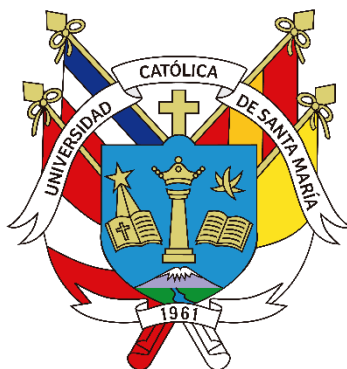


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Segunda Especialidad en Ingeniería Mecatrónica



**Propuesta de automatización de una inyectora de
plástico Battenfeld SY – 1800 III para la empresa
Fagoma S.A.C.**

Tesis presentada por el Ingeniero
Caceres Nuñez, Augusto Emilio Carlos
ORCID: 0000-0002-2207-9237

para optar el Título de Segunda Especialidad en Ingeniería Mecatrónica

Asesor:
Dr. Siles Nates, Fernando David
ORCID: 0000-0002-7732-6012

Arequipa – Perú
2025

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
SEGUNDA ESPECIALIDAD EN INGENIERIA MECATRONICA
SEGUNDA ESPECIALIDAD CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 23 de Octubre del 2024

Dictamen: 012243-C--2024

Visto el borrador del expediente 012243, presentado por:

2003972021 - CACERES NUÑEZ AUGUSTO EMILIO CARLOS

Titulado:

**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA INYECTORA DE PLÁSTICO BATTENFELD SY - 1800
III PARA LA EMPRESA FAGOMA S.A.C.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERIA MECATRÓNICA

**29592341 - MESTAS RAMOS SERGIO ORLANDO
DICTAMINADOR**



**29277716 - CUADROS MACHUCA JUAN CARLOS
DICTAMINADOR**



**42394111 - COLLADO OPORTO CHRISTIAM GUILLERMO
DICTAMINADOR**



Propuesta de automatización de una inyectora de plástico Battenfeld SY – 1800 III para la empresa Fagoma S.A.C.

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%	8%	2%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	7%
2	Collantes Diaz, Ingrid Rocio Leyva Sanchez, Melissa Pilar Mejia Salvatierra, Jean Paul Ruiz Muro, Dadir Rolando. "Planeamiento Estrategico de la Industria Peruana del Plastico", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2021 Publicación	1%
3	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	1%
4	Submitted to Universidad Católica Boliviana "San Pablo" Trabajo del estudiante	<1%
5	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1%
6	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	<1%

DEDICATORIA

A mi esposa

Quien con su amor, comprensión y apoyo incondicional siempre ha sabido acompañar y apuntalar cada uno de los proyectos emprendidos.

A mis hijos

Quienes con su esfuerzo y dedicación que muestran en su desarrollo personal y profesional, resultan ser un fuerte aliciente a tratar de ser cada vez mejor.



AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien me brinda su infinita bondad y protección todos los días.

A mis padres, quienes me brindan su amor y apoyo incondicional.



RESUMEN

La presente tesis busca brindar una propuesta de automatización para una maquina inyectora de plásticos, modelo “BATTENFELD SY – 1800 III” mediante la utilización de un controlador programable, con el que se logrará una correcta supervisión y control de los movimientos y variables de la máquina. La codificación del controlador a ser utilizado considerará el control de los diversos elementos de la máquina inyectora. Entre ellos tenemos el control del avance o retroceso del pistón que controlará el movimiento del molde a presión. Por el lado del inyector, tenemos un motor acoplado a un tornillo sin fin el cual empujará el plástico que se encontrará a su temperatura de fusión gracias a las resistencias eléctricas. Estas resistencias eléctricas tendrán por función elevar la temperatura del cañón de salida hasta el punto de fusión del material, siendo esta una variable importante a controlar y regular lo cual se logrará haciendo uso de un sensor de temperatura cuya data será enviada al controlador seleccionado. De igual forma, se utilizará un sensor de proximidad que nos avisará cuando el operador haya terminado el montaje del molde, luego de lo cual recién se comenzará el proceso de cierre y compresión de este para luego iniciar la inyección del material. Esta secuencia por seguir garantizará la seguridad del operador y la seguridad de la máquina.

Palabras Clave: inyectora, automatización, PLC, microcontrolador.

ABSTRACT

This thesis seeks to provide an automation proposal for a plastic injection machine, model “BATTENFELD SY – 1800 III” through the use of a programmable controller, with which correct supervision and control of the movements and variables of the machine will be achieved. The coding of the controller to be used will consider the control of the various elements of the injection machine. Among them we have the control of the advance or retreat of the piston that will control the movement of the pressure mold. On the injector side, we have a motor coupled to a worm screw which will push the plastic that will be at its melting temperature thanks to the electrical resistances. These electrical resistances will have the function of raising the temperature of the outlet barrel to the melting point of the material, this being an important variable to control and regulate, which will be achieved by using a temperature sensor whose data will be sent to the selected controller. Likewise, a proximity sensor will be used that will notify us when the operator has finished assembling the mold, after which the process of closing and compressing the mold will begin and then begin the injection of the material. This sequence to be followed will ensure the safety of the operator and the safety of the machine.

Keywords: Plastic injection molding machine, automation, PLC, microcontroller.

CONTENIDOS

Dedicatoria

Agradecimientos

Resumen

Abstract

Introducción 1

CAPÍTULO I Generalidades 2

1.1. Descripción del Problema..... 2

1.2. Situación de la Empresa. 5

1.2.1. Ubicación Geográfica y Distribución. 5

1.2.2. Organización y Producción de la Empresa. 7

1.2.3. Organigrama de la Empresa. 7

1.2.4. Visión, Misión y Objetivos de la Empresa. 7

1.2.5. Tamaño de la Empresa. 9

1.2.6. Jornada de Trabajo de la Empresa. 9

1.2.7. Características Físicas de la Producción..... 10

1.2.8. Producción de la Empresa. 13

1.3. Objetivos..... 16

1.3.1. Objetivo General..... 16

1.3.2. Objetivos Específicos. 16

1.4. Justificación..... 17

1.5. Alcances. 17

1.6. Antecedentes..... 17

1.6.1. Antecedentes Internacionales. 17

1.6.2. Antecedentes Nacionales. 18

CAPÍTULO II Marco Teórico..... 19

2.1. Las Etapas de Inyección. 19

2.2. Detalle de la Máquina Inyectora..... 21

2.2.1. Sistema de Inyección..... 21

2.3. Especificaciones del Sistema Automatizado con PLC. 34

2.3.1. PLC (Controlador Lógico Programable). 34

2.3.2. Sensores. 37

2.3.3. Motores..... 41

2.3.4. Actuadores. 43

2.3.5. Relés de Estado Sólido. 46

2.3.6. Pantalla HMI..... 47

2.3.7. Fuente de Alimentación..... 48

2.3.8. Transmisores de Temperatura. 49

2.3.9. Botones de Control. 50

2.3.10. Conectores de Cableado. 51

2.4. Normatividad..... 52

2.4.1. IEC 61131..... 53

2.4.2. ECPI..... 53

2.4.3. HAZOP..... 54

2.5. Uniones Atornilladas. 54

2.5.1.	Tornillos.....	54
2.5.2.	Tuerca.....	55
2.5.3.	Perfiles Estructurales de Acero.....	55
CAPÍTULO III INGENIERÍA DEL PROYECTO		58
3.1.	Automatización de la Máquina Inyectora.....	58
3.1.1.	Selección de PLC.....	58
3.1.2.	Automatización Con PLC S7-1200.	61
3.1.3.	Selección de HMI.	71
3.1.4.	Selección de Sensor de Temperatura.....	74
3.1.5.	Selección de Transmisor de Temperatura.	75
3.1.6.	Selección de Sensor de Presión.	77
3.1.7.	Aplicación de la Norma IEC 61131.	79
3.1.8.	Aplicación de la Norma ECPI.	80
3.1.9.	Aplicación de HAZOP.....	81
3.1.10.	Mejoras Logradas con la Automatización.	83
3.2.	Cálculo de la Estructura Metálica.....	84
3.2.1.	Área de Trabajo.	85
3.2.2.	Diseño de Columnas.....	86
3.2.3.	Cálculo de Vigas.....	92
3.2.4.	Cálculo de los Pernos.	94
3.2.5.	Plancha Para la Base de la Estructura.....	100
3.2.6.	Para las barandas de la escalera.....	100
3.2.7.	Escalera metálica.	101
3.2.8.	Comprobación de la Estructura Mediante Software.....	102
3.3.	Análisis de Costos.	106
3.3.1.	Costos de la Automatización.	106
3.3.2.	Costos de la Estructura Metálica.	106
3.3.3.	Costo Total del Proyecto.	107
Referencias		109
Anexos.....		111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Consumo de plástico per cápita (kg/hab.).....	2
Figura N° 2: PBI Industria 2019	3
Figura N° 3: Capacidad utilizada de la industria plástica, 2012 – 2021	5
Figura N° 4: Ubicación geográfica de la empresa Fagoma S.A.C.....	5
Figura N° 5: Distribución actual de las máquinas en el taller de la empresa Fagoma S.A.C	6
Figura N° 6: Organigrama funcional de la empresa Fagoma S.A.C.....	8
Figura N° 7: Distribución de la producción mensual.....	14
Figura N° 8: Diagrama de flujo del mecanizado.	15
Figura N° 9: Diagrama de flujo de la inyección.	15
Figura N° 10: Nomenclatura de diagramas de flujo.	16
Figura N° 11: Máquina de inyección.....	19
Figura N° 12: Material en la punta de inyección.	20
Figura N° 13: Ciclo de inyección.....	21
Figura N° 14: Unidad de inyección.	22
Figura N° 15: Tolva de alimentación.....	23
Figura N° 16: Husillo reciprocante.....	23
Figura N° 17: Las tres principales zonas del husillo.....	24
Figura N° 18: Válvula check.....	25
Figura N° 19: Corte de válvula check.....	25
Figura N° 20: Punta del husillo.....	26
Figura N° 21: Barril y resistencias eléctrica.	26
Figura N° 22: Nariz de inyectora.....	27
Figura N° 23: Ejemplo de molde de inyección.....	28
Figura N° 24: Proceso de inyección.....	28
Figura N° 25: Vástagos de expulsión.....	29
Figura N° 26: Sistema de cierre.....	30
Figura N° 27: Principales sistemas de cierre.	30
Figura N° 28: Circuito hidráulico.	32
Figura N° 29: Bomba de veletas.	32
Figura N° 30: PLC Siemens S7-1200	35
Figura N° 31: PLC Siemens S7-1500	36
Figura N° 32: PLC Micrologix 1100	37

Figura N° 33: Sensor PT100 SITRANS TS200.....	38
Figura N° 34: Sensor Sensor 2000.40.118.....	39
Figura N° 35: Sensor BTL7 A/B SERIES	40
Figura N° 36: Sensor VEGACAL 62.....	41
Figura N° 37: Motor Trifásico 2P, 3HP IE1	42
Figura N° 38: Servosistema con servomotor S-1FK7.....	43
Figura N° 39: Actuador EPCC-BC-32-150-3P-A	44
Figura N° 40: Actuador Parker Series 2H.....	45
Figura N° 41: Relé Crydom D1D40	46
Figura N° 42: HMI KTP400	47
Figura N° 43: Panel View Plus 7	48
Figura N° 44: Fuente 6EP1962-2BA00	49
Figura N° 45: Sitrans TH100.....	50
Figura N° 46: Pulsador rasante metálico	51
Figura N° 47: Pulsador modular M22 plástico	51
Figura N° 48: Conectores Brad Ultra-Lock.....	52
Figura N° 49: Cables de señal y cables de alimentación	52
Figura N° 50: Tornillo de cabeza hexagonal estándar.....	55
Figura N° 51: Tornillo de cabeza hexagonal estándar.....	55
Figura N° 52: Tipos de perfiles.....	56
Figura N° 53: Software TIA Portal.....	62
Figura N° 54: Secuencia en programación Ladder.....	63
Figura N° 55: Actuadores del Husillo y el Molde.	66
Figura N° 56: Bosquejo de la plataforma.	85
Figura N° 57: Vista superior de la plataforma.....	86
Figura N° 58: Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K.....	88
Figura N° 59: Tubo GALV ASTM A500.....	90
Figura N° 60: Esquema de la vista superior de la plataforma.....	92
Figura N° 61: Vigas H alas anchas WF.	93
Figura N° 62: Unión de cruce de perfiles.	95
Figura N° 63: Unión de cruce de perfiles.	98
Figura N° 64: Isométrico de la unión de cruce de perfiles.	99
Figura N° 65: Planchas estriadas LAC.	100
Figura N° 66: Tubos Schedule (SCH) con costura.	101

Figura N° 67: Rieles para la escalera metálica.	101
Figura N° 68: Diseño en software Autodesk Inventor.	103
Figura N° 69: Perfiles utilizados en la estructura metálica.	103
Figura N° 70: Plancha estriada utilizada en la estructura metálica.	104
Figura N° 71: Resultados del análisis por deformación.	105
Figura N° 72: Resultados del análisis de esfuerzos.	105



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Importaciones Totales de Productos Plásticos por País de Origen	3
Tabla N° 2: Clasificación de las empresas según tamaño.....	9
Tabla N° 3: Personal de la empresa Fagoma S.A.C.	10
Tabla N° 4: Porcentaje de producción mensual según proceso de la empresa Fagoma S.A.C.	14
Tabla N° 5: Selección de tipos de boquilla según material.	27
Tabla N° 6: Temperaturas recomendadas.	33
Tabla N° 7: Principales características del PT100 Sitrans.....	38
Tabla N° 8: Sensor de Presión 2000.40.118	39
Tabla N° 9: Principales características del BTL7-A/B.....	40
Tabla N° 10: Principales características del Vegacal 62	41
Tabla N° 11: Transmisor TH100	50
Tabla N° 12: Ventajas técnicas frente a otras marcas.....	59
Tabla N° 13: Comparativa con marcas específicas.....	60
Tabla N° 14: Comparación entre Siemens S7-1200 y S7-1500.....	61
Tabla N° 15: Designación de variables.....	64
Tabla N° 16: Entradas y Salidas Ladder.	64
Tabla N° 17: Componentes considerados en la automatización.	67
Tabla N° 18: Ventajas técnicas del HMI frente a otras marcas	73
Tabla N° 19: Comparativa con marcas específicas.....	73
Tabla N° 20: Comparación con otros sensores de temperatura	75
Tabla N° 21: Comparación con otros transmisores	76
Tabla N° 22: Comparación con otros sensores de presión	78
Tabla N° 23: Análisis de Riesgos y Operatividad Hazop.	82
Tabla N° 24: Mejoras esperadas después de la automatización	83
Tabla N° 25: Cargas muertas típicas para algunos materiales comunes.....	86
Tabla N° 26: Esfuerzos críticos disponibles para miembros en compresión.....	89
Tabla N° 27: Tubería estructural (Dimensiones y propiedades).....	90
Tabla N° 28: Esfuerzos críticos disponibles para miembros en compresión (Continuación).	91
Tabla N° 29: Datos de diseño para perfiles W.....	94
Tabla N° 30: Especificaciones SAE para materiales de pernos.....	96

Tabla N° 31: Áreas de esfuerzos de roscas estándar americano.	97
Tabla N° 32: Tubería estructural (Dimensiones y propiedades).	102
Tabla N° 33: Costos de componentes para automatización con PLC + HMI.	106
Tabla N° 34: Presupuesto de estructura metálica.	107
Tabla N° 35: Presupuesto de la automatización con PLC.	107



INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la empresa Fagoma S.A.C ha venido experimentado un aumento constante de los pedidos de fabricación de múltiples piezas de plástico utilizadas en el mantenimiento de diversas líneas de producción de diferentes empresas especialmente, del sur peruano.

Con la finalidad de lograr cumplir con los pedidos requeridos, la empresa Fagoma S.A.C realizó un estudio de sus procedimientos de producción determinando que se debe mejorar la eficiencia de sus máquinas inyectoras. Una alternativa de mejora es la automatización de estas lo cual se puede lograr con algunas modificaciones lo que permitirá una mayor velocidad de producción y una reducción de costos de operación.

La presente tesis muestra las alternativas y pasos a llevar a cabo para lograr la automatización de una inyectora Battenfeld SY – 1800 III.

En el primer capítulo se brinda una descripción general de la situación y datos de la máquina, así como de los objetivos planteados para el presente proyecto. En el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico necesario que fundamentará la automatización y selección de los componentes necesarios para el diseño propuesto. En el tercer capítulo se lleva a cabo el diseño del sistema de automatización planteado así como un análisis económico genérico el cual ayudará a determinar los gastos en los que habrá que incurrir con la finalidad de lograr la automatización de la máquina inyectora de plástico deseada.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

En los últimos años, la industria del plástico a nivel mundial ha venido presentado un importante crecimiento debido a la gran aceptación de los materiales. La Figura N° 1, nos permite apreciar el consumo de plástico por persona a nivel mundial. También podemos identificar que el consumo del plástico está estrechamente relacionado con el nivel de desarrollo que se tiene a nivel mundial.

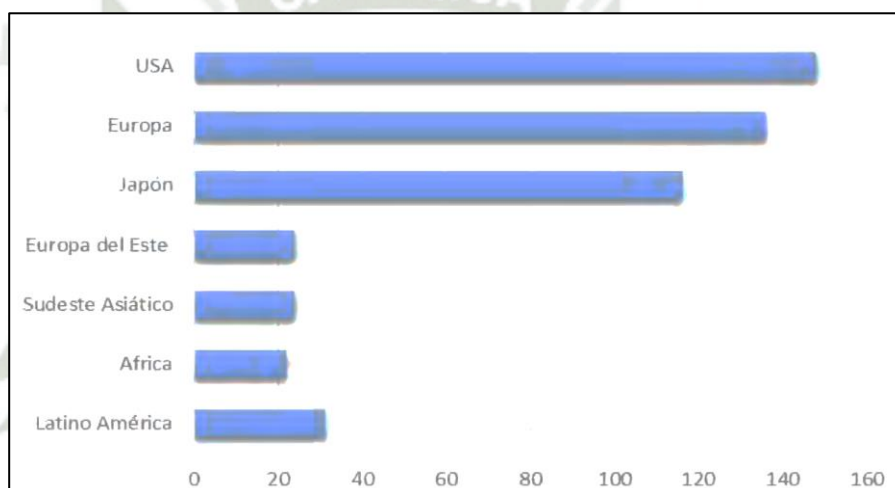


Figura N° 1: Consumo de plástico per cápita (kg/hab.)

Fuente: Mercado plástico peruano: Mucho espacio para crecer,” por PlastPerú Digital News, 2016

De igual forma, el consumo de plástico en el Perú viene incrementándose año tras año logrando que esta industria genere trabajo y desarrollo tecnológico con un aporte aproximado del 3.5% del PBI industrial tal como lo muestra la Figura N° 2.

Este crecimiento que se viene observando se debe al avance tecnológico el cual se refleja en maquinaria más eficiente, así como la creciente conciencias del reciclaje de los materiales plásticos (Cuyubamba Pereda, 2016) al igual que las expectativas de desarrollar la industria petroquímica en el Perú con el apoyo del Gobierno y del Ministerio de Energía y Minas (Saldarriaga, 2015).

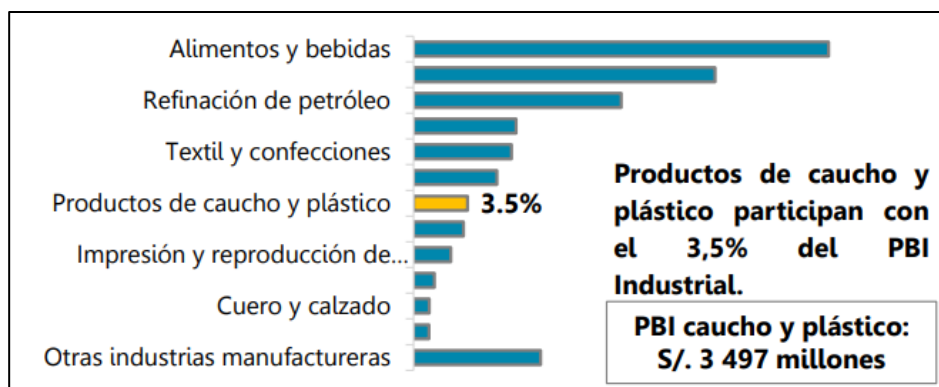


Figura N° 2: PBI Industria 2019

Fuente: Instituto de Estudios Económicos y Sociales (IEES)

La principal función que desempeña la industria del plástico es la transformación la materia prima proveniente de la industria petroquímica en productos finales ofrecidos al mercado (Apiplast, 2016). Los insumos utilizados por la industria peruana provienen de proveedores extranjeros como son mayoritariamente Estados Unidos y China, pero también se encuentran Brasil y Colombia lo que impulsó el desarrollo de la región.

Tabla N° 1: Importaciones Totales de Productos Plásticos por País de Origen

País	Valor CIF (Millones de US\$)				Peso Neto (Toneladas)			
	2013	2014	2015	01/2016	2013	2014	2015	01/2016
Estados Unidos	565	526	473	35	313,268	283,516	290,990	25,325
China	309	352	312	29	127,027	154,005	157,349	15,683
Corea del Sur	212	187	171	9	122,056	101,625	109,008	5,411
Brasil	165	180	161	11	80,828	88,061	94,312	6,646
Colombia	174	140	152	13	74,511	60,260	79,856	8,543
Resto de países	754	838	714	54	345,350	391,560	379,481	32,645
Total	2,179	2,222	1,983	149	1,063,041	1,079,027	1,110,997	94,251

Fuente: Tomado de la “Guía Plástica,” por Sociedad Nacional de Industrias.

La Coordinación de Manufacturas Diversas y Artesanías (2010) manifestó que la industria de plásticos peruana se aboca principalmente a la fabricación de bienes intermedios para lo cual a diseñado sus procesos productivos teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- Moldeo a Alta Presión: El cual se realiza considerando las etapas de compresión, inyección, extrusión, y soplado.

- b) Moldeo a Baja Presión: En los que se considera la absorción del aire, y la aplicación del aire a presión
- c) Otros tales como colada, espumado y calandrado.

Dentro de los productos de mayor reconocimiento, por su acabado y calidad, que tiene la industria del plástico peruana tenemos a los diversos envases flexibles y rígidos, diversas formas PET, bolsas y sacos de polipropileno de distintas formas y tamaños, muebles, ropas y enseres de uso común en el hogar, diversos artículos de oficina, útiles escolares, etc.

La Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (SUNAT) ha reportado que en los últimos años la industria del plástico peruana ha alcanzado una exportación equivalente a los 555 millones de dólares. Según Collantes Diaz et al., se pudo notar que, en el periodo enero-marzo 2021 las exportaciones alcanzaron un monto de 149.4 millones de dólares (2017), mientras que, en el año 2020, estas alcanzaron un total de 1 799 millones de dólares; y en el primer trimestre del 2021, estas llegaron a 589.3 millones de dólares (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2021).

También se ha podido apreciar que en los últimos años 32 de cada 100 empresas de la industria dedicada al plástico han invertido en la compra de diversa maquinaria y equipo. Según la Encuesta Nacional de Empresas del 2019 se determinó que el 31,6% de las empresas dedicadas al rubro del plástico invirtieron en maquinaria y equipo. De dicho porcentaje, el 65,4% se enfocaron en mejoras del rendimiento del equipo productivo, 60,1% en la ampliación de la capacidad productiva, 11,1% renovación de equipos obsoletos por equipos recientes y, un 0,3% en la digitalización del negocio.

Todo esto se refleja en que el porcentaje de utilización de la capacidad instalada de las empresas dedicadas al rubro del plástico entre enero y setiembre 2021 han sobrepasado los niveles históricos debido a su buen desempeño. La Figura N° 3 muestra que el rubro de los productos químicos, cauchos y plásticos presentan una tasa de utilización de la capacidad instalada del 93.7% para el año 2021.

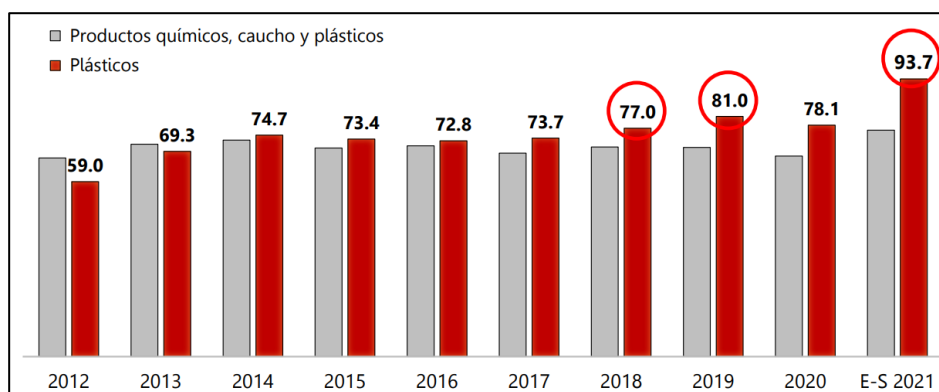


Figura N° 3: Capacidad utilizada de la industria plástica, 2012 – 2021

Fuente: Instituto de Estudios Económicos y Sociales (IEES)

1.2. SITUACIÓN DE LA EMPRESA.

1.2.1. Ubicación Geográfica y Distribución.

La posición geográfica de una empresa resulta ser uno de los puntos principales en el funcionamiento de esta debido a que debe asegurar la disponibilidad de los principales servicios tales como el agua, electricidad, señal y conexión telefónica e internet. La posición geográfica también resulta ser importante para acceso rápido de los proveedores y clientes permitiendo un flujo rápido de vehículos, insumos, mercadería maquinaria, equipo, etc.

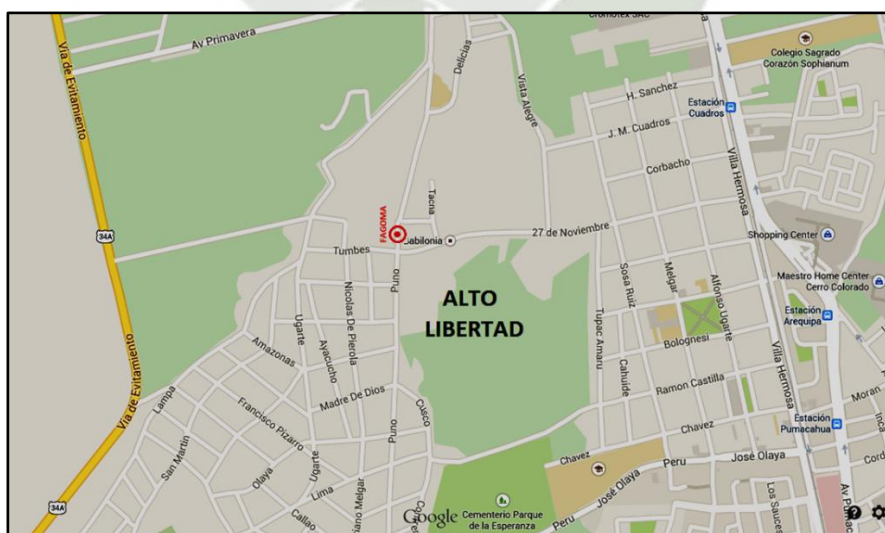


Figura N° 4: Ubicación geográfica de la empresa Fagoma S.A.C.

