el manual de usuario en caso de alguna duda en el proceso de inyección de la máquina y considerar que se deben ingresar los tiempos adecuados para cada molde desde el HMI.

Referencias bibliográficas

- Allen Bradley. (2011). *rockwell automation*. Obtenido de <http://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/CompactLogix-5370-Controllers>
- Allen Bradley. (2012). *Sistema CompactLogix*. Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/1769-sg001_-es-p.pdf
- Bausa, J. o. (2003). *Sensores de temperatura*. Obtenido de http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf
- Burbano Sotomayor , J. E., & Con Sanchez, J. E. (2013). *Automatización y puesta en marcha de máquina inyectora Reed 100 en Plásticos Ecuatorianos S.A.* Obtenido de <http://dSPACE.upe.edu.ec/bitstream/123456789/4662/1/UPS-GT000418.pdf>
- Castillo, J. (2007). *Inyección de termoplásticos*. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-inyección-termoplásticos/molde-partes-básicas>
- Castillo, J. (2007). *Inyección de termoplásticos*. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-inyección-termoplásticos/partes-máquina-sistema-hidráulico>
- Criollo Guatapi, E. J. (2010). *Desarrollo e implementación de un sistema automático para una máquina inyectora de PVC de la empresa Plasticaucho Industrial S.A - Ambato*. Obtenido de <http://dSPACE.espe.edu.ec/bitstream/123456789/1139/1/25T00142.pdf>
- Díaz, E. M., & Saldaña Hernández, P. C. (2011). *Propuesta del sistema de control para una máquina de inyección de plástico*. Obtenido de <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dSPACE/bitstream/123456789/10023/1/109.pdf>
- Díaz, F. (2012). Conformado de materiales plásticos. Cuautitlán Izcalli.
- Electro Industria. (2013). *Electro Industria*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2020#>
- F. Ebel, S. I. (2008). *Fundamentos de la técnica de automatización*. Obtenido de https://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/nwt/fb/atechnik/grundlagen/es/kapitel/563062_Fundamentos_de_la_técnica_de_automatización.pdf
- Juan, C. (2007). *mailxmail.com*. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-inyección-termoplásticos/partes-máquina-sistema-hidráulico>
- Klinner, I. (2012). Obtenido de <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s12/project/reports/KlinnerSalazarSalazar.pdf>

- Lépez, F. (2004). *Fundamento de Polímeros*. Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16700/1/polimeros.pdf>
- Mariano. (2011). *Tecnología de los Plásticos*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyección-de-materiales-plásticos-i.html>
- Piedrafita Moreno, R. (2004). *Ingeniería de la Automatización Industrial 2da Edición*. RA-MA S.A.
- Prieto, P. (2007). *Observatorio Tecnológico*. Obtenido de <http://recursostic.educación.es/observatorio/web/gl/component/content/article/502-monográfico-lenguajes-de-programación?start=2>
- Rojas, D. (2009). Obtenido de <https://davidrojasticsplc.wordpress.com/2009/01/14/ventajas-y-desventajas/>
- Rueda, C. (2011). *Hidráulica Práctica*. Obtenido de <http://www.hidraulicapractica.com/es/invitado/máquina-inyectora-de-plástico-hidráulica-2>
- Salazar, R. (2012). Obtenido de <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s12/project/reports/KlennerSalazarSalazar.pdf>
- Sanz, D. (2008). *Moldeo por Inyección*. Obtenido de http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/inyección/unidad_cierre.html
- Turmero, P. (2015). *Medición de Temperaturas*. Obtenido de <http://www.monografías.com/trabajos104/medicion-temperatura/medición-temperatura.shtml>