Fuente: Google maps – Arequipa.

La empresa Fagoma S.A.C. está localizada en Alto Libertad, distrito de Cerro Colorado de la ciudad de Arequipa. Dicha localización es óptima para la empresa debido a que se encuentra adyacente a un polo de desarrollo ubicado en Pachacutec, zona donde se vienen instalando día a día más empresas de diversos rubros generando un alto movimiento económico en la zona.

Así también se puede observar que esta ubicación posiciona a la empresa entre dos vías importantes de acceso a la ciudad las cuales son la variante de Uchumayo y la vía de Evitamiento. La primera permite una conexión rápida a las ciudades de Lima, Ica, Moquegua y Tacna, en tanto que la segunda permite la conexión con ciudades de la sierra como son Cuzco y Puno.

La empresa se ubica en un terreno con desnivel y tiene instalado su taller en el nivel inferior el cual cuenta con un área de 171 m². El área destinada al taller ha sido dividida en tres subáreas, una de ellas dedicada a la manufactura la cual cuenta con 9 máquinas herramientas, la siguiente está destinada a los procesos de inyección contando con dos máquinas de inyección y la última subárea se destina a los procesos de vulcanizado el cual se lleva a cabo con dos prensas hidráulicas.

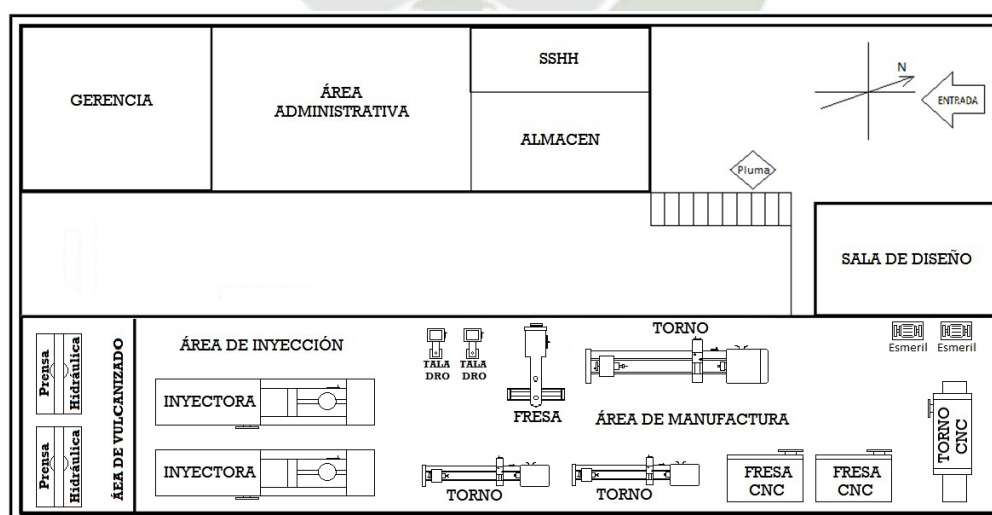


Figura N° 5: Distribución actual de las máquinas en el taller de la empresa Fagoma S.A.C

Fuente: Elaboración propia.

1.2.2. Organización y Producción de la Empresa.

Es importante conocer el trabajo que lleva a cabo la empresa Fagoma S.A.C. en los servicios que presta y la fabricación de los productos que realiza, dando prioridad a los procesos de manufactura.

El correcto desempeño de una empresa va de la mano con la organización de esta misma. De no poseer una adecuada organización se podrán presentar problemas y diversos conflictos de forma innecesaria. Debido a esto, es de suma importancia tener claramente definidas las actividades que deben de llevar a cabo cada uno de los trabajadores de la empresa lo que ayudará a tener un mejor control de los procesos que llevan adelante.

Hay que tener presente que las estructuras muy verticales que contemplan una larga cadena de mando y tramos de control corto no ayudan a fortalecer el trabajo en equipo.

1.2.3. Organigrama de la Empresa.

La estructura organizacional de la empresa se puede representar de forma gráfica haciendo uso de los organigramas. Estos permiten ver rápidamente los niveles jerárquicos, líneas de autoridad y responsabilidad, relaciones de dependencia y de coordinación entre otros. Así mismo, permite a los trabajadores de la empresa ubicarse claramente en cuanto a su posición y la relación que tienen con el resto del personal.

La Figura N° 6 nos ilustra el organigrama que representa la estructura de funcionamiento de la empresa Fagoma S.A.C.

1.2.4. Visión, Misión y Objetivos de la Empresa.

La empresa Fagoma S.A.C. ha establecido su misión y visión que guían su labor con la finalidad de lograr sus objetivos trazados haciendo uso de diversos planes estratégicos elaborados cuidadosamente.

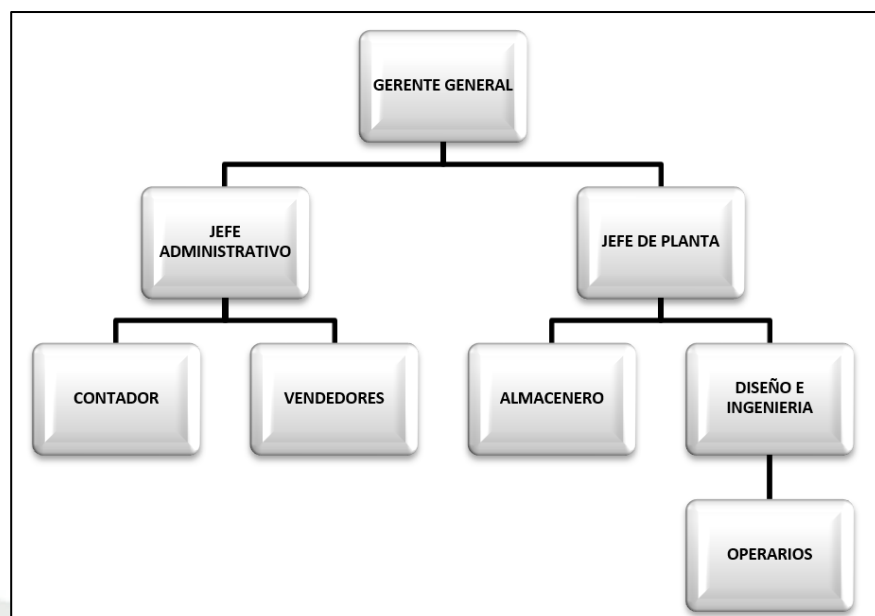


Figura N° 6: Organigrama funcional de la empresa Fagoma S.A.C.

Fuente: Elaboración propia

- VISIÓN:

“Ser una empresa líder en el sector con presencia en el mercado Nacional e Internacional.” (Fagoma, 2023)

- MISIÓN:

“Brindar a nuestros clientes servicios confiables, seguros y de calidad en todas nuestras fabricaciones de diversos materiales; ofreciendo asesoría especializada y desarrollando una gestión comercial enfocada al beneficio mutuo con la participación y el compromiso de todo nuestro personal.” (Fagoma, 2023)

- OBJETIVOS:

- Garantizar el desarrollo sostenible de la empresa simultáneamente con la satisfacción del cliente.
- Suministrar productos de alta calidad, fortaleciendo la imagen existente en el mercado.
- Optimizar la disponibilidad de los recursos para los diferentes procesos.
- Mejorar continuamente nuestro sistema de gestión de calidad.

1.2.5. Tamaño de la Empresa.

El cálculo del tamaño de una empresa se puede realizar teniendo en cuenta el número de empleados y trabajadores, las ganancias por ventas, el capital invertido, el valor de los activos, etc.

Tabla N° 2: Clasificación de las empresas según tamaño.

TAMAÑO	CANTIDAD DE TRABAJADORES	VENTAS ANUALES UIT
Micro Empresa	1 a 10	Hasta 150
Pequeña Empresa	10 a 100	Hasta 1700
Mediana Empresa	100 a 200	Mayores a 1700
Gran Empresa	Más de 200	

Fuente: Elaboración propia.

El estado peruano determina el tamaño de las empresas valiéndose de la Ley de Promoción de la Competitividad, Formalización y Desarrollo de la Micro y Pequeña Empresa del Estado Peruano, el cual se plasma en la Tabla N° 2.

En la actualidad, la empresa cuenta con el personal indicado en la Tabla N° 3. Esta tabla nos indica que la empresa tiene contratados a 15 empleados permanentes cantidad que permite ubicarla como una Pequeña Empresa debido a que se encuentra en el rango de 10 a 100 trabajadores según lo observado en la Tabla N° 2.

1.2.6. Jornada de Trabajo de la Empresa.

Se define como jornada a la cantidad de tiempo que un trabajador se compromete a brindar a su empleador con el fin de realizar una actividad específica.

La jornada de trabajo es distinta entre las diversas empresas y deberá de acomodarse a las necesidades que está presente, sin embargo no se podrá variar las horas trabajo semanal que

la ley dispone en 48 horas que pueden ser divididas en 8 horas diarias de lunes a sábado. Las jornadas de trabajo pueden ser de un turno, de dos turnos y de tres turnos.

Tabla N° 3: Personal de la empresa Fagoma S.A.C.

FUNCIÓN	CANTIDAD
Gerente general	1
Administración	4
Logística	1
Operarios en gomas	2
Operarios de inyección	1
Operarios CNC	2
Operarios tornos mecánicos	2
Ingeniería y diseño	1
Sistemas informáticos	1
Fuente: Elaboración propia.	15
TOTAL	

La jornada de trabajo que tienen los trabajadores de una empresa refleja la disponibilidad de máquinas que se deberá de poseer. Esta disponibilidad permitirá detallar la productividad que se espera por dicha máquina por cada jornada de trabajo.

Para el caso de la empresa Fagoma S.A.C., se ha podido observar que la jornada de trabajo se desarrolla en un solo turno de ocho horas diarias dividido en dos bloques, el primero de 8:00 am a 1:00 pm y el segundo de 2:00 pm a 5:00 pm, de lunes a sábado.

1.2.7. Características Físicas de la Producción.

La empresa Fagoma S.A.C. presenta una producción variada de piezas de diversos materiales como son metal, plásticos y cauchos de acuerdo a las exigencias de los clientes.

Entre los principales materiales de los que la empresa hace uso para la fabricación de sus diversas piezas tenemos:

- Polietileno

El polietileno (PE) es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas láminas transparentes. Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes pueden obtenerse una gran variedad de productos coloreados. Por la polimerización de etileno pueden obtenerse productos con propiedades físicas muy variadas. Este tipo de polímero se creó para usarlo como aislamiento eléctrico, pero después ha encontrado muchas aplicaciones en otros campos, especialmente para envases (Textos Científicos, 2005).

- Nylon

El nylon es la resina termoplástica más utilizada por su versatilidad. Es conocido por su dureza, resistencia al desgaste y resistencia a la tracción. Estas propiedades físicas, combinadas con su precio la convierten en la opción favorita para múltiples aplicaciones.

El nylon está disponible en más formas y tamaños que cualquier otro plástico para maquinado. Las diferentes formas en que se encuentra el nylon se logran a través de los procesos de vaciado y de extrusión, lo que facilita el procesamiento tanto de perfiles estándar, como de formas pesadas, grandes y piezas especiales (Regal Proveedor Industrial, 2014).

- Nitrilo

Los nitrilos son materia prima para un gran número de compuestos de amplio uso en la industria y a nivel laboratorio. Excelente para elaborar todo tipo de empaques o bridas que contacten aceites, grasas o productos químicos diversos medianamente corrosivos. Se utiliza en la producción de colorantes. Sirve para la producción de guantes de látex, para la industria química y farmacéutica. Se utiliza para la producción de esmaltes y pinturas. Productos de limpieza para uso industrial (Regal Proveedor Industrial, 2014).

- Caucho

El caucho es un polímero elástico, que surge como una emulsión lechosa (conocida como látex) en la savia de varias plantas, pero que también puede ser producido sintéticamente. Fue Charles Goodyear, en 1839, el que produjo por accidente este material, mediante un proceso que se conoce actualmente como la vulcanización.

Es posible formar componentes del caucho por medio de la extrusión o también por moldeo de inyección, similar al proceso de elaboración de plásticos termoplásticos. Para este proceso, se calientan los moldes, y con una alta presión y temperatura, el azufre que se añade reacciona con los polímeros entrelazándolos, para que los elastómeros se conviertan en caucho. Los enlaces de azufre son tan fuertes que no existe manera de revertir este proceso, y por lo mismo, todos los desechos de la producción de productos de caucho no pueden ser reciclados para un moldeo repetido (Regal Proveedor Industrial, 2014).

- Acetal

El acetal (POM Polioximetileno ó Resina Acetálica) es un producto plástico para la industria mecánica en general. Es un termoplástico con mucha dureza, alta resistencia mecánica, tenacidad y buenas propiedades antifricción que hacen que se adecuado para muchos procesos industriales (Regal Proveedor Industrial, 2014).

- Acero A36

El acero A36 es una aleación de hierro al carbono de propósito general muy comúnmente usado en diversas fabricaciones. Lo podemos encontrar comercialmente en planchas, perfiles estructurales, tubos, barras, láminas, platinas y ángulos (Universidad Tecnológica de Pereira, 2013).

- Inox

Los aceros inoxidables tienen una resistencia a la corrosión natural que se forma automáticamente, es decir no se adiciona. Tienen una gran resistencia mecánica, de al menos dos veces la del acero al carbono, son resistentes a temperaturas elevadas y a temperaturas criogénicas. Son fáciles de transformar en gran variedad de productos y tiene una apariencia estética, que puede variarse sometiendo el acero a diferentes tratamientos superficiales (Universidad Tecnológica de Pereira, 2013).

- Bronce

Bronce es toda aleación metálica de cobre y estaño. Es usado en partes mecánicas resistentes al roce y a la corrosión (Universidad Tecnológica de Pereira, 2013).

- Cobre

El cobre (Cu), se caracteriza por ser uno de los mejores conductores de electricidad (el segundo después de la plata). Gracias a su alta conductividad eléctrica, ductilidad y maleabilidad, se ha convertido en el material más utilizado para fabricar cables, componentes eléctricos y electrónicos. Este metal es duradero porque se puede reciclar un número casi ilimitado de veces (Universidad Tecnológica de Pereira, 2013).

- Aluminio

El aluminio (Al) posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil, tales como su baja densidad y su alta resistencia a la corrosión. Es buen conductor de la electricidad y del calor el cual se mecaniza con facilidad y es muy barato. Por todo ello es el metal que más se utiliza después del acero (Universidad Tecnológica de Pereira, 2013).

1.2.8. Producción de la Empresa.

Tal como se advirtió anteriormente, la producción que tiene la empresa Fagoma S.A.C. es muy variada y se realiza por medio de lotes. Las características de las piezas a fabricar y la dimensión se especifican de acuerdo a la orden de trabajo generada por las empresas clientes.

La fabricación de las piezas solicitada por los clientes es realizada haciendo uso de diversas máquinas que posee la empresa tales como los tornos, fresas, taladros, inyectoras y prensas hidráulicas que son máquinas convencionales, así como también las máquinas de control numérico computarizado CNC y otras de menor importancia.

La producción que se lleva a cabo puede detallarse de la siguiente manera:

- Maquinado
- Inyección
- Vulcanizado

El porcentaje de producción que desempeña cada área por mes se puede ver reflejado en la Tabla N° 4.

Tabla N° 4: Porcentaje de producción mensual según proceso de la empresa Fagoma S.A.C.

PROCESO UTILIZADO	PORCENTAJE DE LA PRODUCCIÓN MENSUAL
Maquinado	50
Inyección	35
Vulcanizado	15

Fuente: Elaboración propia.

La Figura N° 7, expresa los resultados de la Tabla N° 4 de forma gráfica.

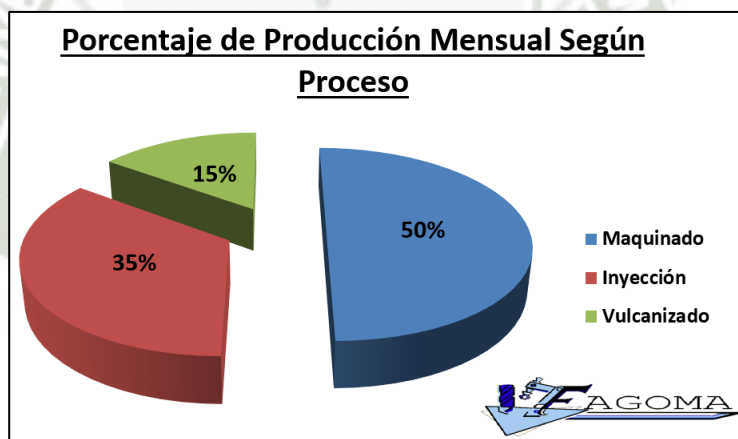


Figura N° 7: Distribución de la producción mensual.

Fuente: Elaboración propia.

Gracias a la Figura N° 7, nos podemos fijar que la mayor producción de la empresa se realiza en el maquinado y la inyección lo que representa un 85% de la producción mensual de la empresa. Los trabajos de maquinado son realizados por 8 máquinas herramientas y los trabajos de inyección se ejecutan haciendo uso de 2 máquinas inyectoras.

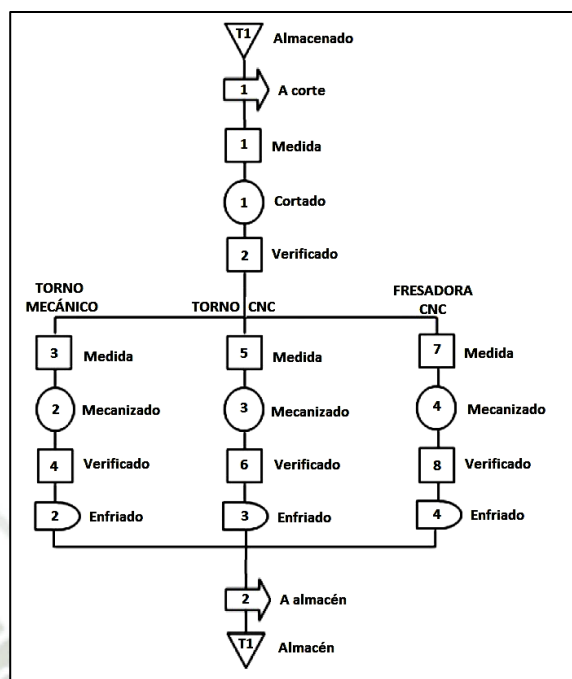


Figura N° 8: Diagrama de flujo del mecanizado.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura N° 8 y la Figura N° 9, muestran los respectivos diagramas de flujo para los trabajos de mecanizado y los trabajos de inyección los que representan el 50% y el 35% respectivamente de toda la producción mensual de la empresa.



Figura N° 9: Diagrama de flujo de la inyección.

Fuente: Elaboración propia.

El significado de la nomenclatura usada se puede apreciar en la Figura N° 10.

Símbolo	Descripción
	Operación
	Inspección
	Transporte
	Almacenaje

Figura N° 10: Nomenclatura de diagramas de flujo.

Fuente: Elaboración propia.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivo General.

Brindar una propuesta de automatización de una inyectora de plástico Battenfeld SY – 1800 III según requerimientos solicitados.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- 1) Analizar la situación actual de la empresa.
- 2) Conocer las especificaciones técnicas de la inyectora de plásticos Battenfeld SY – 1800 III y definir claramente el proceso de inyección que se realizará con la finalidad de definir la estrategia de control a seguir identificando las variables a controlar en dicho proceso.
- 3) Identificar y seleccionar el controlador adecuado para la propuesta de automatización de la inyectora de plástico Battenfeld SY – 1800 III para luego generar su programa de control junto con su simulación.
- 4) Diseñar la plataforma adecuada para la alimentación continua de la inyectora de plásticos Battenfeld SY – 1800 III.
- 5) Realizar un análisis de costos genérico de los gastos que se generarían en la implementación de la automatización de la inyectora de plásticos Battenfeld SY – 1800 III.

1.4. JUSTIFICACIÓN.

Mucha de la maquinaria que hay en la mayoría de la industria es de segundo uso o cuenta con varios años de antigüedad, pero que con algunas modificaciones es posible aumentar su eficiencia y ahorrar en costos de operación. Esta propuesta de modificación de la maquinaria va dirigida al dueño y gerentes de la empresa Fagoma S.A.C., quienes cuentan con inyectoras mecánicas de una relativa antigüedad las cuales les son difíciles de reemplazar debido al alto costo de estas máquinas en el mercado, no siendo así el costo que conlleva la automatización de estas por lo que se ofrece como una alternativa viable.

1.5. ALCANCES.

La automatización de la inyectora de plástico Battenfeld SY – 1800 III debe contemplar la variación de la temperatura de trabajo dependiendo del tipo de material a utilizar. El proceso debe considerar un ciclo de trabajo completo desde el momento que el operario monta los moldes hasta la apertura final de estos luego de haber ejecutado la inyección del material y haber esperado un tiempo adecuado de enfriamiento.

1.6. ANTECEDENTES.

1.6.1. Antecedentes Internacionales.

Zempoalteca (2000) realizó la automatización de una máquina inyectora Cincinnatti Milacron, de 125 toneladas modelo 1980 para la empresa Laser en México DF

El objetivo principal del trabajo fue lograr la automatización del proceso de inyección por medio de diversos dispositivos electrónicos como son el PLC, temporizadores, controles de temperatura, relevadores, etc. con la finalidad de reducir los tiempos perdidos debido a los mantenimientos y las operaciones realizadas de forma inadecuada.

En dicho trabajo, tras el análisis del procedimiento de inyección y las características de la máquina a automatizar, el autor llega a la conclusión que el uso de PLC es la alternativa más eficiente para el logro del objetivo.

Chacón, Martínez y Torres (2022) realizaron una reconversión tecnológica al proceso de inyección de plásticos realizado con máquinas Cincinnati, Reed Prentice Mir de una planta de grifería colombiana del grupo Colcerámica dedicada a la producción de mueble plástico.

El trabajo realizado buscó mejorar la productividad por medio de una disminución de los tiempos utilizados en la producción, así como mejorar la calidad del producto y lograr bajar los costos del proceso. Para ello hacen uso de un sistema de control de movimientos, la verificación de la temperatura y presión la realizan por medio de un controlador lógico programable. Finalmente, el seguimiento se realiza con la visualización, la cual se logra con un programa de esquema algorítmico logrando unificar la supervisión de la máquina con lo cual se producen señales de alarma y verificación que muestran constantemente el estado del proceso, por medio de interfaces de usuario.

1.6.2. Antecedentes Nacionales.

Díaz Maldonado (2021) se plantea como objetivo la automatización de una máquina inyectora de plásticos reciclados para la empresa Firings E.I.R.L.

Para lograr la automatización deseada genera un sistema de automatización que logra controlar el proceso de fabricación y enfriamiento de las diversas piezas de plástico que la empresa produce. Este trabajo contempla tres fases de ejecución, un sistema de control para la unidad de inyección, un sistema de enfriamiento que controle las temperaturas deseadas y un conjunto de interfaces visuales que buscan reducir los tiempos muertos que se presentan durante la fabricación manual y a su vez prevenir los accidentes eléctricos que pudiesen generarse. Cabe resaltar, que la automatización planteada la efectúa haciendo uso de un PLC el cual permite realizar con eficiencia el control deseado.

De igual modo, Chalco y Díaz (2023) rediseñan y automatizan los módulos de turbina Pelton y Francis del laboratorio de termo fluidos de la Universidad Católica de Santa María con la finalidad de mejorar el funcionamiento de dichos módulos y obtener una data adecuada para cada una de las prácticas realizadas en ellos.

Con tal fin, llegan a la conclusión que el elemento adecuado a utilizar en la automatización de dichos módulos es un PLC S7-1200 y un sistema SCADA que permitirán el monitoreo de la presión y el flujo desarrollados en cada práctica realizada en dichos módulos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. LAS ETAPAS DE INYECCIÓN.

El proceso de inyección está conformado por un ciclo con diferentes etapas las cuales conllevan un determinado tiempo que son llevadas a cabo por una máquina de inyección cuyo ejemplo se muestra en la Figura N° 11.

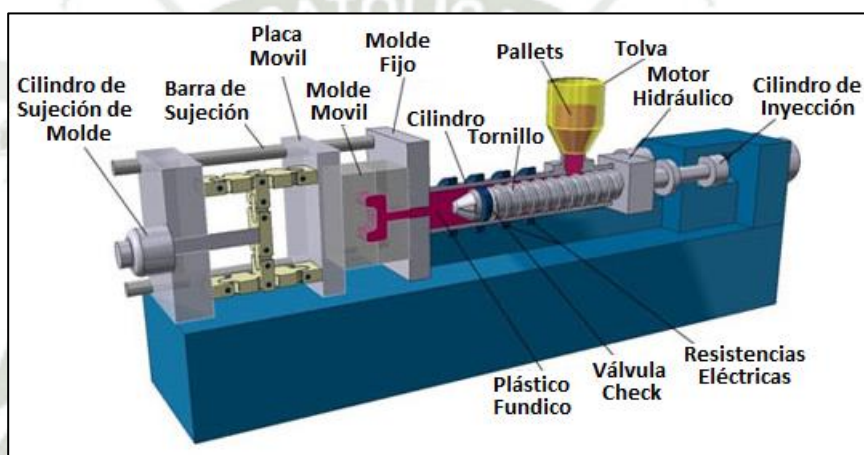


Figura N° 11: Máquina de inyección.

Fuente: BricoGeek.com

El procedimiento da inicio cuando el polímero en forma de pallets es alimentado a la máquina por medio de una tolva de entrada para luego seguir su camino hacia una cavidad de forma cilíndrica llamada cañón de inyección, lugar donde por medio de resistencias eléctricas es calentado hasta que este se funde y se homogeneice. Con el material en estado adecuado, se acciona el husillo el cual logra transportar el material hacia la punta de inyección (Figura N° 12).

El constante aporte de material por el husillo hacia la boquilla de inyección genera un incremento de la presión en la punta la cual se va compensando con el retroceso del husillo hasta la posición de inyección adecuada (Bodini & Cacchi Pesan). Una vez asegurada la cantidad de material necesario para rellenar el molde montado se activa el avance de la

unidad de inyección hasta lograr el contacto con el orificio de entrada del molde, conocido como bebedero, con lo que se logrará el desplazamiento del plástico fundido hacia la cavidad del molde.

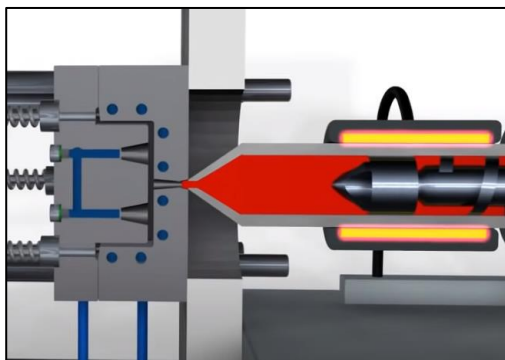


Figura N° 12: Material en la punta de inyección.
Fuente: (Tronicarts - Multimedia-Agentur, 2023).

Con el molde cerrado bajo la presión adecuada suministrada por la unidad de cierre, se inyecta el plástico gracias a la presión generada por el husillo quien actúa como un pistón haciendo fluir el material a través de la boquilla hacia el bebedero para luego rellenar la cavidad del molde.

Luego de completar el llenado de la cavidad del molde, el husillo permanece brindando la presión necesaria que evite el retorno del material inyectado con la finalidad de evitar encogimientos durante el enfriado de la pieza a fabricar. Seguidamente el sistema de enfriamiento debe bajar lo más veloz posible la temperatura de la pieza inyectada en el molde con el fin de lograr su rápida solidificación (Gastrow).

Finalmente, una vez logrado el enfriamiento de la pieza inyectada se genera la apertura del molde y se procede al retiro de la pieza luego de lo cual se puede dar inicio al siguiente ciclo, debiendo ser este lo más veloz posible en beneficio de la productividad del proceso.

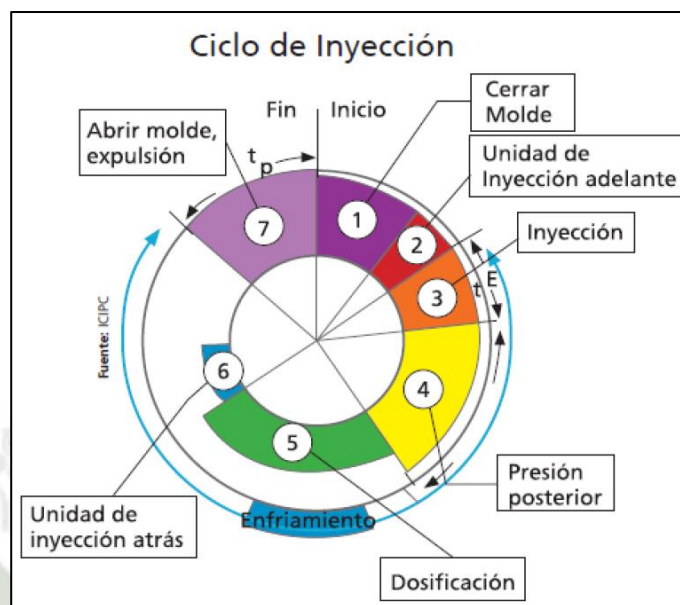


Figura N° 13: Ciclo de inyección.

Fuente: www.metalactual.com/revista/27/procesos_moldes.pdf

2.2. DETALLE DE LA MÁQUINA INYECTORA.

Todas las máquinas de inyección poseen los mismos sistemas de funcionamiento siendo lo único que las diferencia la disposición que presentan cada uno de estos sistemas dependiendo del trabajo especializado que estas realizarán.

2.2.1. Sistema de Inyección.

Este sistema es el encargado de lograr el llenado de las cavidades de los moldes lo cual logra aplicando una presión adecuada al material el cual previamente debe haber sido calentado hasta su punto de plastificación y debidamente mezclado hasta lograr un material uniforme. La mayoría de las máquinas inyectoras, al igual que la Battenfeld SY – 1800 III, hacen uso de un husillo reciprocante motivo por el cual se realizará el detalle de este tipo de sistema el cual entre sus principales partes se representa en la Figura N° 14.

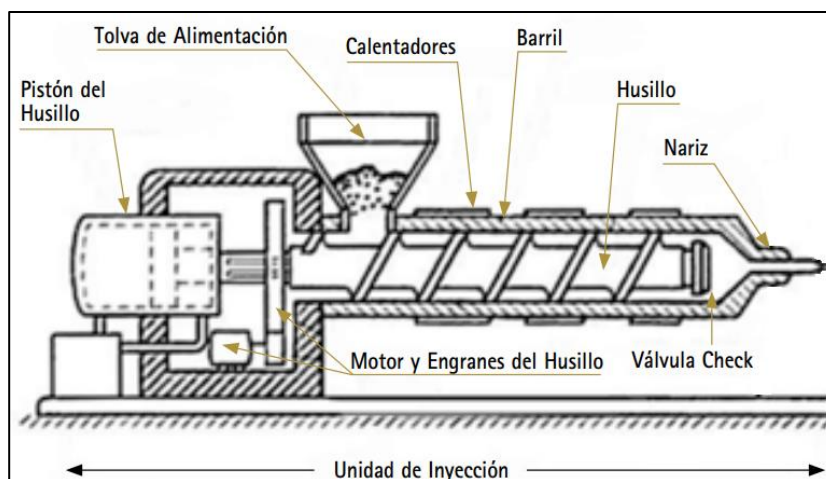


Figura N° 14: Unidad de inyección.

Fuente: (Alayón et al., 2015)

La presión que debe generar el sistema de inyección va a depender de la forma de la pieza y de la fluidez del material con el cual se va a trabajar y viene definida por la siguiente relación:

$$P_L = (K_f) (K_p) (R_f)$$

Donde:

P_L = Presión de llenado (bar)

K_f = Factor de fluidez (bar/mm)

K_p = Factor grueso de pared.

R_f = Recorrido de fluidez (mm)

El valor del factor de fluidez a considerar está en relación al material a utilizar. Para nuestro caso en el cual se va a trabajar con polipropileno el valor que se debe considerar es de 1,6 bar/mm.

2.2.1.1. Tolva de Alimentación.

La tolva de alimentación es el dispositivo que permite almacenar la materia prima la cual será inyectada. En nuestro caso, la materia prima está conformada por el plástico el cual se vierte en la tolva de alimentación donde permanece en la cantidad adecuada para su correcta dosificación de acuerdo lo vaya necesitando el proceso de inyección.

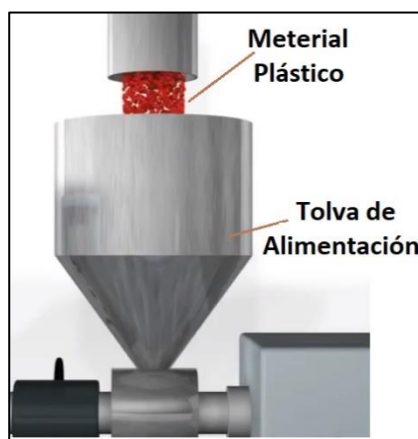


Figura N° 15: Tolva de alimentación.

Fuente; Birt LH

2.2.1.2. Husillo.

El husillo es un tornillo sin fin que presenta una variación de diámetro lo que genera una variación de la profundidad de los filetes a lo largo de este tal como se aprecia en la Figura N° 16. Esta variación de profundidad define la presión que se aplicará al material fundido con la finalidad de asegurar el movimiento de este hacia adelante en dirección del molde.

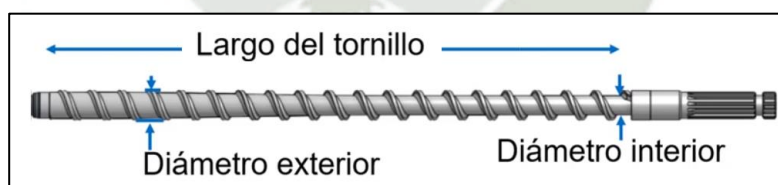


Figura N° 16: Husillo reciprocante.

Fuente: www.youtube.com/watch?v=DlhokT-gi6o

A lo largo del husillo se van realizando diversas etapas del proceso de plastificación y compresión las cuales se distribuyen en tres partes principales del husillo tal como lo muestra la Figura N° 17.

➤ Zona de Alimentación.

La zona de alimentación se encuentra al inicio del husillo la cual se encuentra exactamente debajo de la tolva por donde hace su ingreso el material plástico en forma granulada.

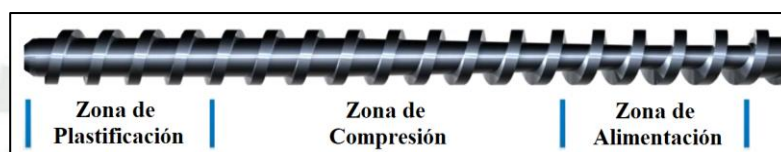


Figura N° 17: Las tres principales zonas del husillo.

Fuente: www.youtube.com/watch?v=b1U9W4iNDiQ.

➤ Zona de Compresión.

La zona de compresión se encuentra en la parte media del husillo lugar donde se lleva a cabo el aumento de temperatura debido a la fricción entre el material y las paredes del tambor por el movimiento del tornillo. Sin embargo, los principales componentes que logran elevar la temperatura del husillo son las resistencias eléctricas las cuales se encuentran ubicadas en el borde exterior del husillo.

➤ Zona de Plastificación.

La zona de plastificación se encuentra en el extremo del husillo que se encuentra en la parte cercana del molde que será inyectado. En esta zona es donde se termina de realizar la plastificación del material quedando listo para ser inyectado al molde respectivo.

2.2.1.3. Válvula Check.

La válvula check se encuentra ubicada en la punta del husillo y el trabajo que cumple es el de permitir el paso del material cuando el husillo hace su recorrido hacia atrás y luego, cuando el husillo entra en el periodo de inyección se desplaza hacia adelante y es cuando

esta válvula impide el regreso del material obligando a este a desplazarse hacia el molde del cual debe llenar la cavidad.

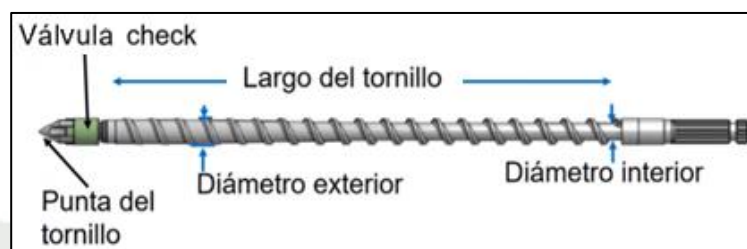


Figura N° 18: Válvula check.

Fuente: www.youtube.com/watch?v=DlhokT-gi6o

Existen varios diseños de válvulas check siendo uno de los más comunes la válvula de anillo como la que muestra la Figura N° 19, a la cual nos abocaremos debido a que es esta la que utiliza la máquina Battenfeld SY – 1800 III.

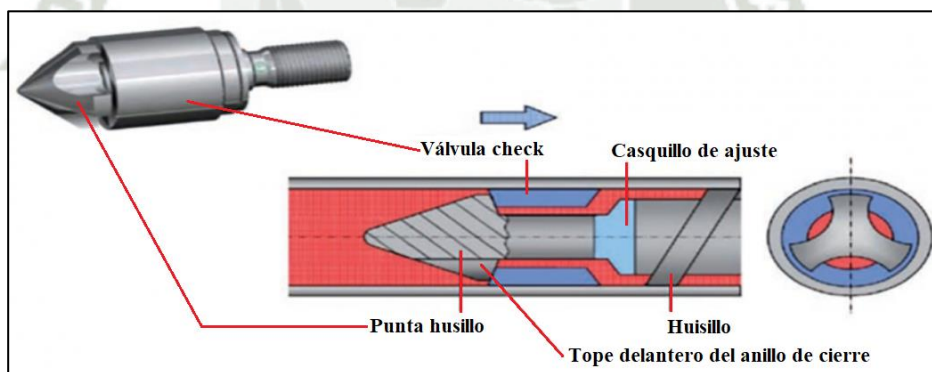


Figura N° 19: Corte de válvula check.

Fuente: (Lerma, 2021)

2.2.1.4. Punta del Husillo.

Este elemento se monta en el husillo mediante una rosca el cual tiene una forma aerodinámica y muy bien pulido con radios pronunciados en su parte delantera. Esta punta presenta un área importante en la cual se apoya la válvula check durante la dosificación fungiendo como tope delantero. Su diseño contempla una cantidad de canales los cuales permiten el flujo del caudal plástico derretido hacia la salida de la válvula.

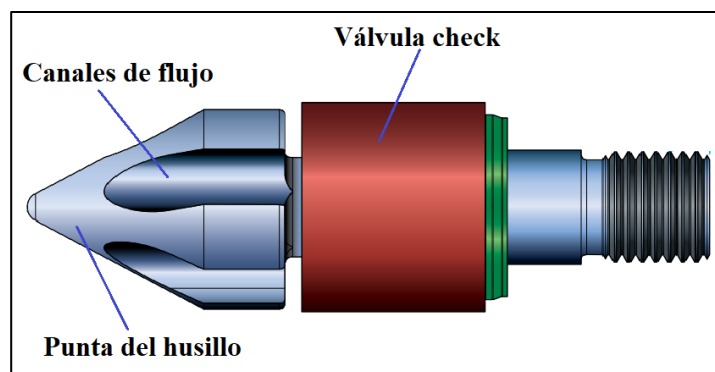


Figura N° 20: Punta del husillo.

Fuente: (Emi Corp., 2023)

2.2.1.5. Barril o Cañón.

El barril es la pieza cuya función es la de elevar la temperatura al material haciendo uso de resistencias eléctricas y en conjunto con el husillo trasladan el material desde la zona de alimentación hacia el punto de inyección del molde (Figura N° 21).

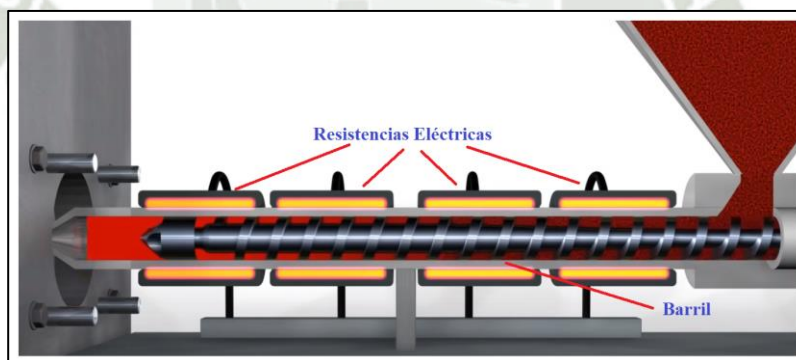


Figura N° 21: Barril y resistencias eléctrica.

Fuente: (Tronicarts - Multimedia-Agentur, 2023).

2.2.1.6. Nariz o Boquilla.

La nariz es el conducto que conecta el cañón con el bebedero del molde a través del cual fluye el material fundido. El diseño que debe presentar la nariz debe contemplar la resistencia a las presiones que se aplicaran al material logrando disminuir el desgaste de este de forma considerable.

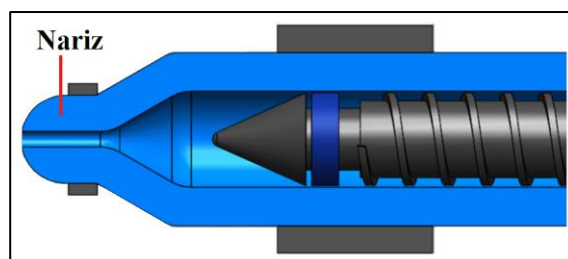


Figura N° 22: Nariz de inyectora.

Fuente: (Todo en polimeros, 2019)

Los autores brindan diversas tablas informativas para la selección de boquillas adecuadas según el material que se esté trabajando, como ejemplo podemos apreciar una de ellas en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5: Selección de tipos de boquilla según material.

Tipo de Boquilla	PLASTICO																
	PS	ABS	CA	CAB	PA	PBT	PC	PE	PMMA	POM	PP	PPO	PVC	SAN	TSC	TF	E
Abierta	.	<	<	<			.	<	<	<	<	<	<	<	X	<	<
Cierre Controlado	<	.	.	.			.	<	.	.	<	.	X	.	X	X	X
Aguja Hidráulica	<	.	.	.		<	<	.		.	.	.	X			X	X
Perno Rotatorio	<	.				<	<	.					X	.	<	X	X
<→ Recomendada .→ Práctica X→ No recomendada TF→ Termofijos E→ Elastómeros																	

Fuente: (IMPI, 1996)

2.2.1.7. Moldes.

En el ámbito de la industria, un molde se define como una herramienta formada por un acoplamiento de placas las cuales muestran en su interior un espacio el cual se usa para dar forma al material inyectado. A este elemento se le considera como herramienta debido a que toma diversas formas las cuales dependerán del tipo de pieza que se desea fabricar.

Generalmente, el molde está formado por dos piezas principales, una fija y una móvil, quienes tienen una cara en común que les permite acoplarse perfectamente en tanto que en la otra cara llevan impresas las cavidades correspondientes para dar forma a la pieza deseada.

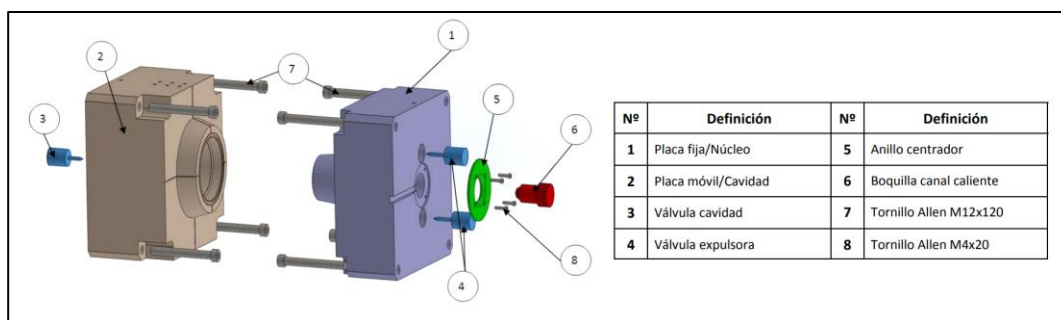


Figura N° 23: Ejemplo de molde de inyección.

Fuente: (Baeza García, 2014)

Dentro de las principales funciones del molde se contempla la recepción de la masa plástica para luego distribuirla y darle forma, paso seguido debe encargarse de enfriarla pasándola a su estado sólido para finalmente permitir la extracción de esta (Baeza García, 2014).

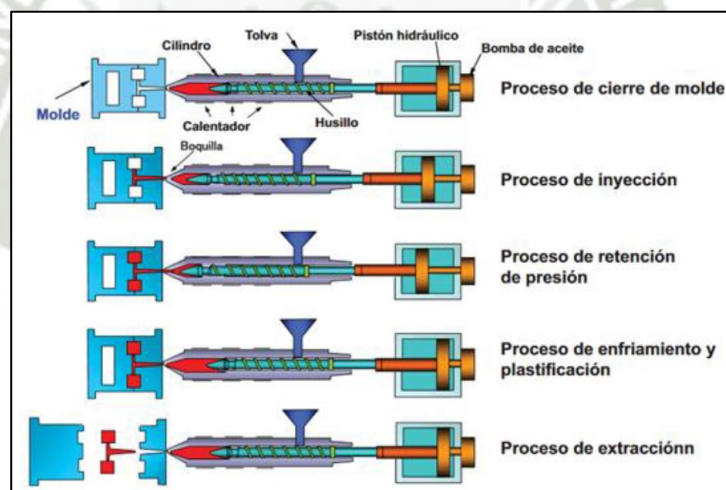


Figura N° 24: Proceso de inyección.

Fuente: (Baeza García, 2014)

Cuando se da inicio al proceso de inyección teniendo al material completamente plastificado, la placa móvil del molde se comienza a desplazar hacia la placa fija hasta que logran ponerse en contacto formando una sola pieza gracias a la unidad de cierre. Paso seguido, se da inicio a la inyección del material el cual es obligado a pasar por la boquilla hacia el bebedero del molde para finalmente pasar a llenar la cavidad del molde.

2.2.1.8. Unidad de Expulsión.

Una vez finalizada la inyección y habiendo alcanzado la temperatura adecuada, la parte móvil del molde inicia su desplazamiento de apertura dejando expuesta la pieza fabricada. Normalmente la pieza no se desprende del molde debido a la adherencia que presenta el plástico con el metal, motivo por el cual se debe de considerar un sistema de expulsión que normalmente se encuentra conformado de vástagos Figura N° 25.

Los vástagos del sistema de expulsión forman parte de la cavidad del molde, los cuales se levantan debido a un sistema mecánico durante la apertura del molde logrando de este modo retirar la pieza del molde.

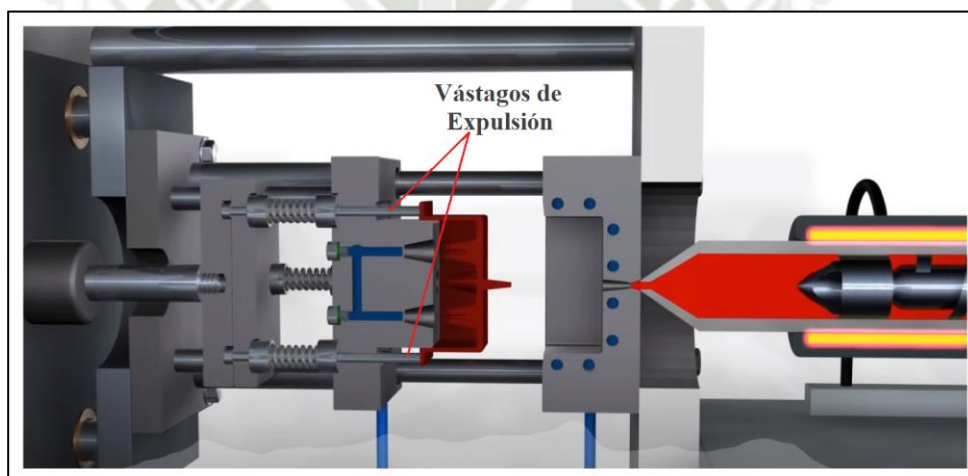


Figura N° 25: Vástagos de expulsión.

Fuente: (Tronicarts - Multimedia-Agentur, 2023)

2.2.1.9. Unidad de Cierre.

Este sistema normalmente se encuentra conformado por una prensa mecánica o hidráulica la cual debe generar la presión suficiente para lograr contrarrestar la fuerza ejercida por el material durante la etapa de inyección en el molde. De no lograr la presión adecuada, el material se escurrirá por la unión del molde generándose defectos de rebaba en la pieza fabricada.

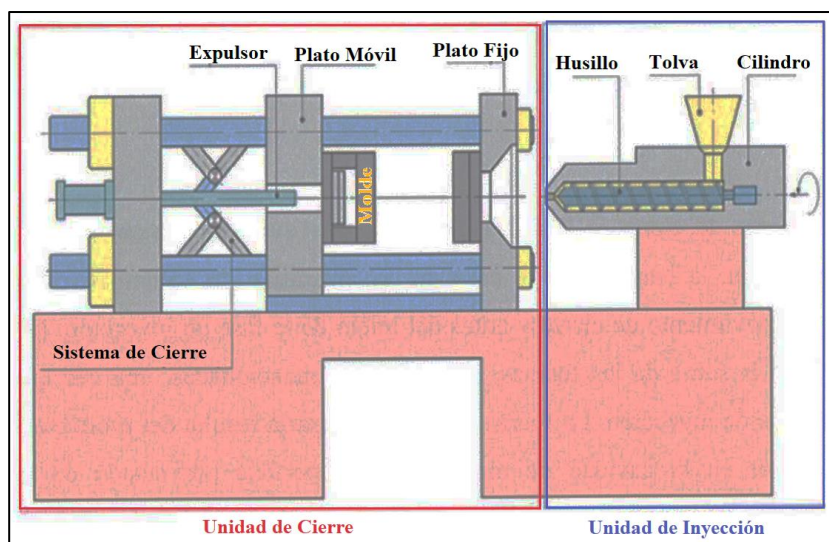


Figura N° 26: Sistema de cierre.

Fuente: (Baeza García, 2014)

El sistema de cierre también debe de velar por no dañar el molde debido cierres demasiado violentos o debido a elevadas presiones. En la actualidad el sistema de cierre es accionado ya sea de forma manual o haciendo uso de un sistema hidráulico.

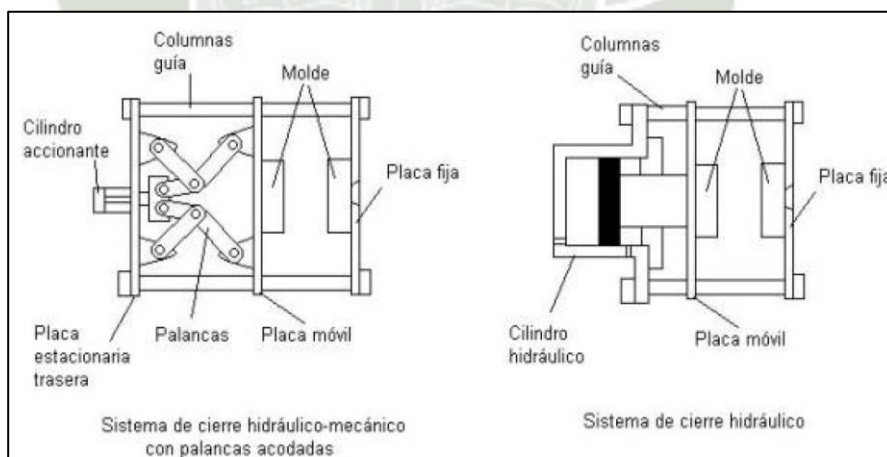


Figura N° 27: Principales sistemas de cierre.

Fuente: (Baeza García, 2014)

➤ Unidad de Cierre Mecánico.

Este tipo de cierre hace uso de un mecanismo con palancas llamado también de rodillera. El sistema de palancas se acciona mediante la aplicación de una fuerza en el

elemento accionante la cual provoca el desplazamiento de la placa móvil hasta entrar en contacto con la placa fija momento en el cual se eleva la fuerza hasta alcanzar la presión de cierre adecuada con la finalidad de iniciar la etapa de inyección.

La fuerza que debe ser aplicada se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$F_c = \frac{P_m \times S_p}{100}$$

Donde:

F_c = Fuerza de cierre (kN)

P_m = Presión en el interior de la cavidad (bar)

S_p = Superficie proyectada (cm²)

➤ **Unidad de Cierre Hidráulico.**

Para accionar este tipo de cierre y lograr el cierre adecuado con la presión debida durante el proceso de inyección, se hace uso de un pistón hidráulico movido mediante aceite a alta presión la cual se genera haciendo uso de una bomba hidráulica. La Figura N° 28 muestra un esquema de un circuito hidráulico sencillo.

De igual forma, la velocidad con la que se desplaza el elemento hidráulico se puede calcular con la siguiente formula:

$$V_p = \frac{V_a/t}{A}$$

Donde:

V_p = Velocidad del pistón.

V_a/t = Volumen del aceite por tiempo.

A = Área del pistón.

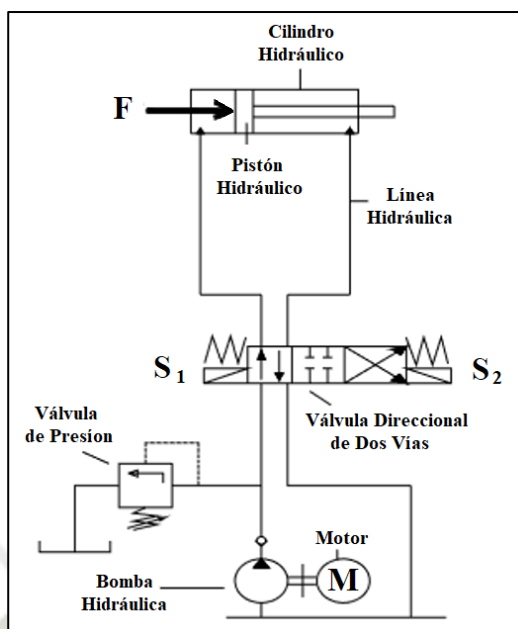


Figura N° 28: Circuito hidráulico.

Fuente: (Quehui Nina, 2014)

➤ **Bomba Hidráulica.**

La bomba hidráulica pasa a ser el elemento más importante del sistema hidráulico. El trabajo que desempeña es transformar la energía que recibe del motor en energía hidráulica la cual se utiliza para desplazar el fluido en el interior del sistema venciendo las resistencias que se presentan. Las bombas utilizadas generalmente por las máquinas inyectoras son las de veletas Figura N° 29.

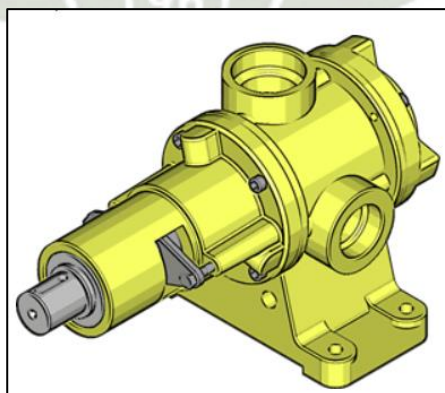


Figura N° 29: Bomba de veletas.

Fuente: www.kingpompa.com/es/urunler/paletli_pompalar.jsp

➤ Válvulas de Presión.

Estas válvulas se encargan de mantener la presión adecuada en el sistema dependiendo de la pieza que se esté fabricando. Normalmente su ajuste se hace forma manual comprimiendo un resorte en su parte interior el cual se encuentra calibrado para determinar la presión requerida.

➤ Sensor de Temperatura.

El mantener controlada la temperatura durante el sistema de inyección es de suma importancia, es por ello por lo que se hace uso de sensores de temperatura en diferentes puntos de la inyectora y el molde para asegurar parámetros de funcionamiento óptimos.

La temperatura del molde es importante para asegurar un buen acabado de la pieza a fabricar y esta dependerá de las características del material a utilizar. La Tabla N° 6 nos muestra las temperaturas adecuadas a ser utilizadas en diferentes materiales.

Tabla N° 6: Temperaturas recomendadas.

Material	Temperatura
Acetato de celulosa	40 °C - 60 °C
Acrílicos	50 °C - 90 °C
Poliamidas	80 °C - 120 °C
Policarbonatos	80 °C - 110 °C
Polietileno B.D.	5 °C - 50 °C
Polietileno A.D.	5 °C - 60 °C
Polipropileno	10 °C - 60 °C
Poliestireno	20 °C - 50 °C
ABS	50 °C - 80 °C
Acetatos	70 °C - 100 °C

Fuente: (Baeza García, 2014)

➤ **Tiempo de Enfriamiento.**

Una vez terminado el proceso de inyección se debe considerar el tiempo necesario para que la pieza enfríe y se pueda proceder a su expulsión del molde.

El tiempo de enfriamiento adecuado es muy importante en el proceso de fabricación de piezas por inyección ya que este puede llegar a tomar aproximadamente el 85% del tiempo total que conlleva todo el proceso de fabricación, por lo tanto, resulta ser importante que garanticemos el retiro de la pieza en el menor tiempo posible asegurando su buena calidad.

En la industria se calcula el tiempo de enfriamiento conveniente, de una manera sencilla pero aproximada para piezas entre 1 y 4 mm de espesor, haciendo uso de la siguiente relación:

$$T_F = \frac{-e_{\max}^2}{2 \cdot \pi \cdot \alpha_n} \cdot \ln \left[\frac{\pi(T_{\exp} - T_{\text{mold}})}{4(T_{\text{mat}} - T_{\text{mold}})} \right]$$

Donde:

T_F = Tiempo de enfriamiento (s).

$e_{\max}$ = Espesor máximo de la pieza (cm).

α_n = Difusividad térmica del material (cm² / °C).

$T_{\exp}$ = Temperatura de expulsión de la pieza (°C).

T_{mold} = Temperatura del molde (°C).

T_{mat} = Temperatura del material (°C).

Como se logra apreciar gracias a la ecuación, el tiempo de enfriamiento aumenta con el cuadrado del espesor de la pieza a fabricar (Baeza García, 2014).

2.3. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA AUTOMATIZADO CON PLC.

2.3.1. PLC (Controlador Lógico Programable).

Un PLC (Programmable Logic Controller) es un dispositivo electrónico utilizado en automatización industrial para controlar procesos o máquinas. Está diseñado para realizar

tareas de control, monitoreo y secuenciación en entornos industriales como plantas de fabricación, sistemas de producción y otros procesos automatizados.

Entre algunos modelos de PLC tenemos:

➤ **Siemens S7-1200**

El Siemens S7-1200 es una serie de controladores programables diseñado específicamente para aplicaciones de automatización en entornos industriales, el S7-1200 es una solución compacta y versátil que ofrece un alto rendimiento y facilidad de uso.

Aunque es más pequeño en tamaño, ofrece un rendimiento sólido y confiable. Con una amplia variedad de opciones de E/S integradas y una interfaz de programación intuitiva. Este modelo puede tener alrededor de 14 a 24 entradas digitales y 10 a 16 salidas digitales integradas como se muestra en la Figura N° 30.



Figura N° 30: PLC Siemens S7-1200

Fuente: Siemens. siemens.com

➤ **Siemens S7-1500.**

El S7-1500 forma parte de la serie de productos SIMATIC de Siemens el cual es frecuentemente utilizado en sistemas de automatización industrial con la finalidad de controlar y monitorear procesos de producción, máquinas y sistemas. Nos brinda una plataforma de elevado rendimiento que permite la programación, supervisión y gestión

de sistemas automatizados. Además, presenta características de seguridad integradas y una programación intuitiva que permite una configuración y mantenimiento sencillos.

A diferencia del S7-1200 este presenta alrededor de 32 a 64 entradas digitales y 32 a 64 salidas digitales integradas. A su vez, permite adicionar una pequeña interface HMI como se muestra en la Figura N° 31 cual pasa a ser una opción adecuada para aplicaciones que requieren alto rendimiento, flexibilidad y fiabilidad.



Figura N° 31: PLC Siemens S7-1500

Fuente: Siemens. siemens.com

➤ **MicroLogix 1100.**

El MicroLogix 1100 Figura N° 32, es un PLC fabricado por Allen-Bradley, una marca de Rockwell Automation. Este dispositivo está diseñado principalmente para aplicaciones de control de pequeña a mediana escala aplicados en la industria.

Presenta puertos de comunicación serial RS-232 y Ethernet para integrarse en sistemas de control. Es programado con el software RSLogix 500, proporcionando una interfaz intuitiva para la programación y configuración, así como un diseño compacto y puede comunicarse con otros dispositivos y sistemas de control. Comparándolo con los PLCs de Siemens podemos ver que es más limitado en capacidad de entradas y salidas.



Figura N° 32: PLC Micrologix 1100

Fuente: Rockwell Automation. rockwellautomation.com

2.3.2. Sensores.

Los sensores realizan un trabajo importante en la recopilación de datos en tiempo real, lo que deja tomar decisiones precisas logrando de esta forma la automatización eficiente de los procesos industriales. Además, permite integrarse a sistemas más amplios, como los sistemas de control distribuido (DCS).

➤ Sensores de Temperatura.

Son dispositivos diseñados para detectar y medir temperatura de un entorno. Hace uso de diversos principios físicos para convertir la temperatura en una señal eléctrica que puede ser interpretada por un sistema electrónico o un microcontrolador. Existen diversos tipos de sensores de temperatura, incluidos termistores, termopares, resistencias de platino (RTD) y sensores de estado sólido, cada uno con sus propias características y rangos de aplicación específicos.

Un ejemplo de estos se puede apreciar en la Figura N° 33.



Figura N° 33: Sensor PT100 SITRANS TS200

Fuente: Siemens. siemens.com

Teniendo como sus principales características las que se muestran en la Tabla N° 7.

Tabla N° 7: Principales características del PT100 Sitrans

PT100 SITRANS	
1	Voltaje: 24VDC
2	Temperatura mínima: -30 °C
3	Temperatura máxima: 400 °C
4	Material: Aluminio, Anodizado

Fuente: Elaboración propia.

➤ Sensores de Presión.

Son dispositivo que permiten medir la presión de un fluido (líquido o gas) en un sistema. Hacen uso de varios principios físicos para convertir la presión en una señal eléctrica que puede ser interpretada por un sistema electrónico o un microcontrolador. Los sensores más comunes consideran a sensores de presión piezoeléctricos, sensores de presión de película delgada, sensores de presión capacitivos y sensores de presión de silicio. Estos sensores de presión se utilizan en una gran cantidad de aplicaciones, como control de procesos industriales como la monitorización de sistemas hidráulicos y neumáticos, medición de presión arterial en medicina, control de la presión de neumáticos en automóviles, sistemas de frenos antibloqueo (ABS), sistemas de aire acondicionado, etc.

Un ejemplo de estos se puede apreciar en la Figura N° 34.



Figura N° 34: Sensor Sensor 2000.40.118

Fuente: Alltronics. alltronicsperu.com

Teniendo como sus principales características las que se muestran en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8: Sensor de Presión 2000.40.118

2000.40.118	
1	Voltaje: 9-30VDC
2	Precisión a 25°C: +- 0.3% en la escala completa
3	Salida: 4 a 20mA
4	Conexión a proceso: 1/4" G
5	Rango de medición: De 25 mbar a 100 bar

Fuente: Elaboración propia.

➤ Sensores de Posición.

Son dispositivos que detectan y miden la posición relativa de un objeto o componente en relación con un punto de referencia específico. Estos sensores utilizan una variedad de principios físicos para determinar la posición, como la medición de la distancia, el ángulo, la fuerza magnética, entre otras. Se tienen varios tipos de sensores de posición, como los sensores de potenciómetro, sensores de efecto Hall, sensores ópticos, sensores inductivos, sensores de ultrasonido, entre otros. Cada tipo posee características y rango de aplicaciones propios.



Figura N° 35: Sensor BTL7 A/B SERIES

Fuente: Balluff. balluf.com

Los sensores de posición pueden ser aplicados en sistemas de control de maquinaria industrial y robótica, así como en sistemas de navegación de vehículos, sistemas de control de automatización, dispositivos médicos, videojuegos, y más. Su aplicación en la tecnología moderna es relevante ya que proporcionan información precisa sobre la posición de los objetos o componentes.

Tabla N° 9: Principales características del BTL7-A/B

BTL7- A/B	
1	Tensión de servicio U_b : 10-30VDC
2	Longitud de medición: 25-7620mm
3	Repetibilidad: $\leq \pm 5 \mu m$
4	Temperatura ambiente: -45-85°C
5	Versión mecánica: Fijación rosca M18
6	Material de carcasa: Aluminio, Anodizado
7	Grado de protección: IP67-IP68

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 35 se muestra un sistema magnetostrictivo que se basa en las propiedades magnéticas cuyas principales características se detallan en la Tabla N° 9. También se tienen a los sensores capacitivos como se muestra en la Figura N° 36 que se basa en la capacitancia entre dos placas.



Figura N° 36: Sensor VEGACAL 62
Fuente: Direct Industry. directindustry.com

Teniendo como sus principales características las que se muestran en la Tabla N° 10.

Tabla N° 10: Principales características del Vegacal 62

VEGACAL 62	
1	Voltaje: 24VDC
2	Medio: Líquido, aceite, para productos a granel
3	Presión de proceso: mínimo 0 bar, máximo 64 bar
4	Temperatura ambiente: -50 a 200°C
5	Rango de niveles: 0 a 6 metros
6	Material de carcasa: Acero inoxidable,
7	Grado de protección: IP67-IP68

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Motores.

Los motores son dispositivos que convierten la energía térmica, eléctrica, hidráulica entre otras en energía mecánica. Hacen uso de diversos principios físicos para producir el movimiento deseado. Los motores eléctricos más comunes son aquellos que usan la interacción entre un campo magnético y corriente eléctrica. Pueden ser de corriente continua (DC) o alterna (AC). Los motores de combustión interna convierten la energía térmica de la combustión en movimiento mecánico. Los motores hidráulicos aprovechan la presión de un fluido para generar movimiento.

➤ **Motores Eléctricos.**

Un motor eléctrico es aquel dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, obteniendo un movimiento rotativo. Hacen uso de la interacción entre un campo magnético y corriente eléctrica para generar fuerzas que hacen girar un eje central. Los motores eléctricos están compuestos por un estator fijo, que contiene bobinas de alambre o devanados que se energizan para crear un campo magnético, y un rotor móvil que lleva una corriente eléctrica o está magnetizado y es impulsado por el campo magnético creado por el estator. Un ejemplo de ellos se aprecia en la Figura N° 37.



Figura N° 37: Motor Trifásico 2P, 3HP IE1

Fuente: Motorex. motorex.com

➤ **Servomotores.**

Los servomotores son un tipo específico de motor eléctrico fabricados para controlar el movimiento, la posición, velocidad y torque con precisión. Estos motores poseen con un mecanismo de retroalimentación el cual le permite al sistema controlar la posición angular del eje de salida con precisión. Este control se logra con el uso de un sensor de posición, como un potenciómetro o un codificador, que proporciona información sobre la posición actual del eje al controlador del motor.

Los servomotores normalmente se encuentran conformados por un motor de corriente continua (DC), un grupo de engranajes con el fin de aumentar el torque y un circuito de control integrado. Este circuito de control recibe señales de entrada, generalmente en

forma de pulsos de ancho modulado (PWM), que indican la posición deseada del eje. Luego, el controlador ajusta la corriente suministrada al motor para que el eje se mueva a la posición deseada con precisión.

Para el uso de este tipo de servomotores es necesario un Servosistema como por ejemplo el SINAMICS S210 el cual se muestra en la Figura N° 38.



Figura N° 38: Servosistema con servomotor S-1FK7
Fuente: Siemens. siemens.com

El Sinamics S210 junto con el servomotor S-1FK7 conforman un sistema de accionamiento compacto y altamente dinámico para aplicaciones de automatización industrial. El Sinamics S210 es un variador de frecuencia diseñado especialmente para controlar servomotores de la serie S-1FK7 de Siemens. Estos servomotores presentan un desempeño excepcional en términos de dinámica, precisión y eficiencia energética. El sistema Sinamics S210 y el servomotor S-1FK7 son ideales para aplicaciones que requieren un control preciso de la velocidad y la posición, como en máquinas herramienta, impresoras, embaladoras y robots industriales.

2.3.4. Actuadores.

Los actuadores son dispositivos mecánicos, eléctricos o hidráulicos los cuales convierten una señal de control en un movimiento físico. Su objetivo esencial es el de generar un trabajo

mecánico en respuesta a una señal de entrada. Por ejemplo, un actuador eléctrico puede convertir una señal eléctrica en un movimiento lineal o rotativo, mientras que un actuador hidráulico utiliza fluido para generar fuerza y movimiento. Los actuadores son importantes en sistemas automatizados, como robots industriales, vehículos autónomos y sistemas de control de procesos.

➤ **Actuador Eléctrico.**

Son aquellos que convierten energía eléctrica en movimiento mecánico. Utilizan motores eléctricos para generar fuerza y movimiento lineal o rotativo. Son bastante usados en trabajos donde se requiere precisión, control y facilidad de automatización. Los actuadores eléctricos pueden ser simples, como un motor eléctrico que mueve una válvula, o más complejos, como los servomotores que se utilizan en industria para controlar con precisión la posición y velocidad de un mecanismo. Un ejemplo de estos se puede apreciar en la Figura N° 39, el cual es un actuador eléctrico lineal diseñado para aplicaciones industriales que requieren un movimiento lineal preciso y controlado. Con una longitud de carrera de 150 mm, este actuador puede desplazarse a lo largo de esa distancia con gran precisión. Presenta un diseño de tres fases el cual garantiza un funcionamiento suave y estable, ideal para trabajos que necesitan un alto nivel de control y repetibilidad. Su diseño permite una fácil instalación y un mantenimiento sencillo, así como también su construcción robusta lo hace ideal para medios industriales exigentes. Es muy utilizado en maquinaria automatizada, equipos de embalaje y sistemas de transporte.



Figura N° 39: Actuador EPCC-BC-32-150-3P-A

Fuente: Festo. festo.com

➤ **Actuador Hidráulico.**

Son dispositivos que convierten la energía hidráulica en movimiento mecánico. Funcionan utilizando un fluido presurizado, como el aceite hidráulico, por ejemplo, para generar fuerza y movimiento controlado. Son frecuentemente utilizados en aplicaciones industriales y de ingeniería donde se requiere un alto nivel de fuerza y precisión en el movimiento.

Están formados de un cilindro que contiene un pistón móvil conectado a una varilla de accionamiento. Al aplicar presión al fluido, el pistón se desplaza, lo que genera un movimiento lineal en la varilla. Los actuadores hidráulicos son capaces de producir grandes fuerzas y son muy usados en trabajos que necesitan movimientos suaves y controlados, como en maquinaria pesada, sistemas de elevación y prensas hidráulicas. Se muestra en la Figura N° 40 un modelo de doble efecto.

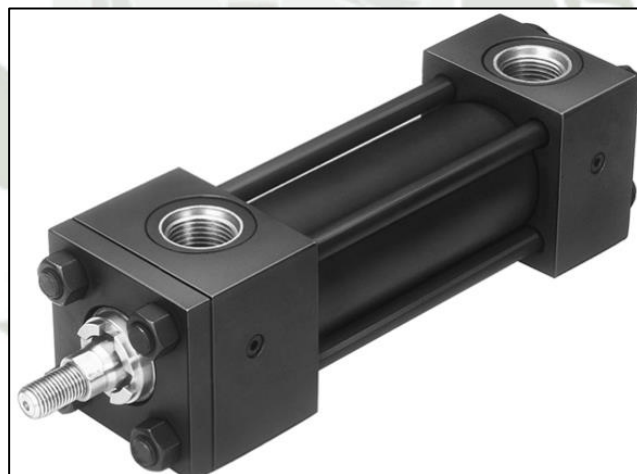


Figura N° 40: Actuador Parker Series 2H

Fuente: Parker. parker.com

El Parker Series 2H es un actuador hidráulico de doble efecto diseñado para aplicaciones industriales que requieren un alto rendimiento y una larga vida útil. Su diseño de doble efecto permite que el actuador genere fuerza tanto en la carrera de avance como en la de retroceso, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren un movimiento

bidireccional. Es bastante utilizado en maquinaria pesada, equipos de minería, prensas hidráulicas y otros sistemas donde se requiere un alto rendimiento y una larga vida útil.

2.3.5. Relés de Estado Sólido.

Un relé de estado sólido (SSR, por sus siglas en inglés Solid-State Relay) es un dispositivo electrónico que permite controlar el flujo de corriente eléctrica utilizando componentes de estado sólido en lugar de interruptores mecánicos. A diferencia de los relés electromecánicos convencionales que utilizan bobinas y contactos metálicos para abrir y cerrar circuitos eléctricos, los SSRs utilizan dispositivos semiconductores como tiristores, transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) o transistores de efecto de campo (FET) para realizar la conmutación de la corriente lo cual ofrece ventajas como una mayor velocidad de conmutación, mayor vida útil y menor riesgo de chispas o arcos eléctricos.



Figura N° 41: Relé Crydom D1D40

Fuente: Mouser Electronics. mouser.pe

El relé que se muestra en la Figura N° 41 ha sido diseñado para controlar cargas de hasta 40 amperios. Este relé hace uso de tecnología de estado sólido para brindar un trabajo confiable y de larga duración en una gran cantidad de aplicaciones industriales. Puede conmutar cargas de forma rápida y eficiente, por lo que es altamente utilizado para aplicaciones en las que se requiere un alto grado de precisión y fiabilidad. El relé Crydom D1D40 es muy utilizado en sistemas de control de temperatura, equipos de soldadura, maquinaria industrial y otros dispositivos donde se requiere una conmutación de alta potencia.

2.3.6. Pantalla HMI.

La pantalla HMI (Interfaz Hombre-Máquina) es un dispositivo que permite la interacción entre una máquina y un operador humano. Brinda una interfaz gráfica que muestra información en tiempo real, como datos de sensores, estados de operación y alarmas, permitiendo al operador controlar y supervisar el sistema a través de botones virtuales, controles deslizantes y otros elementos interactivos. Las pantallas HMI son comunes en aplicaciones industriales, como en la automatización de fábricas y procesos, donde facilitan la monitorización y el control de los sistemas de forma intuitiva y eficiente.

➤ HMI KTP400.

El SIMATIC HMI KTP400 Basic que se muestra en la Figura N° 42, es un panel de operador de la serie SIMATIC HMI de Siemens. Está fabricado para usarse como interfaz entre el operador humano y la máquina en aplicaciones industriales. Presenta una pantalla táctil de 7 pulgadas también existen de mayor tamaño con una interfaz gráfica intuitiva que permite al operador supervisar y controlar el proceso de una forma correcta. El panel es compacto, robusto y fácil de integrar en sistemas de automatización. Es ampliamente usado desde máquinas individuales hasta sistemas complejos, y se puede configurar y programar utilizando el software de ingeniería SIMATIC WinCC Basic



Figura N° 42: HMI KTP400

Fuente: Siemens. siemens.com

➤ HMI PanelView Plus 7.

El PanelView Plus 7 de Allen-Bradley que se muestra en la Figura N° 43, es un panel de operador que forma parte de la familia de interfaces hombre-máquina (HMI) de Rockwell Automation. Este panel presenta una pantalla táctil de alta resolución y tamaño variable, que va desde 4 hasta 19 pulgadas, con capacidad para mostrar gráficos y animaciones de forma clara y detallada.

Está fabricado para trabajar en entornos industriales exigentes, ya que cuenta con una carcasa robusta que lo protege contra el polvo, la humedad y los golpes. También posee una amplia variedad de opciones de conectividad, lo que le facilita integrarse con una gran cantidad de equipos y sistemas de control.

Este panel se programa utilizando el software Studio 5000 View Designer, que brinda una interfaz intuitiva y herramientas avanzadas para el diseño de pantallas y la configuración de la comunicación con otros dispositivos.



Figura N° 43: Panel View Plus 7

Fuente: Rockwell Automation rockwellautomation.com

2.3.7. Fuente de Alimentación.

Una fuente de alimentación es un dispositivo que brinda energía eléctrica a un sistema o dispositivo eléctrico. Su principal trabajo es convertir la energía eléctrica de una forma a otra para adaptarse a los requisitos específicos de un equipo o dispositivo.

Se encuentra diversos tipos de fuentes de alimentación, cada una fabricada para cubrir diferentes necesidades de voltaje, corriente y características de rendimiento.

La fuente de alimentación Siemens 6EP1962-2BA00 que se muestra en la. es un dispositivo utilizado para convertir la corriente alterna (CA) de la red eléctrica en corriente continua (CC) con la tensión necesaria para alimentar equipos electrónicos industriales. Este modelo en especial es parte de la serie SITOP modular de Siemens, fabricada para proporcionar una alimentación confiable y eficiente para sistemas de automatización y control. Su diseño permite una fácil expansión y configuración para acomodarse a los requerimientos específicos de cada aplicación.



Figura N° 44: Fuente 6EP1962-2BA00

Fuente: Siemens. siemens.com

2.3.8. Transmisores de Temperatura.

Los transmisores de temperatura son dispositivos que permiten tomar el valor de una temperatura medida como una señal analógica de 4–20 mA, son útiles en evitar pérdidas de tensión o cuando un dispositivo PLC no puede tomar la medición directamente desde un sensor de resistencia (Termopar o PT100).

Entre las principales tareas que realiza un transmisor de temperatura está el amplificar, aislar, linealizar y convertir la señal de entrada a una señal estandarizada de control y filtrar sonido. Se tiene que la salida más común es la de corriente 4 – 20 mA, por ejemplo 3 mA puede representar 0 °C y 30 mA 100 °C. Un ejemplo de estos sensores se muestra en la Figura N° 45.



Figura N° 45: Sitrans TH100
Fuente: Siemens. siemens.com

Así como sus principales características se presentan en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11: Transmisor TH100

TH100	
1	Entrada: RTD – PT100
2	Salida: 4-20 mA
3	Montaje: Cabezal- Riel Din

Fuente: Elaboración propia.

2.3.9. Botones de Control.

Los botones de control son elementos utilizados para dar inicio, detener o controlar diversas funciones en equipos y dispositivos. Presentan diferentes formas, tamaños y colores según sea la función específica a cumplir. En la Figura N° 46 se muestra un pulsador metálico con retorno por resorte teniendo resistencia a soportar a entornos hostiles amplio rango de temperatura de -40 a 75°C.

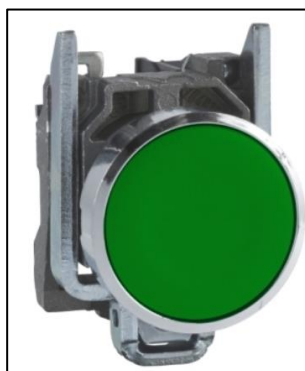


Figura N° 46: Pulsador rasante metálico

Fuente: Schneider. se.com/pe/

De igual forma, en la Figura N° 47 se muestra a pulsadores que soportan polvo y humedad.



Figura N° 47: Pulsador modular M22 plástico

Fuente: Eaton eaton.com

2.3.10. Conectores de Cableado.

Los conectores que se muestran en la Figura N° 48 y el cable de la Figura N° 49 son componentes esenciales en sistemas eléctricos y electrónicos para establecer conexiones eléctricas entre diferentes dispositivos o componentes.



Figura N° 48: Conectores Brad Ultra-Lock

Fuente: DigiKEY digikey.com



Figura N° 49: Cables de señal y cables de alimentación

Fuente: Phoenix Contact phoenixcontact.com

2.4. NORMATIVIDAD.

La normativa es un elemento importante en la automatización de diversas máquinas ya que con ella se logran trabajos seguros y eficientes. La normatividad también permite desarrollar la innovación y la competitividad asegurando con ello un desarrollo adecuado y sostenible de la industria. Finalmente, la normatividad permite a los profesionales realizar diseños y trabajos de automatización de una forma ética y segura asegurando una rentabilidad con el trabajo realizado.

2.4.1. IEC 61131.

Esta norma ha sido publicada por la International Electrotechnical Commission (IEC), la cual es un estándar internacional con la cual se regula el diseño, programación y operación de los Controladores Lógicos Programables conocidos comúnmente con el nombre de PLC, los cuales son de gran importancia para la automatización de diversos sistemas industriales. La aplicación de dicha norma permite tener una base técnica adecuada para la integración de sistemas automatizados, logrando una interoperabilidad, estandarización y eficiencia en los programas realizados y un uso adecuado de PLC en los distintos sectores industriales.

Con ello, se logra estandarizar las características técnicas de los diversos controladores lógicos programables, con lo cual se mejora la interoperabilidad entre equipos de los diversos fabricantes ayudando con ello la implementación y el mantenimiento de sistemas automatizados.

Finalmente, podemos identificar que la importancia de esta norma se manifiesta en la estandarización que se puede lograr entre los diversos fabricantes facilitando la compatibilidad entre equipos. Así también los cinco lenguajes de programación (LC, FBD, ST, IL, SFC) contemplados en la norma resultan ser una ventaja para el programador dependiendo de las necesidades del proyecto.

2.4.2. ECPI.

La norma ECPI (Electrical Code for Process Instrumentation) aún no es completamente reconocida por organizaciones como la IEC, IEEE, o ISO, pero es bastante utilizada como referente importante en las técnicas utilizadas para el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas eléctricos y de instrumentación industrial.

La ECPI proporciona lineamientos principales para el diseño y manejo de sistemas eléctricos e instrumentación, asegurando la estandarización, reducción de riesgos y fallas, mejorando la eficiencia operacional realizando todo ello dentro del marco legal requerido.

Finalmente, apreciamos que los principios de la ECPI se aplican en diversos sistemas de control industrial como por ejemplo en la automatización de inyectoras de plástico permitiendo el monitoreo y regulación de variable críticas integrando los sistemas SCADA y PLC para un control distribuido.

2.4.3. HAZOP.

HAZOP (Hazard and Operability Study) es una técnica reconocida por organizaciones internacionales como la ISO y la IEC, diseñada para identificar y analizar riesgos y problemas de funcionamiento en sistemas industriales y automatizados.

HAZOP hace uso de palabras guía para analizar las diversas variaciones que pueden presentarse en los parámetros establecidos. Entre las principales palabras guía tenemos la No, Más, Menos, Reverso, Otro. Para cada desviación detectada se analiza la causa potencial, la consecuencia y las medidas existentes.

Finalmente, la aplicación de HAZOP brinda un enfoque estructurado, refuerza el concepto de seguridad en el diseño y permite integrar practicas reconocidas internacionalmente con lo que se puede garantizar la confiabilidad y sostenibilidad de los diversos sistemas.

2.5. UNIONES ATORNILLADAS.

Cuando se necesita diseñar alguna estructura que se pueda desensamblar sin tener que dañar la estructura y que a la vez esta sea lo suficientemente fuerte para soportar las cargas aplicada, la junta empernada resulta ser una muy buena opción.

Hay que tener en cuenta que las juntas empernadas pueden resultar peligrosas si no se diseñan y calculan de forma adecuada o si el montaje se realiza de forma inadecuada.

2.5.1. Tornillos.

Es un elemento mecánico de fijación usado para sujetar objetos entre si el cual cuenta con una cabeza que generalmente presenta una forma hexagonal y un cuerpo alargado con una rosca en su superficie externa.

En la rosca del tornillo se enrosca otra superficie enroscada correspondiente con la finalidad de generar una unión firme.

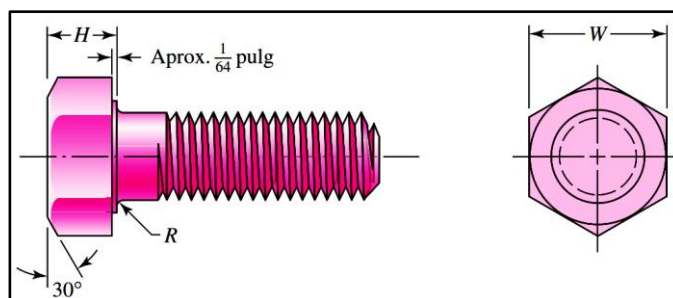


Figura N° 50: Tornillo de cabeza hexagonal estándar.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2021)

2.5.2. Tuerca.

Es un elemento mecánico que presenta una rosca interna. Su función principal es unirse con un tornillo con lo cual se puede lograr la unión de las piezas requeridas. Al enroscar una tuerca en la rosca externa de un tornillo se logra una unión segura al ser apretados la cual puede ser desmontable.

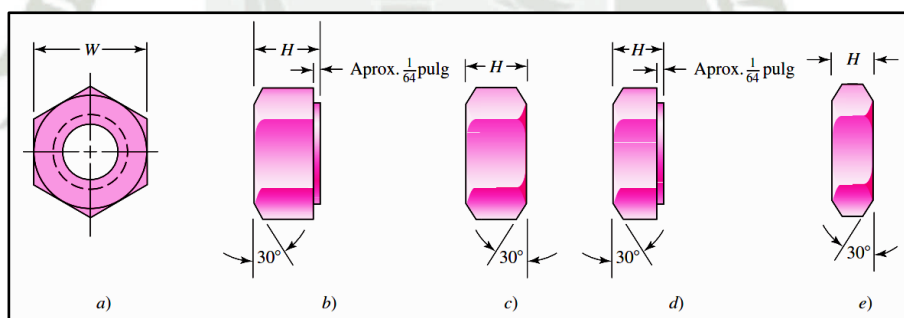


Figura N° 51: Tornillo de cabeza hexagonal estándar.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2021)

2.5.3. Perfiles Estructurales de Acero.

Los perfiles estructurales son aquellos cuyas secciones transversales son normalizadas y fabricadas industrialmente y que se utilizan como elementos básicos en la construcción de diversas estructuras metálicas. Estos elementos permiten obtener resistencia y estabilidad en las estructuras diseñadas, y son escogidos de acuerdo con las necesidades específicas de carga, la función estructural y otros criterios de diseño. Los perfiles estructurales se diseñan para que trabajen comúnmente como vigas, columnas, etc.

Dentro de los perfiles estructurales metálicos más comunes tenemos:

Vigas (I, H, W): Estos perfiles presentan la forma de "I" y normalmente se les utiliza como elementos horizontales que soportan cargas perpendiculares a su eje.

Columnas (H, W): Elementos de forma "H" o "W", los cuales permiten soportar cargas verticales dando estabilidad a la estructura.

Canal (C): Elemento en forma de "C", el cual puede ser utilizado en varias aplicaciones.

Ángulo (L): Elemento en forma de "L" que se usa generalmente en conexiones, refuerzos y esquinas en estructuras metálicas.

Tubo (rectangular, cuadrado, circular): Dependiendo de su sección transversal pueden ser utilizados como columnas, vigas o elementos de soporte.

La fabricación de estos perfiles estructurales se encuentra normalizada siendo una de las principales las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) en los Estados Unidos o normas similares en otros países, lo que facilita su fabricación, especificación y uso en el diseño de estructuras. La selección de un perfil dependerá de las cargas que soportará, las condiciones del entorno y los requisitos de diseño específicos.

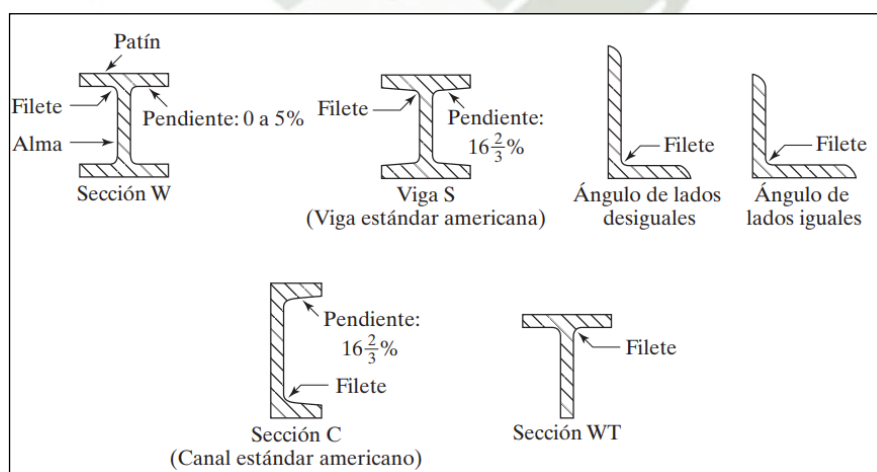


Figura N° 52: Tipos de perfiles.

Fuente: estructurasmetalicascolombia.com

Uso Previsto:

La estructura que se diseñará deberá soportar operaciones manuales sobre la máquina inyectora, permitiendo el acceso de dos personas y la manipulación controlada de un cilindro. Este uso implica consideraciones específicas en cuanto a carga en puntos particulares de la estructura y la necesidad de garantizar la seguridad y estabilidad durante estas operaciones.

Características Principales:

- **Desmontabilidad:** La estructura será concebida como un conjunto totalmente desmontable, lo que facilitará su instalación, desmontaje y eventual reubicación según sea necesario. Esto implica el diseño de conexiones y fijaciones que permitan el desacople sencillo de los componentes.
- **Cargas Aplicadas:** Las cargas principales a considerar incluyen el peso de dos personas, el cilindro y cualquier equipo adicional relacionado con las operaciones sobre la máquina. Además, se han tenido en cuenta las cargas muertas, cargas vivas y otros factores según las normativas locales.
- **Condiciones Ambientales:** La estructura estará expuesta únicamente a condiciones ambientales controladas.
- **Cumplimiento Normativo:** El diseño se ajustará a los códigos de construcción locales, así como a los estándares internacionales aplicables a estructuras metálicas.

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1. AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA INYECTORA.

Para llevar a cabo la automatización de la máquina inyectora se considera como controlador programable el uso de un PLC Siemens S7-1200 por permitir brindar soluciones compactas y escalables, así como su fiabilidad y robustez que le permiten desempeñarse sin problemas en entornos exigentes. A su vez, se destaca su avanzada programación por medio del intuitivo TIA Portal, así como su integración de comunicaciones Profinet y soporte para otros protocolos lo que le permite brindar una eficiente conectividad.

Cabe resaltar que el PLC Siemens S7-1200 cuenta con funciones de seguridad tales como el paro de emergencia y la supervisión de una velocidad segura características que permiten salvaguardar la integridad de las personas y máquinas. También brinda características de diagnóstico integradas las que permiten realizar una rápida detección y solución de problemas que se pueden presentar. Finalmente ofrece un interfaz de usuario amigable por medio del uso de HMI (Human Machine Interface) logrando una interacción más sencilla y eficiente con el sistema lo que a su vez permite elevar productividad de las operaciones.

3.1.1. Selección de PLC.

Frente a las diversas marcas de PLC que existen en el mercado se prefirió optar por la marca Siemens para llevar a cabo la automatización de la máquina inyectora esto basado en los siguientes aspectos:

- Siemens es una de las marcas más prestigiosas a nivel mundial en todo el campo de automatización para lo cual brinda productos de alta calidad y confiabilidad.
- Los PLC de esta marca están fabricados para soportar entornos altamente exigentes del campo industrial logrando obtener una mayor vida útil y a su vez reducir los tiempos inactivos respecto a otras marcas más económicas.

- La empresa Siemens sigue en forma rigurosa los estándares internacionales con lo cual pueden asegurar una fácil y eficiente integración con otros equipos y sistema que se ofrecen en el mercado.
- El soporte técnico que brinda es a nivel global lo que permite una pronta solución de problemas con acceso rápido a los repuestos que se puedan necesitar.
- La empresa ofrece una amplia documentación, formación técnica y certificaciones lo que permite tener operadores y técnicos muy bien capacitados.
- Siemens se diferencia por sus diagnósticos integrados y las diversas herramientas para el mantenimiento predictivo con lo que se logra disminuir los costos ocasionados por fallas imprevistas.
- Siemens ofrece una gama de PLC que logran optimizar los procesos industriales con lo cual se tiene una reducción del consumo energético de la máquina inyectora.
- La modularidad y escalabilidad de los PLC de Siemens permiten realizar actualizaciones futuras sin la necesidad de reemplazar todo el sistema lo que es una gran diferencia frente a otras marcas.

La Tabla N° 12 nos muestra algunas ventajas técnicas de los PLC de Siemens frente a otras marcas del mercado.

Tabla N° 12: Ventajas técnicas frente a otras marcas

Criterio	PLC Siemens	Otras marcas
Confiabilidad	Altamente confiable en ambientes industriales.	Algunas marcas más económicas tienden a fallar en aplicaciones exigentes.
Escalabilidad	Modular, permite expansión sencilla con módulos adicionales.	Limitada en marcas más económicas, o escalabilidad a un costo más alto en marcas premium como Allen-Bradley.
Facilidad de programación	TIA Portal centraliza programación, monitoreo y diagnóstico.	Otras marcas pueden requerir software separado o menos intuitivo.
Comunicaciones integradas	Profinet estándar, con opciones para Modbus TCP/IP, OPC UA.	Protocolos básicos en marcas económicas; opcionales y costosos en otras premium.
Relación costo-beneficio	Ofrece una excelente combinación de rendimiento y precio.	Algunas marcas premium son costosas, y las económicas pueden sacrificar calidad.

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma, la Tabla N° 13 nos muestra una comparación entre los PLC de Siemens y los PLC de Allen-Bradley, Mitsubishi, Delta y Omron.

Tabla N° 13: Comparativa con marcas específicas

Marca	Ventajas de Siemens frente a la competencia
Allen-Bradley	Siemens ofrece un costo inicial más bajo y herramientas más intuitivas (TIA Portal vs. RSLogix).
Mitsubishi	Mayor soporte técnico global y conectividad más robusta.
Delta	Mejor calidad de hardware, durabilidad y opciones avanzadas como Profinet integrado.
Omron	Siemens tiene una gama más amplia de modelos, mayor flexibilidad en expansión, y software unificado.

Fuente: Elaboración propia.

Por los conceptos expuestos es que se ha preferido la marca Siemens donde se puede destacar su confiabilidad, escalabilidad, facilidad de integración y soporte técnico. A pesar de que otras marcas del mercado pueden brindar precios más bajos, Siemens brinda un adecuado equilibrio entre calidad, funcionalidad y ahorro a largo plazo, debido a lo cual pasa a ser la mejor opción del mercado garantizando el éxito de la automatización de la máquina inyectora de plásticos.

También debemos tener en cuenta, que Siemens ofrece varios modelos de PLC dentro de los que se destacan para la automatización de máquinas inyectoras los modelos S7-1200 y el S7-1500. Con la finalidad de tomar la mejor decisión se realiza una comparación entre ambos modelos la cual se muestra en la

Luego de analizar la comparación realizada podemos afirmar que el Siemens S7-1200 representa la mejora alternativa para llevar a cabo el presente proyecto debido a su menor costo, diseño compacto, etc las cuales cubren los requerimientos necesarios para la automatización de la máquina inyectora. Aunque el S7-1500 ofrece mayor potencia y escalabilidad, estas capacidades no son necesarias en este caso, lo que justifica la elección del S7-1200.

Tabla N° 14.

Luego de analizar la comparación realizada podemos afirmar que el Siemens S7-1200 representa la mejora alternativa para llevar a cabo el presente proyecto debido a su menor costo, diseño compacto, etc las cuales cubren los requerimientos necesarios para la automatización de la máquina inyectora. Aunque el S7-1500 ofrece mayor potencia y escalabilidad, estas capacidades no son necesarias en este caso, lo que justifica la elección del S7-1200.

Tabla N° 14: Comparación entre Siemens S7-1200 y S7-1500

Criterio	Siemens S7-1200	Siemens S7-1500	Decisión
Costo inicial	Más económico, ideal para proyectos medianos o pequeños.	Más costoso debido a mayores capacidades y rendimiento.	S7-1200: Adecuado para máquinas inyectoras estándar con presupuesto ajustado.
Rendimiento del procesador	Suficiente para aplicaciones de mediana complejidad.	Procesador más rápido y potente, ideal para aplicaciones avanzadas.	S7-1200: La máquina inyectora no requiere la potencia extra del S7-1500.
Escalabilidad	Modular, pero limitado en comparación con el S7-1500.	Altamente escalable, soporta más módulos y mayor cantidad de I/O.	S7-1200: Escalabilidad suficiente para la mayoría de las máquinas inyectoras.
Conectividad	Ethernet integrado, compatible con Profinet y Modbus TCP.	Compatibilidad con más protocolos y mayor capacidad de comunicación simultánea.	S7-1200: Ofrece las conexiones necesarias para este proyecto.
Entradas/Salidas (I/O)	Admite un rango moderado de I/O: hasta 284 digitales y 23 analógicas (con expansiones).	Admite un mayor número de I/O: hasta 4096 digitales y 1024 analógicas.	S7-1200: Las necesidades de la máquina inyectora son cubiertas fácilmente.
Software	Programable con TIA Portal. Funcionalidad completa, aunque más básica.	Programable con TIA Portal, incluye herramientas avanzadas como monitorización en tiempo real.	S7-1200: Herramientas básicas son suficientes para esta aplicación.
Tamaño físico	Compacto, ideal para espacios reducidos.	Más grande, requiere armarios eléctricos más amplios.	S7-1200: Perfecto para ahorrar espacio en el tablero eléctrico.
Capacidad de diagnóstico	Diagnósticos básicos integrados.	Diagnósticos avanzados, con pantalla integrada para mensajes y análisis.	S7-1200: Diagnósticos básicos son suficientes para mantenimiento.
Funciones avanzadas	Incluye control PID, temporizadores y contadores básicos.	Control PID avanzado, soporte para simulaciones y pruebas integradas.	S7-1200: Proporciona las funciones avanzadas necesarias para la máquina.
Consumo energético	Más eficiente en términos de consumo eléctrico.	Mayor consumo debido a su capacidad superior.	S7-1200: Ideal para optimizar el consumo energético.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Automatización Con PLC S7-1200.

En este punto, se realiza la automatización de la máquina inyectora haciendo uso del PLC Siemens S7-1200 debido a sus características ventajosas detalladas. Se hace uso del software

TIA Portal el cual es un entorno de ingeniería brindado por la empresa Siemens que unifica las herramientas necesarias para la configuración, programación, diagnóstico y mantenimiento de sistemas de automatización industrial.

El TIA Portal admite la programación en una sola plataforma de PLC, dispositivos de entrada/salida, HMI (Interfaz Humano-Máquina) y redes de comunicación. Su popularidad es debida a su sencillez de uso, buen trabajo y capacidad de hacer más simple el desarrollo de proyectos de automatización en el campo industrial.



Figura N° 53: Software TIA Portal.

Fuente: Siemens siemens.com

3.1.2.1. Código de Automatización en Ladder.

El realizar una automatización haciendo uso de Ladder Logic (lenguaje de programación tipo escalera) brinda una perspectiva común en la programación de Controladores Lógicos Programables (PLC). Para Ladder Logic, la programación se realiza haciendo uso de una representación gráfica de circuitos eléctricos, con contactos y bobinas que representan a los componentes de un diagrama de circuito eléctrico. Esto permite un fácil entendimiento por parte de los ingenieros eléctricos y técnicos lo que facilita el diseño de programas y realizar un rápido control.

En la programación con Ladder, podemos notar que los contactos considerados simulan las condiciones (como sensores o interruptores) así como también las bobinas simularán las acciones (como motores o válvulas) los cuales deben considerarse como respuesta a esas condiciones. El uso del Ladder Logic proporciona ciertas ventajas siendo una de las principales la familiaridad para los electricistas, así como el permitir identificar problemas con relativa facilidad con tan solo visualizar el programa como un diagrama de circuito.

En la programación propuesta en base a Ladder se deben cumplir los siguientes pasos establecidos que se muestran en la Figura N° 54. Así también, resaltamos el hecho de que la secuencia de programación realizada considera como material de trabajo el polietileno tereftalato (PET) por ser uno de los materiales mayoritariamente utilizado en los procesos de inyección debido a lo cual se ha considerado mantener un rango de temperatura entre los 270 °C y 280 °C ya que es a esta temperatura que se logra el punto de fusión del material.

▶	Network 1:	Inicio elegir modo de trabajo.
▶	Network 2:	Automatico-Llenado del plastico.
▶	Network 3:	Automatico-Activacion del tornillo sin fin.
▶	Network 4:	Automatico-Tener el valor real de lectura del sensor de temperatura.
▶	Network 5:	Automatico- Que la temperatura de la resistencia sea la correcta.
▶	Network 6:	Automatico- Que se cumpla que la temperatura sea la adecuada.
▶	Network 7:	Automatico-Comprobar que el molde esta en pocision inicial.
▶	Network 8:	Automatico-Reset de lo anteriormente activado para volverlo a usar (Loop).
▶	Network 9:	Automatico-Molde listo para el llenado del plastico.
▶	Network 10:	Automatico-Comprobar que el tornillo esta en pocision inicial.
▶	Network 11:	Automatico-Posicion inyeccion de plastico.
▶	Network 12:	Automatico-Tener el valor real de lectura del sensor de Presion.
▶	Network 13:	Automatico- Parar la inyeccion segun la presion en el molde y regreso del husillo.
▶	Network 14:	Automatico- Parar regreso cuando husillo este en posicion inicial.
▶	Network 15:	Automatico-Esperar un tiempo para regresar el molde a posicion inicial y tambien para que se reanude (Lo...
▶	Network 16:	Automatico- Contador de numero de piezas procesadas
▶	Network 17:	Manual- Elegir que activar.

Figura N° 54: Secuencia en programación Ladder.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo propuesto, detallamos la función que se realiza en cada una de las etapas denominadas Network según el programa utilizado para lo cual definimos los nombres de las variables con ayuda de la Tabla N° 15.

Tabla N° 15: Designación de variables.

M_1	Motor de Husillo
M_21	Acción de retroceso (Molde)
M_22	Acción de avance (Molde)
M_31	Acción de retroceso (Husillo)
M_32	Acción de avance (Husillo)
M_4	Compuerta de llenado de material
M_5	Resistencia de la maquina

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma se deben definir las entradas y salidas que se han de considerar en la programación Ladder las cuales se detallan en la Tabla N° 16.

Tabla N° 16: Entradas y Salidas Ladder.

Numero	Entradas	Salidas
1	Start	M_1
2	Stop_G	M_21
3	Sensor_N1	M_22
4	Sensor_N2	M_31
5	P_20	M_32
6	P_21	M_4
7	P_30	M_5
8	P_31	Botador_pieza
9	Manual	
10	Automático	
11	Tornillo_Sfin	
12	Posición_llenado_molde	Memorias
13	Posición_inicial_molde	S_1
14	Inyección_P	S_2
15	Retiro_husillo	S_3
16	Llenado_pet	Temml
17	Resistencia	Temmm2

Fuente: Elaboración propia.

Network 1: Realiza la activación del programa por medio *Start* y se logra el enclavamiento con la activación de *S1* o *S3*. Seguidamente se considera la función *Stop G*, que tal como se puede apreciar su condición normal es la de Cerrado de tal forma que cuando se le activa pasa a la condición de Abierto logrando con ello detener todo el proceso. Seguidamente se

tiene la opción de seleccionar un funcionamiento Automático activado por *S1* o un funcionamiento Manual el cual se logra con la activación de *S3* (secuencia que se detalla en Network 16). Hacemos notar que para la activación del modo automático se contempla la condición de que el molde respectivo se encuentre montado en la máquina.

Network 2: Esta línea se activará si elegimos el modo automático, ya que nuestra condición de inicio es el *S1* (activo). Paso seguido se comprueba la lectura del *Sensor N1*, el cual de no detectar material (lo que indicaría que la tolva está vacía) dará pase a la apertura de la compuerta del contenedor de PET permitiendo su pase hacia la tolva de material de la máquina hasta alcanzar el nivel adecuado el cual se controla por medio del *Sensor N2*. Al activarse el *Sensor N2* se tiene la condición de tolva llena y por lo tanto se pasa al cierre de la compuerta.

Network 3: De igual forma que en el paso anterior se tiene que la condición de inicio la da *S1* quien produce la activación de *M1*, es decir el encendido del motor del husillo.

Network 4: Al igual que el anterior se tiene que la condición de inicio es el *S1* quien produce el normalizado y escalado del valor del sensor de temperatura (IW64). El sensor de temperatura con transmisor es capaz de enviar esta señal a una salida (corriente).

Network 5: La condición de activación es el *S1* seguido de un *Temmm1* que es normalmente cerrado y este deja activar el *M5* que controla las resistencias eléctricas de la máquina inyectora. Seguidamente se tiene una comparación del valor real obtenido del escalado luego de lo cual si el resultado es mayor a 280 °C se activará el *Temmm1* que pasa de estar cerrado a un estado abierto quedando enclavado y provocando la desactivación de *M5*, es decir el apagado de las resistencias eléctricas. Simultáneamente, la última línea realiza la comparación del valor mínimo de temperatura que corresponde a 270 °C, por lo que vez que detecta un valor menor a este realiza la activación del *Temmm2*, lo cual vuelve a activar *M5* logrando con ello el encendido de las resistencias eléctricas.

Network 6: Al igual que en las etapas anteriores, el proceso se activa con *S1* logrando con ello la comparación real del parámetro de temperatura deseado, es decir, asegurar un valor mayor a 269 °C y menor a 281 °C con lo que se activará *S2*.

Network 7: En esta etapa se debe cumplir que S2 este activo y que P20 y M22 no estén activos para que se Active M21. Esto permite realizar una comprobación de que el husillo está en la posición inicial como se puede apreciar en la Figura N° 55.

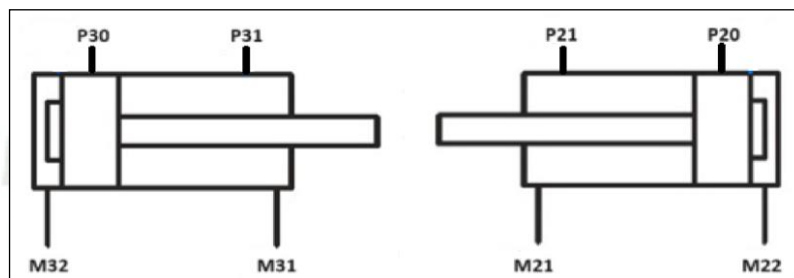


Figura N° 55: Actuadores del Husillo y el Molde.

Fuente: Elaboración propia.

Network 8: Cuando P20 está activo se tiene que el molde está abierto y por lo tanto se desactiva M21 y S2.

Network 9: Tenemos como condición que P20 este activo y este acciona M22 con lo que se logra el enclavamiento de P20.

Network 10: Se tiene que cumplir que la condición P21 este activo (posición del molde cerrado) y que P30 y M32 no estén activos para que se active M31 (comprobación de que el husillo está en la posición inicial).

Network 11: Tenemos como condición que P30 este activo y este a su vez activa M32 logrando el enclavamiento de P30 ocasionando el desplazamiento del husillo dando inicio a la inyección.

Network 12: Se debe tener S1 activo luego de lo cual se lleva a cabo el normalizado y escalado del valor de salida del sensor de presión (IW66), obteniendo directamente su valor de salida (corriente).

Network 13: Por medio del comparador se define si la presión del interior del molde es la deseada (mayor o igual a 80 bar) con lo cual se procede a desactivar M32 y a su vez activar M31 el cual queda enclavado dando inicio al retiro del husillo.

Network 14: La condición inicial es que P30 este activo (posición inicial del husillo) con lo cual se desactivara M31.

Network 15: La condición inicial es que P30 este activado seguido de un TON (tiempo de enfriamiento de la pieza) el cual retrasa la activación de M21 (apertura del molde), en la siguiente línea tenemos otro TON (tiempo de enfriamiento más el tiempo de quitado de la pieza) que activa el botador de la pieza y a su vez retrasa la activación del S2 con lo que se genera la repetición del proceso.

Network 16: En esta línea de código se considera un contador ascendente que permitirá contar la cantidad exacta de repeticiones necesarias del proceso.

Network 17: Tenemos como condición que S3 este activo (modo manual elegido) lo que permitirá activar cada una de las etapas del proceso de forma independiente lo que puede facilitar la comprobación del correcto funcionamiento de cada una de estas etapas.

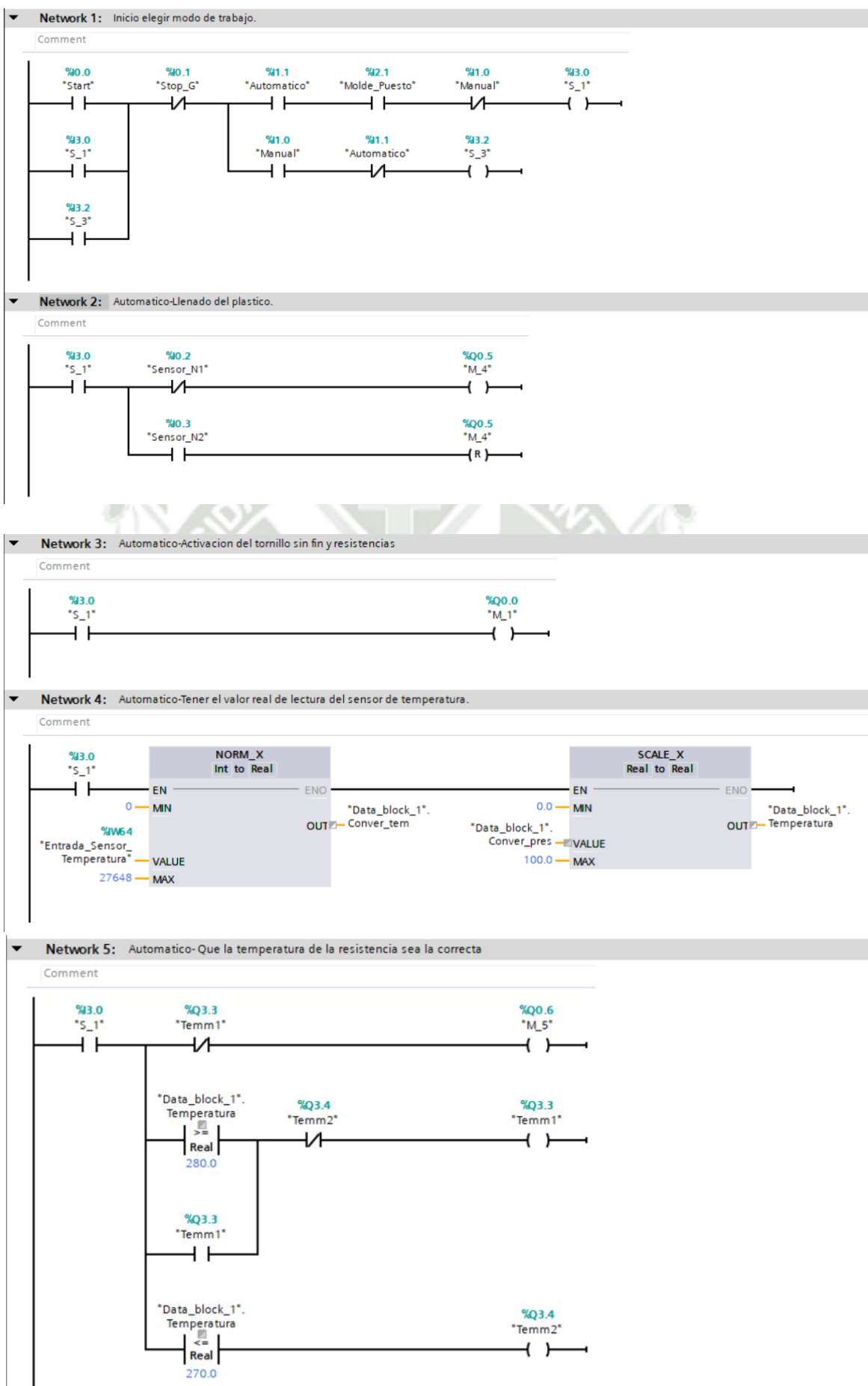
Los componentes considerados para la automatización de la máquina inyectora se detallan en la Tabla N° 17.

Tabla N° 17: Componentes considerados en la automatización.

Item	Componentes	Descripción
1	PLC Siemens S7-1200	Controlador programable para automatización industrial.
2	HMI Basic Ktp400 o Pulsadores	Interfaz hombre-máquina para automatización.
3	Sensor PT100	Sensor de temperatura resistivo.
4	Transmisor S. Temp.	Dispositivo que nos ayuda para medir temperatura (la salida del sensor sea de 4 a 20mA).
5	Sensor 2000.40.118	Sensor de presión. (salida de 4 a 20mA)

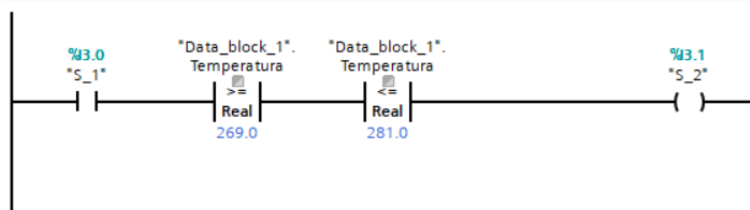
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, presentamos el código Ladder que se indica para la automatización de la máquina inyectora.

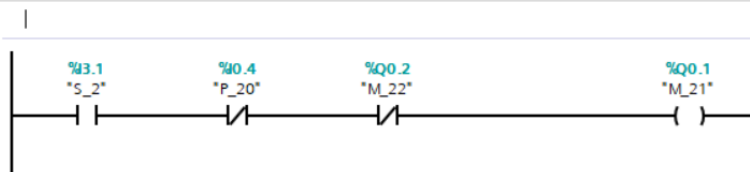


▼ **Network 6:** Automatico-Que se cumpla que la temperatura sea la adecuada.

Comment

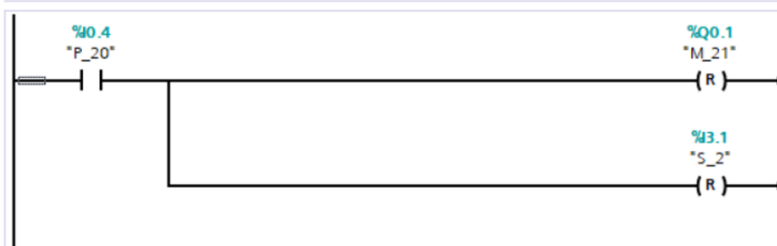


▼ **Network 7:** Automatico-Comprobar que el molde esta en pocision inicial.



▼ **Network 8:** Automatico-Reset de lo anteriormente activado para volverlo a usar (Loop)

Comment



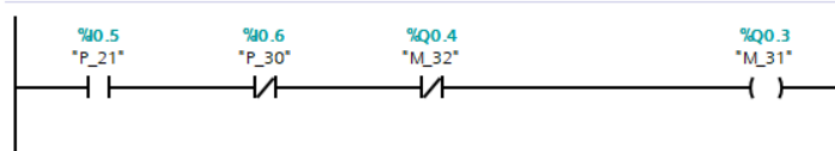
▼ **Network 9:** Automatico-Molde listo para el llenado del plastico

Comment



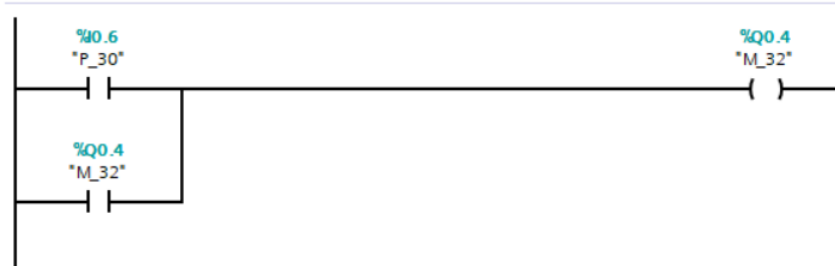
▼ **Network 10:** Automatico-Comprobar que el tornillo esta en pocision inicial

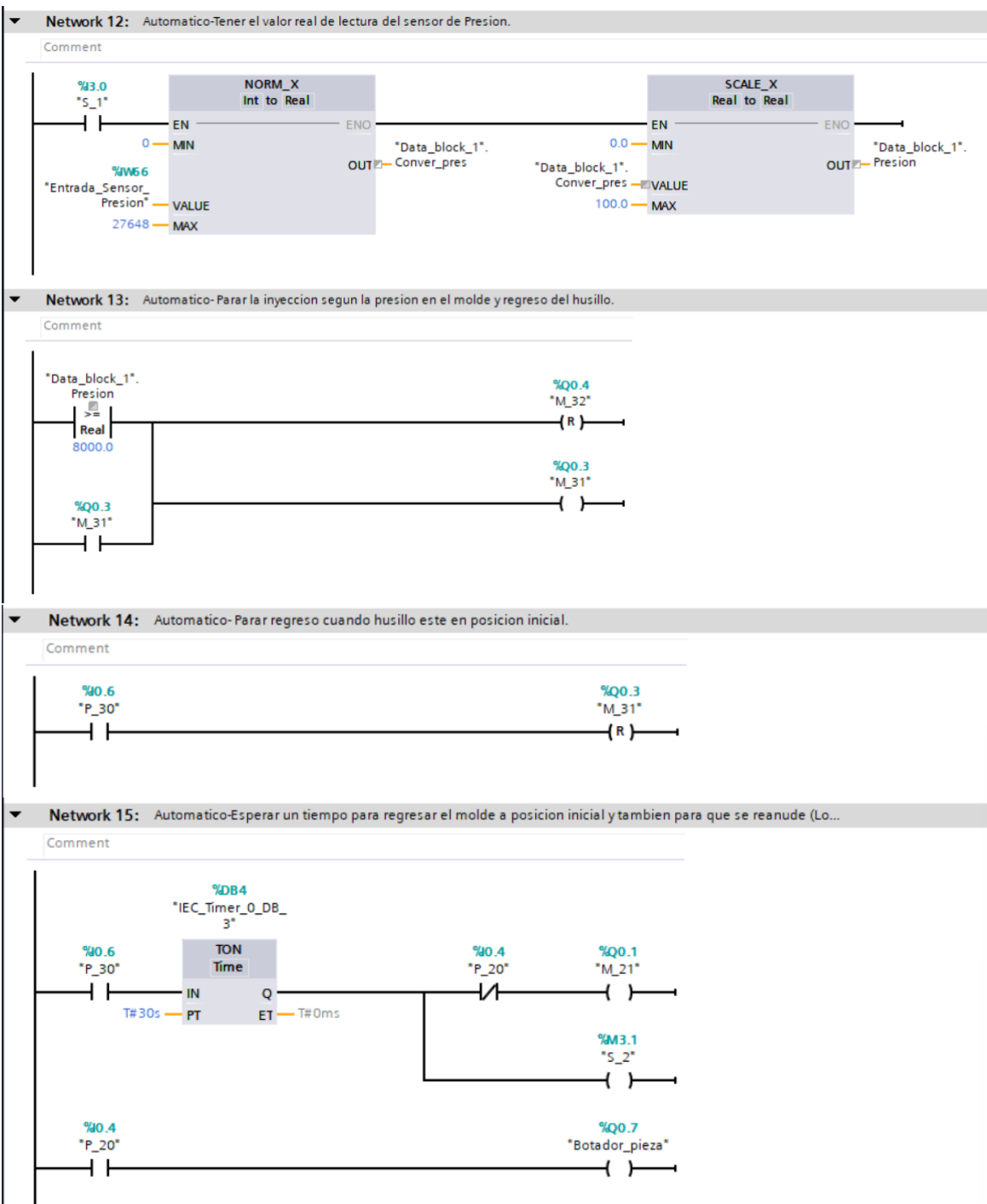
Comment

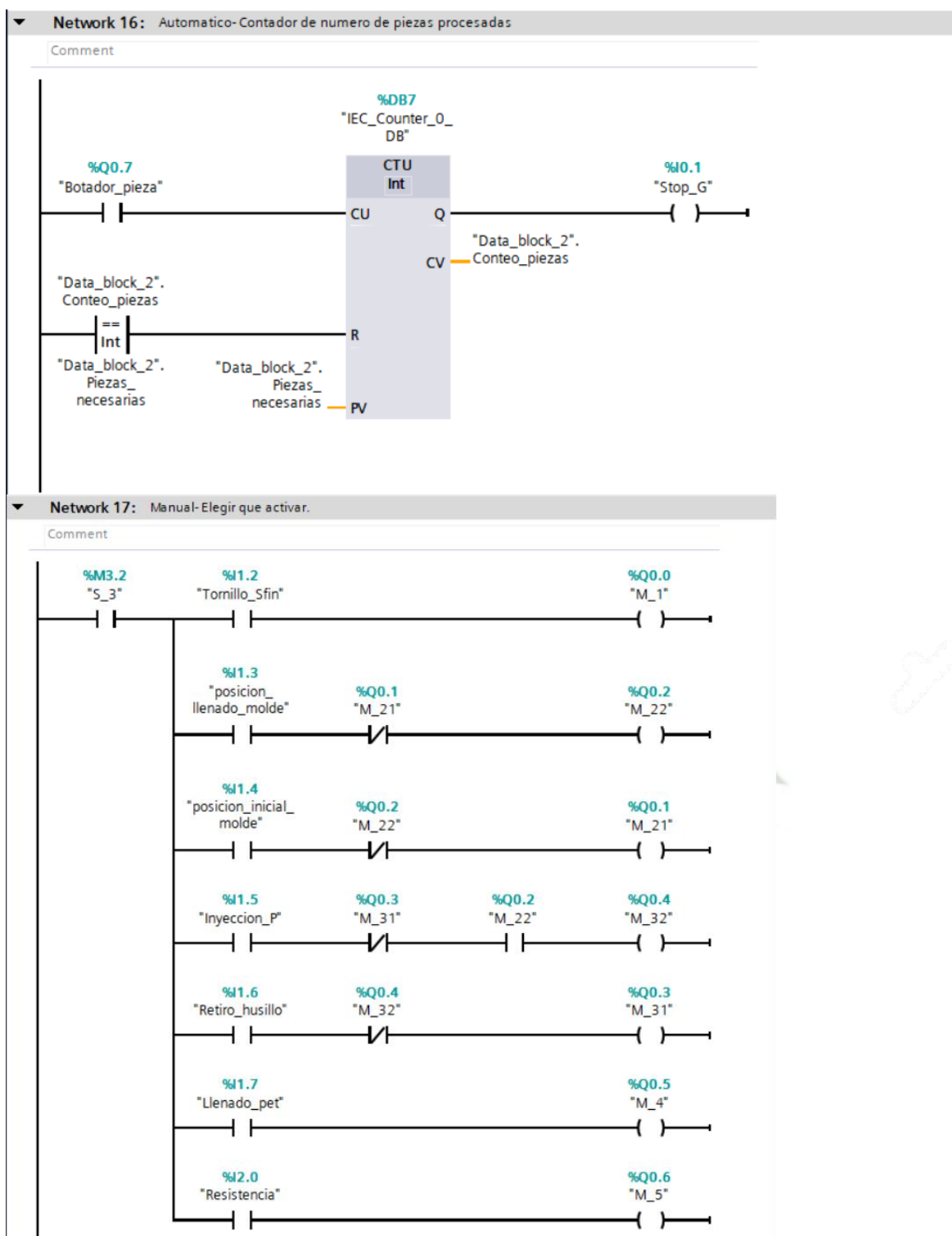


▼ **Network 11:** Automatico-Posicion inyeccion de platico

Comment







3.1.3. Selección de HMI.

La selección de un HMI de Siemens para llevar a cabo la automatización de una máquina inyectora de plásticos se base en los siguientes criterios relevantes:

- Siemens es un referente a nivel mundial para la automatización industrial y brinda HMIs de calidad superior y fabricación robusta lo que los hace ideales para el trabajo en entornos complicados.
- Los HMIs de Siemens están diseñados para resistir condiciones adversas asegurando un buen desempeño.
- Se integran fácilmente con los PLC de la marca como es el caso del S7-1200 lo que ayuda a reducir tiempos de configuración asegurando una comunicación rápida y segura.
- Hacen uso del mismo software para la programación, TIA Portal ayudando al desarrollo y mantenimiento completo.
- Se hace uso del protocolo Profinet para comunicar el PLC con el HMI obteniendo alta velocidad y estabilidad.
- Con los HMIs de Siemens se pueden diseñar pantallas interactivas con gráficos avanzados y fáciles de usar, facilitando la labor del operador.
- Presentan herramientas avanzadas para visualizar y gestionar alarmas, lo que resulta de suma importancia para el control de variable de temperatura, presión, etc. cruciales en la automatización de la máquina inyectora.
- Grado de seguridad importante ya que presenta diferentes niveles de acceso con lo cual solo el personal autorizado podrá modificar los parámetros establecidos.
- Capacitación disponible para la preparación técnica en el uso del HMI y TIA Portal asegurando personal calificado en la empresa.
- Si bien tienen un costo inicial mayor respecto a otras marcas como Delta o Kinco, su robustez permite tener menor costo de mantenimiento justificando la inversión a largo plazo así como también permite reducir costo gracias a su integración nativa con los PLC Siemens evitando gastos de adaptadores, licencias o interfaces.

La Tabla N° 18 muestra las principales ventajas técnicas frente a otras marcas:

Tabla N° 18: Ventajas técnicas del HMI frente a otras marcas

Marca	HMI Siemens	Otras marcas
Software unificado	TIA Portal para configuración de HMI y PLC.	Software separado para HMI y PLC, aumentando complejidad.
Conectividad	Compatible con Profinet, Modbus TCP/IP y OPC UA.	Conectividad limitada o dependiente de módulos adicionales.
Velocidad de respuesta	Interfaces rápidas y eficientes con bajo tiempo de latencia.	Algunas marcas económicas pueden presentar retrasos en la actualización de datos.
Funciones avanzadas	Admite alarmas dinámicas, gráficos avanzados, y gestión de usuarios.	Funciones básicas en modelos de gama baja.
Pantallas de calidad	Alta resolución y tecnología táctil capacitiva.	Pantallas resistivas o de menor calidad en marcas económicas.

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma, la Tabla N° 19 muestra la comparación con marcas como Allen-Bradley, Mitsubishi, Delta, Kinco y Omron.

Tabla N° 19: Comparativa con marcas específicas

Marca	Ventajas de Siemens frente a la competencia
Allen-Bradley	Siemens ofrece un software más intuitivo (TIA Portal) y mejor relación costo-beneficio.
Mitsubishi	Mayor conectividad y compatibilidad con estándares globales como OPC UA y Profinet.
Delta	Mayor durabilidad y soporte técnico superior.
Kinco	Siemens tiene mejor calidad de pantalla, mayor confiabilidad, y soporte técnico robusto.
Omron	Siemens ofrece integración más sencilla con PLCs y mejor soporte para gráficos avanzados.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, podemos ver que la elección de un HMI Siemens resulta adecuada debido a su integración nativa con PLC Siemens, mayor calidad, funciones avanzadas y soporte técnico a nivel mundial. Si bien es cierto que su costo inicial es mayor debemos tener claro que se tendrá una solución confiable, eficiente y rentable a largo plazo, garantizando las exigencias de la automatización y asegurando la operatividad de la máquina inyectora.

3.1.4. Selección de Sensor de Temperatura.

Para la presente automatización se ha seleccionado un sensor de temperatura PT100 debido a los siguientes conceptos.

- El sensor PT100 es un termorresistor de platino el cual brinda una muy buena precisión en la toma de lecturas de la temperatura brindando una tolerancia de ± 0.15 °C en versiones Clase A según la norma IEC 60751. Dicha característica resulta de suma importancia en la automatización de la máquina inyectora debido a que se debe garantizar un control exacto de la temperatura garantizando con ello la calidad del plástico fundido evitando con ello defectos en las piezas fabricadas.
- El diseño adecuado y robusto del PT100 asegura mediciones confiables durante años.
- El PT100 tiene un gran rango de mediciones que van desde los -200 °C hasta 600 °C, lo que permite controlar zonas críticas como la temperatura del cañón, las resistencias eléctricas y la punta de inyección.
- El PT100 presenta una alta linealidad de la señal lo cual facilita su integración con el PLC Siemens S7-1200, el cual puede descifrar de forma directa la señal analógica brindada por el sensor (4-20 mA o 0-10 V mediante un transmisor adicional si es necesario).
- El PT100 es altamente resistente a la corrosión gracias a estar fabricado con platino lo que le permite operar en medios altamente agresivos que se suelen presentar en los procesos industriales.
- El diseño del PT100 permite la toma de temperatura de forma precisa a pesar de las vibraciones que puede presentar la máquina inyectora.
- El PT100 puede conectarse de forma directa a módulos de entrada analógica del PLC Siemens S7-1200, como el SM 1231 AI, con lo cual se puede prescindir de interfaces complejas o equipos adicionales. Además su integración con el PLC S7-1200 por medio del software TIA Portal se efectúa de forma sencilla facilitando la calibración y el procesamiento de datos.
- El posible mayor costo inicial del sensor se ve compensado con su mayor vida útil y menor requerimiento de recalibración.

La Tabla N° 20 muestra una comparación entre el PT100 y otros sensores presentes en el mercado.

Tabla N° 20: Comparación con otros sensores de temperatura

Tipo de sensor	Ventajas del PT100 frente a otros sensores
Termopares (Tipo K, J)	El PT100 ofrece mayor precisión y estabilidad en rangos de temperatura típicos de máquinas inyectoras (0-300 °C).
NTC/RTD de menor calidad	Mejor linealidad y mayor durabilidad; las opciones económicas tienden a degradarse más rápido.
Sensores infrarrojos	Aunque no contactan físicamente, son más costosos y menos precisos en ambientes industriales con alta radiación o vibración.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que el sensor PT100 resulta ser una óptima elección para la automatización de la máquina inyectora ya que brinda una alta precisión, estabilidad a largo plazo, robustez, y facilidad de integración con PLC Siemens S7-1200. La relación costo-beneficio y su capacidad para operar con temperaturas industriales críticas terminan de determinar la correcta elección.

3.1.5. Selección de Transmisor de Temperatura.

Como complemento al sensor de temperatura PT100 se ha seleccionado el transmisor TH100 de Siemens basándonos en los siguientes argumentos:

- El TH100 está diseñado específicamente para trabajar con sensores RTD como el PT100. Cambia la señal de resistencia variable del sensor en una señal estándar analógica (4-20 mA), lo que permite una transmisión a largas distancias sin pérdida de precisión.
- Al convertir la señal en un bucle de corriente, se logra eliminar los problemas de interferencias electromagnéticas.
- El TH100 convierte la señal del PT100 a un formato estándar (4-20 mA) que puede conectarse directamente a un módulo de entrada analógica del PLC Siemens S7-1200, como el SM 1231 AI, sin necesidad de dispositivos intermedios.
- El TH100 es totalmente compatible con la plataforma de programación de Siemens, permitiendo una configuración rápida y sin complicaciones.

- El sensor presenta una precisión de conversión de ± 0.2 °C, con lo que se puede asegurar que la señal digital enviada al PLC indique de forma precisa la temperatura medida por el PT100.
- El diseño compacto que presenta permite instalarlo directamente sobre el PT100 lo que permite ahorrar espacio y simplifica la instalación.
- El TH100 nos permite un monitoreo exacto de las temperaturas críticas, lo que asegura una fabricación de las piezas sin defectos.
- Asegura que las zonas de enfriamiento operen dentro de los parámetros seguros evitando con ello que se presenten deformaciones en las piezas fabricadas.
- El TH100 cumple con las normativas internacionales de calidad y seguridad, como IEC 60751 y NAMUR, con lo que asegura su desempeño adecuado en medios industriales críticos.

La Tabla N° 21 muestra una comparación con otros transmisores.

Tabla N° 21: Comparación con otros transmisores

Criterio	Siemens TH100	Otros transmisores (Rosemount, WIKA, Endress+Hauser)
Compatibilidad	Diseñado específicamente para sensores PT100.	Algunos modelos requieren ajustes adicionales para RTD.
Señal de salida	4-20 mA estándar, óptima para PLC Siemens.	Compatible, pero puede requerir más configuración.
Costo inicial	Más asequible comparado con marcas premium.	Algunos modelos son significativamente más costosos.
Facilidad de instalación	Montaje directo, simplificando la instalación.	Dependiendo del diseño, algunos requieren adaptadores.
Documentación y soporte	Amplio soporte técnico de Siemens.	Puede ser limitado o específico según el proveedor.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, podemos afirmar que la elección del transmisor TH100 de Siemens es adecuada debido a su alta precisión, robustez, integración perfecta con el sensor PT100 y el PLC Siemens S7-1200, y su confiabilidad para asegurar una señal adecuada en ambientes industriales agresivos. Su tamaño pequeño permite su fácil montaje y relación costo-beneficio resulta adecuada para el proyecto de automatización de la máquina inyectora.

3.1.6. Selección de Sensor de Presión.

Para la automatización de la máquina inyectora se ha seleccionado el sensor de presión 2000.40.118 bajo los siguientes criterios:

- El sensor 2000.40.118 alcanza una precisión del $\pm 0.25\%$, rango adecuado para asegurar la calidad de las piezas fabricadas.
- El sensor presenta muy buena estabilidad a largo plazo lo que asegura lecturas confiables a lo largo de varios años.
- El sensor 2000.40.118 se encuentra con varios rangos de medición, normalmente entre 0 y 100 bar, lo que resulta adecuado para controlar el sistema de accionamiento del husillo, así como también asegurar una inyección uniforme y evitando defectos como rebabas o deformaciones.
- El rango que presenta este sensor se adecua perfectamente a los requerimientos de automatización de la máquina inyectora.
- El sensor convierte la presión medida en una señal analógica robusta (4-20 mA), compatible directamente con el módulo de entrada analógica del PLC Siemens S7-1200, como el SM 1231 AI.
- La ventaja de 4-20 mA es que resulta adecuado para ambientes con alto nivel de interferencia electromagnética y a su vez permite transmitir la señal a largas distancias sin perjudicar la calidad de esta.
- Se hace uso de acero inoxidable para la fabricación del sensor, lo que lo convierte en resistente a la corrosión, abrasión y condiciones límites como altas temperaturas y ambientes húmedos, características comunes a los espacios donde suelen funcionar las máquinas inyectoras.
- El sensor también se encuentra protegido contra vibraciones y choques los cuales no afectan el correcto funcionamiento de este y cuenta con una protección IP65/IP67, lo que lo convierte en resistente al polvo y al agua, con lo que se garantiza un desempeño confiable y continuo.
- Tiene una integración directa con el PLC Siemens S7-1200 gracias a su señal estándar de 4-20 mA lo que facilita su conexión sin adaptadores o elementos adicionales lo que contribuye a reducir los costos y la complejidad.

- Se le puede configurar fácilmente en TIA Portal simplificando la calibración y parametrización.
- A pesar de no tener un costo competitivo tiene a su favor una combinación superior de precisión, robustez, durabilidad y confiabilidad lo que reduce notoriamente la inactividad por fallas y el mantenimiento necesario o reemplazo frecuente todo lo cual ayuda a compensar el costo inicial.
- La aplicación del sensor 2000.40.118 permite controlar y ajustar la presión del sistema que acciona el husillo asegurando el correcto cumplimiento de cada ciclo de inyección. Así también, garantiza que la presión del molde se mantenga en los rangos estipulados con lo que se asegura una correcta distribución del material en el molde evitando fallas en las piezas fabricadas.

La Tabla N° 22 nos brinda una comparación con otros sensores de presión.

Tabla N° 22: Comparación con otros sensores de presión

Criterio	Sensor 2000.40.118	Otros sensores (WIKA, Danfoss, Omega, etc.)
Precisión	±0.25% del rango de medición.	Algunos modelos económicos tienen precisiones inferiores (±1%).
Rango de medición	Rango configurable hasta 100 bar.	Varía, pero no siempre hay opciones optimizadas para máquinas inyectoras.
Robustez	Resistente a vibraciones y corrosión (acero inoxidable).	Algunos sensores económicos no resisten condiciones industriales severas.
Señal de salida	4-20 mA estándar, ideal para entornos industriales.	Algunos modelos ofrecen señales menos robustas como 0-10 V.
Protección	Clasificación IP65/IP67 para entornos adversos.	Puede variar, con menor resistencia al agua o polvo en opciones económicas.

Fuente: Elaboración propia.

Como ejemplo de cálculo práctico tomamos el rango de medición del sensor entre 0-100 bar y la señal de salida de 4-20 mA, con ello la relación presión-corriente se calcula como:

$$Relación = \frac{Rango\ de\ presión}{Rango\ de\ señal} = \frac{100\ bar}{16\ mA} = 6.25\ bar/mA$$

Para una señal de 12 mA (presión media)

$$Presión = (12 - 4) \text{mA} \times 6.25 \text{ bar/mA} = 50 \text{ bar}$$

Con ello, el PLC es capaz de interpretar la presión medida en tiempo real y activar alarmas o realizar ajustes en caso de variaciones.

De acuerdo con lo detallado, podemos confirmar que la selección del de presión 2000.40.118 es adecuada gracias a su alta precisión, robustez, compatibilidad con el PLC Siemens S7-1200, y su capacidad para trabajar en medios industriales agresivos. Presenta un diseño resistente, señal de salida estándar y excelente relación costo-beneficio lo que garantiza un desempeño adecuado y confiable con un gasto razonable en la automatización de la máquina inyectora.

3.1.7. Aplicación de la Norma IEC 61131.

La automatización de la máquina inyectora con el PLC Siemens S7-1200 toma en cuenta los principios establecidos en dicha norma la cual brinda un marco estandarizado para el diseño, programación y operación.

La IEC establece las bases para el lenguaje de programación utilizado, que en nuestro caso ha sido el Ladder Diagram (LD), con lo cual se facilita la programación de las operaciones complejas de la máquina inyectora. Así también permite establecer comandos con la finalidad de establecer funciones avanzadas como son los ciclos de inyección, calentamiento del material, presión de inyección, tiempo de enfriamiento, etc. De igual forma, garantiza que el uso del PLC Siemens S7-1200 no generará conflicto alguno al conectarse con sensores, actuadores y cualquier dispositivo de comunicación con protocolos industriales tales como Profinet o Modbus TCP/IP.

El proceso de inyección consta de etapas críticas como son el calentamiento del material en el cañón, inyección del material, enfriamiento y solidificación de la pieza, apertura del molde y expulsión de la pieza fabricada. Cada una de estas etapas requiere el control preciso de variables como son la posición del husillo, la temperatura, la presión de inyección y el tiempo de cada ciclo.

Para este proceso de inyección se vio por adecuado la selección del PLC Siemens S7-1200 debido a su compatibilidad con la norma IEC 61131, el soporte para varios lenguajes de programación, su capacidad para comunicarse por medio de Profinet integrando de esta forma sensores y actuadores de diferentes fabricantes así como funciones integradas para el control de entradas/salidas analógicas y digitales que se requieren para llevar a cabo el control de las señales de los diversos sensores como son los de presión, temperatura, etc.

Los sensores de temperatura y presión se conectan al PLC por medio de módulos analógicos, en tanto que los actuadores eléctricos y válvulas hidráulicas se conectan por medio de salidas digitales del PLC. El protocolo Profinet permite la comunicación con sistemas Scada con lo que se logra un control de forma remota y una toma de datos en tiempo real.

En el presente trabajo se tuvieron en cuenta subrutinas las cuales se ocuparon de optimizar el tiempo de inyección, enfriamiento y expulsión con lo cual se logra reducir el tiempo de cada ciclo de inyección logrando con ello un aumento en la eficiencia operativa. A su vez, la programación modular permite efectuar cambios rápidos en los parámetros utilizados como son los de temperatura, tiempo de retardo, velocidad del husillo. Dichos cambios se podrán ajustar fácilmente desde la interfaz HMI Basic Ktp400 la cual se encuentra integrada con el PLC Siemens S7-1200.

Finalmente, podemos apreciar que la aplicación de la norma IEC 61131 en la automatización de la máquina inyectora con el PLC Siemens S7-1200 asegura la eficiencia, seguridad y flexibilidad del sistema. Esta norma junto a la tecnología de Siemens, a permitido diseñar una solución robusta y sostenible la cual cumple con los requerimientos de la empresa.

3.1.8. Aplicación de la Norma ECPI.

La norma ECPI (Electrical Code for Process Instrumentation) permite la realización de buenas prácticas y lineamientos técnicos en el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas eléctricos e instrumentación en la automatización de la máquina inyectora permitiendo la integración del PLC Siemens S7-1200 y la interfaz HMI Basic KTP400, asegurando seguridad, eficiencia y confiabilidad en el trabajo realizado.

La ECPI permite una correcta selección y configuración de componentes eléctricos y de instrumentación con lo que se garantiza la protección de los trabajadores y equipos frente a posibles fallas. Asegura una correcta instalación y cableado, así como una correcta

comunicación entre sensores, actuadores y sistemas de control. El cumplimiento de esta norma asegura los estándares internacionales como IEC y NFPA.

Según la ECPI, los sensores de temperatura y presión se conectan a entradas analógicas del PLC, los actuadores eléctricos e hidráulicos son controlados por salidas digitales del S7-1200, el cableado debe considerar la separación de señales de potencia y de control para minimizar las interferencias electromagnéticas, así como el uso de conectores estandarizados y etiquetas para facilitar el mantenimiento.

La integración de la HMI KTP400 con el PLC S7-1200 se realiza mediante Profinet. Los operadores pueden visualizar gráficos y ajustar los parámetros de temperatura, presión y tiempo directamente desde la interfaz. El sistema también contempla alarmas configuradas en el HMI las cuales son activadas por el PLC, dichas alarmas contemplan temperatura excesiva, presión elevada, falla en los actuadores.

La aplicación de la ECPI nos brinda diversas ventajas como de seguridad reduciendo los riesgos eléctricos y mecánicos, eficiencia operativa al reducir los tiempos muertos gracias a la configuración modular del PLC y la HMI, el uso Profinet y el cableado estandarizado permite adicionar nuevos dispositivos fácilmente y gracias a las indicaciones del ECPI se facilitan los trabajos y actualizaciones del sistema.

3.1.9. Aplicación de HAZOP.

La metodología Hazop (Hazard and Operability Study) nos permit identificar y analizar posibles riesgos y problemas de operatividad en el proceso de inyección con lo cual se garantizar la seguridad, confiabilidad y eficiencia del sistema automatizado, identificando desviaciones en las condiciones normales de operación y proponiendo medidas correctivas.

La aplicación de Hazop resulta importante en la identificación de fallas o condiciones inseguras durante la operación de la máquina, así como también asegura que la integración del PLC y la HMI no solo optimicen el proceso sino que también prevengan las fallas potenciales lo cual lo logra por medio de la implementación de medidas de control y alarmas las que permiten reducir el impacto de las desviaciones presentes.

Para la identificación de las desviaciones que pudieran presentarse en las diferentes etapas se hicieron uso de palabras claves como:

- NO: Ausencia de tensión eléctrica o falta de material.
- MENOS: Menor flujo de material.
- OTRO: Material equivocado.
- MENOS: Tiempo de calefacción.
- NO: No hay material en la tolva.

Al presentarse una falla, la identificación de causas se realiza mediante los errores de configuración del PLC y las posibles fallas de los sensores o líneas de comunicación entre el PLC y la HMI con lo que se definen las consecuencias como por ejemplo los defectos presentes en el producto final, daños en los equipos y máquina y peligros presentes para el personal.

Como medidas de control se proponen alarmas visuales y auditivas configuradas en el HMI KTP400, también se programaron enclavamientos de seguridad en el PLC S7-1200 los cuales detienen la operación ante condiciones que se encuentran fuera de los parámetros, se proponen duplicar sensores para el monitoreo de variables críticas como la temperatura y la presión.

Tabla N° 23: Análisis de Riesgos y Operatividad Hazop.

Riesgos y Operabilidad Hazop					
Palabra	Variable	Falla	Causa	Consecuencia	Correctivo
NO	Tensión eléctrica	No hay voltaje	Desenchufado	Paro de la máquina	Verificar conexión eléctrica
NO	Materia prima	No hay material en el cilindro o la tolva	Caso omiso al abastecimiento de material	Paro de la máquina por desabastecimiento	Llenado del cilindro o tolva en el momento adecuado
MENOS	Flujo	Menor cantidad de material	Bloqueo o desconexión del ducto. Mal funcionamiento de la compuerta	Paro de la máquina por desabastecimiento	Regular la salida de material de la tolva
MENOS	Tiempo	Menor tiempo de calentamiento del material	Daño en las resistencias eléctricas, Mala programación	Piezas defectuosas. Paro de la máquina	Verificar conexión eléctrica o cambio de resistencias defectuosas
OTRO	Material	Insumo errado para la fabricación	Suministro errado del material en la tolva	Pieza defectuosa. Paro por limpieza de la máquina	Indicar claramente las características de la pieza. Capacitar al personal.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla N° 23 muestra el análisis realizado para la automatización de la máquina inyectora de plástico donde se han utilizado las palabras guía adecuadas para las variables consideradas en el proceso las cuales pueden alterar el correcto funcionamiento esperado.

3.1.10. Mejoras Logradas con la Automatización.

Gracias a la automatización, se va a lograr un aumento significativo de la productividad esto debido a la reducción del tiempo que conlleva cada ciclo de trabajo, así como también la mejora de la calidad de la fabricación de cada pieza inyectada. También se hace notar la mejora de la eficiencia gracias al control detallado de las variables críticas del proceso logrando con ello una optimización en el uso de energía.

En cuanto a los costos operativos se podrá apreciar una considerable reducción esto debido a la reducción de los tiempos de inactividad, menor consumo de energía y un mantenimiento más eficiente lo cual contribuirá a un aumento sustancial en la capacidad productiva y reducción de desperdicios logrando con ello incrementar los márgenes de ganancia.

Con la finalidad de tener más claras las mejoras esperadas es que se formula la Tabla N° 24 en la cual se presentan las mejoras esperadas después de la automatización.

Tabla N° 24: Mejoras esperadas después de la automatización

Aspecto	Antes de la automatización		Mejora lograda
Tiempo de ciclo	48 segundos	30 segundos	Reducción del 37.5% en el tiempo de ciclo.
Producción por hora	75 ciclos/hora	120 ciclos/hora	Incremento del 60% en la capacidad productiva.
Defectos por lote	Alta variabilidad (5%)	Baja variabilidad (1%)	Reducción del 80% en productos defectuosos.
Consumo energético	Ineficiente, variabilidad alta	Optimizado, control preciso	Reducción estimada del 20% en consumo eléctrico.
Mantenimiento preventivo	Difícil de planificar	Predictivo basado en datos	Reducción del 30% en costos de mantenimiento.
Monitoreo de variables críticas	Manual y tardío	Automático en tiempo real	Reducción del tiempo de respuesta a fallos en un 50%.
Calidad del producto	Variaciones frecuentes	Control estable	Incremento en la calidad y consistencia del producto.
Tiempo de inactividad	10 horas/mes	5 horas/mes	Reducción del 50% en tiempo de inactividad.
Gestión de datos	No disponible	Registro y análisis continuo	Mejora en la toma de decisiones basada en datos.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA.

El diseño y análisis de la estructura metálica para la máquina inyectora mecánica Battenfeld SY – 1800 III responde a la necesidad de crear un soporte seguro y eficiente para la realización de operaciones específicas. La estructura será instalada directamente sobre la máquina, proporcionando un espacio adicional donde puedan operar dos personas y permitiendo el desplazamiento controlado de un cilindro desde el alimentador hacia la máquina.

El diseño y análisis se llevarán a cabo bajo los criterios del Código de Construcción LRFD (Load and Resistance Factor Design / Diseño con Factores de Carga y Resistencia) y ASD (Allowable Stress Design / Diseño por Esfuerzos Permisibles), garantizando así una solidez estructural que cumpla con los estándares más rigurosos. Así mismo, para un correcto entendimiento a continuación detallamos las principales variables utilizadas:

- C_V : Carga viva.
- C_M : Carga muerta.
- ϕ_t : Factor de resistencia en el metodo LRFD.
- Ω_t : Factor de seguridad en el metodo ASD.
- R_n : Resistencia nominal de un miembro.
- P_u : Fuerzas de las cargas factorizadas.
- P_a : Resultado de aplicacion de las combinaciones para el diseño ASD.
- P_n : Resistencia nominal de un miembro a tension.
- F_y : Esfuerzo minimo de fluencia.
- F_u : Esfuerzo minimo de tencion.
- A_g : Area bruta del miembro.
- A_e : Area neta efectiva que se supone resiste a la tension en la seccion.
- A_{gv} : Area total sujeta a cortante.
- A_{nv} : Area neta sujeta a cortante.
- A_{nt} : Area neta sujeta a tension.
- U_{bs} : Factor de reduccion.
- F_{cr} : Esfuerzo de pandeo a deflexion.

$$\frac{P_n}{\Omega_t} = \frac{F_y A_g}{\Omega_t} = \text{Resistencia permisible a la tencion por el metodo ASD.}$$

$$\frac{P_n}{\Omega_t} = \frac{F_u A_e}{\Omega_t} = \text{Resistencia permisible a la fractura por tension, metodo ASD.}$$

$$R_n = 0.6F_uA_{nv} + U_{bs}F_uA_{nt} \leq 0.6F_yA_{gv} + U_{bs}F_uA_{nt}$$

3.2.1. Área de Trabajo.

Si inicial el cálculo definiendo el área de trabajo a diseñar. Para ello, se hace uso del bosquejo mostrado en la Figura N° 56.

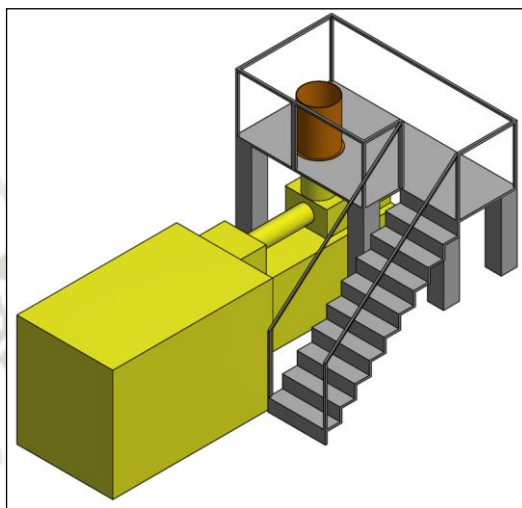


Figura N° 56: Bosquejo de la plataforma.
Fuente: elaboración propia

De igual forma, la Figura N° 57 muestra la vista superior de la estructura en la cual se puede apreciar la propuesta de uso de 6 columnas.

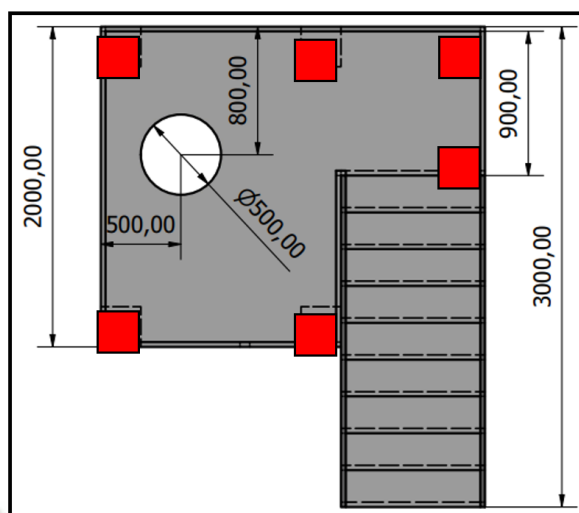


Figura N° 57: Vista superior de la plataforma.

Fuente: elaboración propia

$$Area = (2m * 1.5m) + (0.9 * 0.9) \quad Area = 3.81 m^2 \approx 41 ft^2$$

3.2.2. Diseño de Columnas.

Recordemos que las columnas son miembros cargados axialmente a compresión. Para este diseño hacemos uso de la Tabla N° 25 la cual nos muestra las cargas muertas típicas para materiales comunes.

Tabla N° 25: Cargas muertas típicas para algunos materiales comunes.

Concreto reforzado	150 lb/pie ³
Acero estructural	490 lb/pie ³
Concreto simple	145 lb/pie ³
Muros divisorios simples de acero	4 lb/pie ²
Emplaste sobre concreto	5 lb/pie ²
Cielo raso colgante	2 lb/pie ²
Filtro de 5 capas y grava	6 lb/pie ²
Piso de madera dura (7/8 plg)	4 lb/pie ²
Pisos de madera dobles de 2 × 12 × 16 plg	7 lb/pie ²
Montantes de madera con 1/2 plg de yeso en cada lado	8 lb/pie ²
Media citara de ladrillo de arcilla (4 plg)	39 lb/pie ²

Fuente: (Mc Cormac & Cserneck, 2012).

$$C_M = \left(490 \frac{lb}{ft^3}\right) (41 ft^2) (1 ft) \quad C_M = 20.09 KLb$$

OJO: Para eliminar el $\left(\frac{1}{ft}\right)$ después se volverá a recalcular.

Consideramos una carga viva de 2 personas más herramientas y equipos de estas, lo cual estimamos en 550 Lb que en el sistema internacional sería 249,47 Kg.

$$C_V = 249.47 \text{ Kg} \approx 550 \text{ Lb}$$

- LRFD

$$P_u = 1.2C_M + 1.6 C_V$$

$$P_u = 1.2(20.09 \text{ KLb}) + 1.6(0.55 \text{ KLb})$$

$$P_u = 24.99 \text{ KLb}$$

- ASD

$$P_a = C_M + C_V$$

$$P_a = (20.09 + 0.55) \text{ KLb}$$

$$P_a = 20.64 \text{ KLb}$$

Para las columnas se optará por perfiles cuadrados ya que el radio de giro en X y Y es el mismo. Dando así mayor estabilidad a la estructura.

De la Figura N° 58 extraemos el valor del factor K.

Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo	 Rotación y traslación impedidas  Rotación libre y traslación impedida  Rotación impedida y traslación libre  Rotación y traslación libres					

Figura N° 58: Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K .

Fuente: (Mc Cormac & Cserneck, 2012)

Con el valor de $K = 1.2$ tomamos la relación $\frac{K \cdot L}{R} = 50$

Seguidamente, de la Tabla N° 26 obtenemos los esfuerzos críticos disponibles para los miembros en compresión, para lo cual consideramos trabajar con un acero ASTM A 500 Grado A para sección cuadrada el cual presenta un $F_y = 39$ Ksi, por lo tanto, tomaremos un valor de $F_y = 36$ Ksi que es el valor del acero comercial más utilizado.

- LRFD: $\phi_c F_{cr} = 28.4$ Ksi

$$A_{req} = \frac{P_U}{\phi_c F_{cr}}$$

$$A_{req} = \frac{24.99 \text{ Klb}}{28.4 \text{ Ksi}}$$

$$A_{req} = 0.87 \text{ in}^2$$

Tabla N° 26: Esfuerzos críticos disponibles para miembros en compresión.

$F_y = 35 \text{ ksi}$			$F_y = 36 \text{ ksi}$			$F_y = 42 \text{ ksi}$			$F_y = 46 \text{ ksi}$			$F_y = 50 \text{ ksi}$		
$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$
	ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi
	ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD
41	19.2	28.9	41	19.7	29.7	41	22.7	34.1	41	24.6	37.0	41	26.5	39.8
42	19.2	28.8	42	19.6	29.5	42	22.6	33.9	42	24.5	36.8	42	26.3	39.5
43	19.1	28.7	43	19.6	29.4	43	22.5	33.7	43	24.3	36.6	43	26.2	39.3
44	19.0	28.5	44	19.5	29.3	44	22.3	33.6	44	24.2	36.3	44	26.0	39.1
45	18.9	28.4	45	19.4	29.1	45	22.2	33.4	45	24.0	36.1	45	25.8	38.8
46	18.8	28.3	46	19.3	29.0	46	22.1	33.2	46	23.9	35.9	46	25.6	38.5
47	18.7	28.1	47	19.2	28.9	47	22.0	33.0	47	23.8	35.7	47	25.5	38.3
48	18.6	28.0	48	19.1	28.7	48	21.8	32.8	48	23.6	35.4	48	25.3	38.0
49	18.5	27.9	49	19.0	28.5	49	21.7	32.6	49	23.4	35.2	49	25.1	37.7
50	18.4	27.7	50	18.9	28.4	50	21.6	32.4	50	23.3	35.0	50	24.9	37.5
51	18.3	27.6	51	18.8	28.3	51	21.4	32.2	51	23.1	34.8	51	24.8	37.2
52	18.3	27.4	52	18.7	28.1	52	21.3	32.0	52	23.0	34.5	52	24.6	36.9
53	18.2	27.3	53	18.6	28.0	53	21.2	31.8	53	22.8	34.3	53	24.4	36.7
54	18.1	27.1	54	18.5	27.8	54	21.0	31.6	54	22.6	34.0	54	24.2	36.4
55	18.0	27.0	55	18.4	27.6	55	20.9	31.4	55	22.5	33.8	55	24.0	36.1
56	17.9	26.8	56	18.3	27.5	56	20.7	31.2	56	22.3	33.5	56	23.8	35.8
57	17.7	26.7	57	18.2	27.3	57	20.6	31.0	57	22.1	33.3	57	23.6	35.5
58	17.6	26.5	58	18.1	27.1	58	20.5	30.7	58	22.0	33.0	58	23.4	35.2
59	17.5	26.4	59	17.9	27.0	59	20.3	30.5	59	21.8	32.8	59	23.2	34.9
60	17.4	26.2	60	17.8	26.8	60	20.2	30.3	60	21.6	32.5	60	23.0	34.6
61	17.3	26.0	61	17.7	26.6	61	20.0	30.1	61	21.4	32.2	61	22.8	34.3
62	17.2	25.9	62	17.6	26.5	62	19.9	29.9	62	21.3	32.0	62	22.6	34.0
63	17.1	25.7	63	17.5	26.3	63	19.7	29.6	63	21.1	31.7	63	22.4	33.7
64	17.0	25.5	64	17.4	26.1	64	19.6	29.4	64	20.9	31.4	64	22.2	33.4
65	16.9	25.4	65	17.3	25.9	65	19.4	29.2	65	20.7	31.2	65	22.0	33.0
66	16.8	25.2	66	17.1	25.8	66	19.2	28.9	66	20.5	30.9	66	21.8	32.7
67	16.7	25.0	67	17.0	25.6	67	19.1	28.7	67	20.4	30.6	67	21.6	32.4
68	16.5	24.9	68	16.9	25.4	68	18.9	28.5	68	20.2	30.3	68	21.4	32.1
69	16.4	24.7	69	16.8	25.2	69	18.8	28.2	69	20.0	30.1	69	21.1	31.8
70	16.3	24.5	70	16.7	25.0	70	18.6	28.0	70	19.8	29.8	70	20.9	31.4
71	16.2	24.3	71	16.5	24.8	71	18.5	27.7	71	19.6	29.5	71	20.7	31.1
72	16.1	24.2	72	16.4	24.7	72	18.3	27.5	72	19.4	29.2	72	20.5	30.8
73	16.0	24.0	73	16.3	24.5	73	18.1	27.2	73	19.2	28.9	73	20.3	30.5
74	15.8	23.8	74	16.2	24.3	74	18.0	27.0	74	19.1	28.6	74	20.1	30.2
75	15.7	23.6	75	16.0	24.1	75	17.8	26.8	75	18.9	28.4	75	19.8	29.8
76	15.6	23.4	76	15.9	23.9	76	17.6	26.5	76	18.7	28.1	76	19.6	29.5
77	15.5	23.3	77	15.8	23.7	77	17.5	26.3	77	18.5	27.8	77	19.4	29.2
78	15.4	23.1	78	15.6	23.5	78	17.3	26.0	78	18.3	27.5	78	19.2	28.8
79	15.2	22.9	79	15.5	23.3	79	17.1	25.8	79	18.1	27.2	79	19.0	28.5
80	15.1	22.7	80	15.4	23.1	80	17.0	25.5	80	17.9	26.9	80	18.8	28.2
ASD		LRFD												
$\Omega_c = 1.67$		$\phi_c = 0.90$												

Fuente: (American Institute of Steel, 2011).

■ ASD: $\frac{F_{cr}}{\Omega} = 8.9 \text{ Ksi}$

$$A_{req} = \frac{P_a}{\frac{F_{cr}}{\Omega}}$$

$$A_{req} = \frac{20.64 \text{ Klb}}{18.9 \text{ Ksi}}$$

$$A_{req} = 1.09 \text{ in}^2$$

Deberemos considerar un área igual o mayor a 1.09 in^2

Con ayuda de la Figura N° 59, escogemos el perfil 3 x 3 in

Tubo GALV ASTM A500

Tubo fabricado con acero al carbono de superficie galvanizada, utilizando el sistema de soldadura de resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW). Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.

USOS

Diversas estructuras livianas y pesadas, correderías, tijerales, postes, etc.

NORMAS TÉCNICAS

Las dimensiones, pesos y espesores se fabrican según la norma ASTM A500 Grado A y B según lo solicitado

PRESENTACIÓN

- Longitud:
 - Redondos: 6.40 m y 6 m.
 - Cuadrados y rectangulares: 6 m.
 - Otras longitudes a pedido.
- Acabado de extremos:
 - Refrentado (plano), limpios de rebordes.
- Recubrimiento: Negro Galvanizado (mínimo de 120 gr/m²).

PROPIEDADES MECÁNICAS

Sección	Norma técnica		Grado	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación mínimo
	Del tubo	Del acero				
Redondo	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A	A	228	310	25
		ASTM A 1011 CS TIPO B		-	≥ 290	≥ 25
Cuadrado	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A	A	269	310	25
		ASTM A 1011 CS TIPO B		-	≥ 290	≥ 25
Rectángulo	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A	B	269	310	25
		ASTM A 1011 CS TIPO B		-	≥ 290	≥ 25

(a) Dimensiones y Tolerancias.

DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m

Designación Nominal	Dimensión exterior (mm)	Espesores (mm)							
		1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	3.0	3.3	4.0
REDONDO	1/4"	13.70	0.53	0.58	0.65				
	3/8"	17.10	0.68	0.75	0.84				
	1/2"	21.30	0.87	0.95	1.08	1.16	1.35		
	3/4"	26.70	1.11	1.22	1.38	1.49	1.75		
	1"	33.40	1.40	1.55	1.76	1.91	2.25		
	1 1/4"	42.20	1.79	1.98	2.26	2.45	2.90		
	1 1/2"	48.30	2.06	2.28	2.61	2.82	3.35		
	2"	60.30	2.60	2.88	3.29	3.56	4.24	4.64	5.56
	2 1/2"	73.00		3.50	4.35	5.18	5.67	6.81	
	3"	88.90		4.29	5.33	6.36	6.97	8.38	
REDONDO L.E.	4"	114.30		5.54	6.90	8.24	9.04	10.88	
	5"								
	6"								
	8"								
CUADRADO	1 1/2"	25 x 25	1.06	1.46					
	2"	30 x 30	1.30	1.70					
	2 1/2"	40 x 40	1.78	2.24					
	3"	50 x 50	2.25	3.12					

(a) Dimensiones y Tolerancias.

SISTEMA INGLÉS

Designación Nominal	Dimensión exterior (mm)	Espesores (mm)								
		1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	3.0	4.0	4.5	6.0
REDONDO	1"	1.36	1.50	1.70	1.84	2.17				
	1 1/4"	1.71	1.90	2.16	2.34	2.77				
	1 1/2"	2.07	2.29	2.62	2.84	3.37				
	2"	2.60	2.88	3.29	3.56	4.24	4.64	5.56		
REDONDO L.E.	3"	4.69	5.37	5.83	6.96	9.18				
	4"	6.28	7.82	9.35	12.37	13.86				
	5"	7.82	9.35	12.37	13.86					
	6"	9.35	12.37	13.86						
REDONDO L.E.	8"	12.37	13.86							
	10"	13.86								
	12"	15.35								
	14"	16.84								
REDONDO L.E.	16"	18.33								
	18"	19.82								
	20"	21.31								
	22"	22.80								
REDONDO L.E.	24"	24.29								
	26"	25.78								
	28"	27.27								
	30"	28.76								
REDONDO L.E.	32"	30.25								
	34"	31.74								
	36"	33.23								
	38"	34.72								
REDONDO L.E.	40"	36.21								
	42"	37.70								
	44"	39.19								
	46"	40.68								
REDONDO L.E.	48"	42.17								
	50"	43.66								
	52"	45.15								
	54"	46.64								
REDONDO L.E.	56"	48.13								
	58"	49.62								
	60"	51.11								
	62"	52.60								
REDONDO L.E.	64"	54.09								
	66"	55.58								
	68"	57.07								
	70"	58.56								
REDONDO L.E.	72"	60.05								
	74"	61.54								
	76"	63.03								
	78"	64.52								
REDONDO L.E.	80"	66.01								
	82"	67.50								
	84"	68.99								
	86"	70.48								
REDONDO L.E.	88"	71.97								
	90"	73.46								
	92"	74.95								
	94"	76.44								
REDONDO L.E.	96"	77.93								
	98"	79.42								
	100"	80.91								
	102"	82.40								
REDONDO L.E.	104"	83.89								
	106"	85.38								
	108"	86.87								
	110"	88.36								
REDONDO L.E.	112"	89.85								
	114"	91.34								
	116"	92.83								
	118"	94.32								
REDONDO L.E.	120"	95.81								
	122"	97.30								
	124"	98.79								
	126"	100.28								
REDONDO L.E.	128"	101.77								
	130"	103.26								
	132"	104.75								
	134"	106.24								
REDONDO L.E.	136"	107.73								
	138"	109.22								
	140"	110.71								
	142"	112.20								
REDONDO L.E.	144"	113.69								
	146"	115.18								
	148"	116.67								
	150"	118.16								

SISTEMA MÉTRICO

Dimensión exterior (mm)	Espesores (mm)							
	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	6.0
REDONDO	25	1.12	1.27	1.41				
	30	1.33	1.47	1.61				
	36	1.62	1.79	1.95				
	40	2.07	2.29	2.53				
	48	2.18	2.41	2.69				
	50	2.75	3.04	3.36				
	60	2.75	3.04	3.36				
	72	4.61	5.13	5.64				
	80	4.93	5.73	6.31				
	100	6.18	7.00	7.82				
REDONDO L.E.	25 x 25	1.65	2.04	2.26				
	40 x 40	2.26	2.75	3.03				
	60 x 60	2.71	3.36	3.66				
	80 x 80	3.12	3.91	4.29				
	100 x 100	3.56	4.59	5.18				
	120 x 120	4.16	5.56	6.60				
	140 x 140	4.59	6.17	7.29				
	160 x 160	5.18	6.97	8.24				
	180 x 180	5.79	7.79	9.04				
	200 x 200	6.36	8.54	9.80				
REDONDO L.E.	25 x 30	1.65	2.04	2.26				
	40 x 60	2.26	2.75	3.03				
	60 x 80	2.71	3.36	3.66				
	80 x 100	3.12	3.91	4.29				
	100 x 120	3.56	4.59	5.18				
	120 x 140	4.16	5.56	6.60				
	140 x 160	4.59	6.17	7.29				
	160 x 180	5.18	6.97	8.24				
	180 x 200	5.79	7.79	9.04				
	200 x 220	6.36	8.54	9.80				
REDONDO L.E.	25 x 40	1.65	2.04	2.26				
	40 x 80	2.26	2.75	3.03				
	60 x 100	2.71	3.36	3.66				
	80 x 120	3.12	3.91	4.29				
	100 x 140	3.56	4.59	5.18				
	120 x 160	4.16	5.56	6.60				
	140 x 180	4.59	6.17	7.29				
	160 x 200	5.18	6.97	8.24				
	180 x 220	5.79	7.79	9.04				
	200 x 240	6.36	8.54	9.80				

Figura N° 59: Tubo GALV ASTM A500.

Fuente: Catalogo Aceros Arequipa.

Seleccionamos la tubería estructural 3x3 de la Tabla N° 27.

Tabla N° 27: Tubería estructural (Dimensiones y propiedades).

														Torsional Stiffness Constant J	Torsional Shear Constant C	Surface Area per Foot
Nominal Size				Weight per Foot	Wall Thickness t	b/t	h/t	Cross Sectional Area	I	S	r	Z				
in.	in.	in.	GA	lb.	in.			in.2	in.4	in.3	in.	in.3	in.4			
3.5	3.5	0.134	10	5.98	0.125	25.0	25.0	1.65	3.09	1.76	1.37	2.07	4.9	2.84	1.13	
3.5	3.5	0.120	11	5.40	0.112	28.3	28.3	1.49	2.81	1.61	1.38	1.87	4.4	2.57	1.13	
3.5	3.5	0.105	12	4.74	0.097	33.1	33.1	1.30	2.48	1.42	1.38	1.64	3.9	2.24	1.14	
3.5	3.5	0.095	13	4.32	0.088	36.8	36.8	1.18	2.27	1.30	1.39	1.50	3.5	2.05	1.14	
3.5	3.5	0.083	14	3.80	0.077	42.3	42.3	1.04	2.02	1.15	1.39	1.33	3.1	1.81	1.14	
3	3	0.165		6.13	0.153	16.6	16.6	1.68	2.230	1.487	1.15	1.773	3.62	2.466	0.96	
3	3	0.134	10	5.07	0.125	21.0	21.0	1.40	1.896	1.264	1.16	1.491	3.03	2.059	0.96	
3	3	0.120	11	4.58	0.112	23.8	23.8	1.26	1.731	1.154	1.17	1.354	2.75	1.863	0.97	
3	3	0.105	12	4.03	0.097	27.9	27.9	1.10	1.531	1.020	1.18	1.191	2.41	1.631	0.97	
3	3	0.095	13	3.68	0.088	31.1	31.1	1.01	1.406	0.937	1.18	1.090	2.21	1.490	0.97	
3	3	0.083	14	3.24	0.077	36.0	36.0	0.89	1.249	0.833	1.19	0.964	1.95	1.314	0.98	
3	3	0.060		2.37	0.056	50.6	50.6	0.65	0.935	0.623	1.20	0.716	1.44	0.970	0.98	
2.5	2.5	0.313		8.45	0.291	5.6	5.6	2.35	1.82	1.45	0.879	1.88	3.20	2.74	0.75	
2.5	2.5	0.238		6.83	0.221	8.3	8.3	1.89	1.58	1.26	0.914	1.58	2.69	2.25	0.77	
2.5	2.5	0.165		5.01	0.153	13.3	13.3	1.38	1.23	0.99	0.947	1.19	2.03	1.67	0.79	
2.5	2.5	0.134	10	4.16	0.125	17.0	17.0	1.15	1.06	0.85	0.961	1.01	1.71	1.40	0.80	
2.5	2.5	0.120	11	3.76	0.112	19.3	19.3	1.04	0.97	0.78	0.967	0.92	1.56	1.27	0.80	
2.5	2.5	0.105	12	3.31	0.097	22.8	22.8	0.91	0.86	0.69	0.974	0.81	1.37	1.12	0.81	
2.5	2.5	0.095	13	3.03	0.088	25.4	25.4	0.83	0.79	0.64	0.979	0.74	1.26	1.02	0.81	
2.5	2.5	0.083	14	2.67	0.077	29.5	29.5	0.73	0.71	0.57	0.984	0.66	1.11	0.90	0.81	

Fuente: Dimensions and Section Properties ASTM A500.

Ahora con $\frac{K \cdot L}{R} = (1.2)(73.58 \text{ in})$

$\frac{K \cdot L}{R} = 88.30$

nos dirigimos a la Tabla N° 28.

Tabla N° 28: Esfuerzos críticos disponibles para miembros en compresión (Continuación).

$F_y = 35 \text{ ksi}$			$F_y = 36 \text{ ksi}$			$F_y = 42 \text{ ksi}$			$F_y = 46 \text{ ksi}$			$F_y = 50 \text{ ksi}$		
$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c ksi	$\phi_c F_{cr}$ ksi	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c ksi	$\phi_c F_{cr}$ ksi	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c ksi	$\phi_c F_{cr}$ ksi	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c ksi	$\phi_c F_{cr}$ ksi	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c ksi	$\phi_c F_{cr}$ ksi
ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD	
81	15.0	22.5	81	15.3	22.9	81	16.8	25.3	81	17.7	26.6	81	18.5	27.9
82	14.9	22.3	82	15.1	22.7	82	16.6	25.0	82	17.5	26.3	82	18.3	27.5
83	14.7	22.1	83	15.0	22.5	83	16.5	24.8	83	17.3	26.0	83	18.1	27.2
84	14.6	22.0	84	14.9	22.3	84	16.3	24.5	84	17.1	25.8	84	17.9	26.9
85	14.5	21.8	85	14.7	22.1	85	16.1	24.3	85	16.9	25.5	85	17.7	26.5
86	14.4	21.6	86	14.6	22.0	86	16.0	24.0	86	16.7	25.2	86	17.4	26.2
87	14.2	21.4	87	14.5	21.8	87	15.8	23.7	87	16.6	24.9	87	17.2	25.9
88	14.1	21.2	88	14.3	21.6	88	15.6	23.5	88	16.4	24.6	88	17.0	25.5
89	14.0	21.0	89	14.2	21.4	89	15.5	23.2	89	16.2	24.3	89	16.8	25.2
90	13.8	20.8	90	14.1	21.2	90	15.3	23.0	90	16.0	24.0	90	16.6	24.9
91	13.7	20.6	91	13.9	21.0	91	15.1	22.7	91	15.8	23.7	91	16.3	24.6
92	13.6	20.4	92	13.8	20.8	92	15.0	22.5	92	15.6	23.4	92	16.1	24.2
93	13.5	20.2	93	13.7	20.5	93	14.8	22.2	93	15.4	23.1	93	15.9	23.9
94	13.3	20.0	94	13.5	20.3	94	14.6	22.0	94	15.2	22.8	94	15.7	23.6
95	13.2	19.9	95	13.4	20.1	95	14.4	21.7	95	15.0	22.6	95	15.5	23.3
96	13.1	19.7	96	13.3	19.9	96	14.3	21.5	96	14.8	22.3	96	15.3	22.9
97	13.0	19.5	97	13.1	19.7	97	14.1	21.2	97	14.6	22.0	97	15.0	22.6
98	12.8	19.3	98	13.0	19.5	98	13.9	21.0	98	14.4	21.7	98	14.8	22.3
99	12.7	19.1	99	12.9	19.3	99	13.8	20.7	99	14.2	21.4	99	14.6	22.0
100	12.6	18.9	100	12.7	19.1	100	13.6	20.5	100	14.1	21.1	100	14.4	21.7
101	12.4	18.7	101	12.6	18.9	101	13.4	20.2	101	13.9	20.8	101	14.2	21.3
102	12.3	18.5	102	12.5	18.7	102	13.3	20.0	102	13.7	20.6	102	14.0	21.0
103	12.2	18.3	103	12.3	18.5	103	13.1	19.7	103	13.5	20.3	103	13.8	20.7
104	12.1	18.1	104	12.2	18.3	104	12.9	19.5	104	13.3	20.0	104	13.6	20.4
105	11.9	17.9	105	12.1	18.1	105	12.8	19.2	105	13.1	19.7	105	13.4	20.1
106	11.8	17.7	106	11.9	17.9	106	12.6	19.0	106	12.9	19.4	106	13.2	19.8
107	11.7	17.5	107	11.8	17.7	107	12.4	18.7	107	12.8	19.2	107	13.0	19.5
108	11.5	17.3	108	11.7	17.5	108	12.3	18.5	108	12.6	18.9	108	12.8	19.2
109	11.4	17.2	109	11.5	17.3	109	12.1	18.2	109	12.4	18.6	109	12.6	18.9
110	11.3	17.0	110	11.4	17.1	110	12.0	18.0	110	12.2	18.3	110	12.4	18.6
111	11.2	16.8	111	11.3	16.9	111	11.8	17.7	111	12.0	18.1	111	12.2	18.3
112	11.0	16.6	112	11.1	16.7	112	11.6	17.5	112	11.8	17.8	112	12.0	18.0
113	10.9	16.4	113	11.0	16.5	113	11.5	17.3	113	11.7	17.5	113	11.8	17.7
114	10.8	16.2	114	10.9	16.3	114	11.3	17.0	114	11.5	17.3	114	11.6	17.4
115	10.7	16.0	115	10.7	16.2	115	11.2	16.8	115	11.3	17.0	115	11.4	17.1
116	10.5	15.8	116	10.6	16.0	116	11.0	16.5	116	11.1	16.7	116	11.2	16.8
117	10.4	15.6	117	10.5	15.8	117	10.8	16.3	117	11.0	16.5	117	11.0	16.5
118	10.3	15.5	118	10.4	15.6	118	10.7	16.1	118	10.8	16.2	118	10.8	16.2
119	10.2	15.3	119	10.2	15.4	119	10.5	15.8	119	10.6	16.0	119	10.6	16.0
120	10.0	15.1	120	10.1	15.2	120	10.4	15.6	120	10.4	15.7	120	10.4	15.7
ASD	LRFD													
$\Omega_c = 1.67$	$\phi_c = 0.90$													

Fuente: (American Institute of Steel, 2011).

▪ LRFD: $\phi_c F_{cr} = 21.4 \text{ Ksi}$

$\phi_c P_n = \phi_c * F_{cr} * A_g$

$\phi_c P_n = 21.4 \text{ Ksi} * 1.86 \text{ in}^2$

$\phi_c P_n = 39.06 \text{ Klb}$

▪ ASD: $\frac{F_{cr}}{\Omega} = 14.2 \text{ Ksi}$

$$\frac{P_a}{\Omega} = \frac{F_{cr} A_g}{\Omega}$$

$$\frac{P_a}{\Omega} = 14.2 \text{ Ksi} * 1.86 \text{ in}^2$$

$$\frac{P_a}{\Omega} = 26.41 \text{ KLb}$$

Las cargas que pueden soportar las vigas son superiores a P_U y P_a

Como el diseño contempla 6 columnas podemos tener la certeza que la estructura tendrá suficiente rigidez y esbeltez.

3.2.3. Cálculo de Vigas.

Se inicia el cálculo definiendo el área de trabajo a diseñar. Para ello, se hace uso del bosquejo mostrado en el cual se muestra la vista superior de la estructura apreciando la propuesta de uso de 6 columnas.

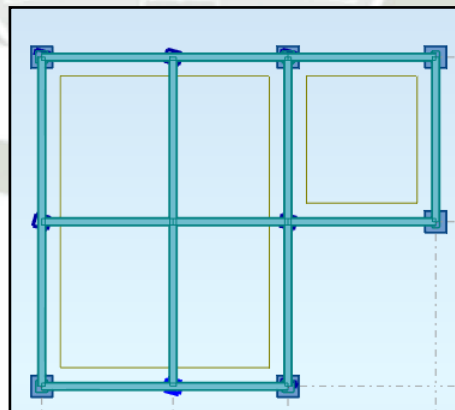


Figura N° 60: Esquema de la vista superior de la plataforma.

Fuente: Elaboración propia.

Tomando los datos obtenidos para cálculo tenemos:

$$P_U = 24.99 \text{ KLb}$$

$$P_a = 20.64 \text{ KLb}$$

- LRFD: $L = \text{Longitud máxima de la viga} = 2.4 \text{ m} = 7.87 \text{ ft}$

$$M_U = \frac{P_U \cdot L}{8}$$

$$M_U = \frac{24.99 \text{ KLb} \cdot (7.87 \text{ ft})}{8}$$

$$M_U = 24.58 \text{ KLb} \cdot \text{ft}$$

- ASD

$$M_a = \frac{P_a \cdot L}{8}$$

$$M_a = \frac{20.64 \text{ KLb} \cdot (7.87 \text{ ft})}{8}$$

$$M_a = 20.30 \text{ KLb} \cdot \text{ft}$$

Para las vigas de la estructura se usan perfiles W, cuyos datos se ven en la Figura N° 61.

Vigas H Alas Anchas WF - estándar americano

Producto laminado en caliente con sección en forma de "H" (con alas paralelas), de calidad estructural en cumplimiento con las normas ASTM A36, ASTM A572 Grado 50 o la ASTM A992. Asimismo, pueden presentarse en calidad dual.

NORMAS TÉCNICAS

- Composición Química y Propiedades Mecánicas: ASTM A36/A36M, ASTM A572/A572M, ASTM A992/A992M.
- Tolerancia Dimensional: ASTM A6/A6M.

USOS

En la fabricación de estructuras metálicas, edificios, puentes grúas, estructuras en general, cerchas, etc.

PRESENTACIÓN

Se comercializan en barras de 20, 30 y 40 pies. Otras longitudes a pedido.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Norma técnica	Grado	Lím. de fluencia MPa z	Carga de rotura z	Elongación % z
ASTM A 36/A 36M		250	400 - 550	21 (2") 20 (8")
ASTM A 572/A 572M	50	345	450 mín.	21 (2") 16 (8")
ASTM A 992/A 992M		345	450 - 550	21 (2") 18 (8")

(1) Tamaño de probeta.

DIMENSIONES ESTÁNDAR

DESIGNACIÓN NOMINAL pulgada	Peralte altura alma (d) lb/pie	ALA (b) pulgada	ESPESOR NOMINAL ALA (f) ALMA (w)
4"	13.00	4.16	4.06 8.76 7.11
6"	9.00	5.90	3.94 5.46 4.32
6"	12.00	6.03	4.00 7.11 5.84
6"	16.00	6.28	4.03 10.29 6.60
6"	15.00	5.99	5.99 6.60 5.84
6"	20.00	6.20	6.02 9.27 6.60
6"	25.00	6.38	6.08 11.56 8.13
8"	10.00	7.89	3.94 5.21 4.32
8"	13.00	7.99	4.00 6.48 5.84
8"	15.00	8.11	4.02 8.00 6.22
8"	18.00	8.14	5.25 8.38 5.84
8"	21.00	8.28	5.27 10.16 6.35

DESIGNACIÓN NOMINAL pulgada	Peralte altura alma (d) lb/pie	ALA (b) pulgada	ESPESOR NOMINAL ALA (f) ALMA (w)
8"	24.00	7.93	6.50 10.16 6.22
8"	28.00	8.06	6.54 11.81 7.24
8"	31.00	8.00	8.00 11.05 7.24
8"	35.00	8.12	8.02 12.57 7.87
8"	40.00	8.25	8.07 14.22 9.14
8"	48.00	8.50	8.11 17.40 10.16
8"	58.00	8.75	8.22 20.57 12.95
8"	67.00	9.00	8.28 23.75 14.48
10"	12.00	9.87	3.96 5.33 4.83
10"	15.00	9.99	4.00 6.86 5.84
10"	17.00	10.11	4.01 8.38 6.10

Siempre págine

Siguiente página.

Figura N° 61: Vigas H alas anchas WF.

Fuente: Catalogo Aceros Arequipa.

Trabajaremos con el material A 572 Grado 50, cuyas propiedades mecánicas son:

$$F_y = 50 \frac{\text{KLb}}{\text{in}^2}$$

$$F_u = 65 \frac{\text{KLb}}{\text{in}^2}$$

Luego, de la Tabla N° 29 seleccionaremos el perfil W8x10 y obtenemos los datos necesarios para su cálculo.

Tabla N° 29: Datos de diseño para perfiles W.

Shape	Z_x in. ³	M_{px}/Ω_b	$\phi_b M_{px}$	M_{rx}/Ω_b	$\phi_b M_{rx}$	BF/Ω_b	$\phi_b BF$	L_p ft	L_r ft	I_x in. ⁴	V_{nx}/Ω_v	$\phi_v V_{nx}$
		kip-ft	kip-ft	kip-ft	kip-ft	kips	kips				kips	kips
W12x16	20.1	50.1	75.4	29.9	44.9	3.80	5.73	2.73	8.05	103	52.8	79.2
W10x17	18.7	46.7	70.1	28.3	42.5	2.98	4.47	2.98	9.16	81.9	48.5	72.7
W12x14 ^v	17.4	43.4	65.3	26.0	39.1	3.43	5.17	2.66	7.73	88.6	42.8	64.3
W8x18	17.0	42.4	63.8	26.5	39.9	1.74	2.61	4.34	13.5	61.9	37.4	56.2
W10x15	16.0	39.9	60.0	24.1	36.2	2.75	4.14	2.86	8.61	68.9	46.0	68.9
W8x15	13.6	33.9	51.0	20.6	31.0	1.90	2.85	3.09	10.1	48.0	39.7	59.6
W10x12 ^f	12.6	31.2	46.9	19.0	28.6	2.36	3.53	2.87	8.05	53.8	37.5	56.3
W8x13	11.4	28.4	42.8	17.3	26.0	1.76	2.67	2.98	9.27	39.6	36.8	55.1
W8x10^f	8.87	21.9	32.9	13.6	20.5	1.54	2.30	3.14	8.52	30.8	26.8	40.2

Fuente: (American Institute of Steel, 2011).

- LRFD: $\phi_b M_{px} = 32.9 \text{ Kip} \cdot \text{ft}$

$$32.9 \text{ KLb} \cdot \text{ft} > 24.58 \text{ KLb} \cdot \text{ft} \quad OK!$$

- ASD: $\frac{M_{px}}{\Omega_b} = 21.9 \text{ Ksi}$

$$21.9 \text{ KLb} \cdot \text{ft} > 20.30 \text{ KLb} \cdot \text{ft} \quad OK!$$

3.2.4. Cálculo de los Pernos.

Para la unión emperrada, tomaremos aquella unión que sea la más crítica la cual se dará en la unión de los cruces de los perfiles.

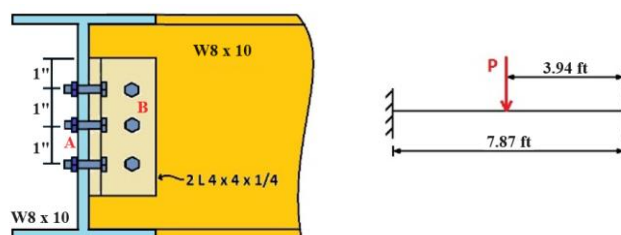


Figura N° 62: Unión de cruce de perfiles.

Fuente: Elaboración propia.

➤ Análisis de Pernos del Grupo A.

Dicho cálculo se realiza considerando una unión rígida.

- Corte Directo.

Tenemos: $L = 7.87 \text{ ft}$ y $w = 10 \text{ lb/ft}$

$$f_s = \frac{P}{n} \quad f_s = \frac{2499 + (10 \times 7.87)}{2} \quad f_s = 429.62 \text{ lb}$$

- Tracción Indirecta.

$$M = \frac{PL}{16} + \frac{wL^2}{24} \quad M = \frac{2499 \times 7.87 \times 12}{16} + \frac{10 \times 7.87^2 \times 12}{24}$$

$$M = 15060.03 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

$$\sum ci^2 = 2 \times (3 \text{ in})^2 \times 2 \quad \sum ci^2 = 36 \text{ in}^2$$

Sabemos que:

$$f'_t = \frac{Mc_i}{\sum ci^2}$$

$$f'_t = \frac{(15060.03)(3)}{36} \quad f'_t = 1255 \text{ lb}$$

Seguidamente encontramos la fuerza equivalente:

$$F_e = \sqrt{f_{tT}^2 + 3 \times f_{sT}^2}$$

$$F_e = \sqrt{1255^2 + (3)(429.62)^2} \quad F_e = 1459.02 \text{ lb}$$

Luego encontramos el área equivalente considerando cargas dinámicas:

$$A_s = \left(\frac{6 \times F_e}{S_y} \right)^{2/3}$$

Con ayuda de la Tabla N° 30 seleccionamos el material del perno con el cual obtenemos los datos para el diseño.

Tabla N° 30: Especificaciones SAE para materiales de pernos.

MARCA DE IDENTIFICACION	DESIGNACION SAE GRADO	TIPO DE ACERO	DIAMETRO Pulg	CARGA DE PRUEBA * kgs/mm²	ESFUERZO DE * ROTURA kgs/mm²	DUREZ A BHN	OBSERVACIONES
	0	--	1/4 - 1 ½	--	--	--	SAE: 1010, 1012, 1015, 1018
	1	Bajo % C	1/4 - 1 ½	--	38,7	207 máx	SAE: 1010, 1015, 1018 ASTM A307 grado B
	2	Bajo y medio % C	1/4 - 1 1/2 9/16 - 3/4 7/8 - 1 ½	38,7 36,6 19,7	48,6 45,1 38,7	241 máx 241 máx 207 máx	SAE: 1015, 1018, 1020
I	3	Medio % C Trabajado en frío	1/4 - 1/2 9/16 - 5/8	59,9 56,3	77,5 70,4	207/269 207/269	SAE: 1030, 1035, 1038
Y	5	Medio % C Templado y revenido	1/4 - 3/4 7/8 - 1 1 - 1 ½	59,9 54,9 52,1	84,5 81,0 73,9	241/302 235/302 223/285	SAE: 1035, 1038, 1040, 1045 ASTM A449, A325
+	6	Medio %C Templado y revenido.	1/4 - 5/8 9/16 - 3/4	77,5 73,9	98,6 93,7	285/331 269/331	
*	7	Aleado. Templado y revenido.	1/4 - 1 ½	73,9	93,7	269/321	Rosca laminada después del tratamiento térmico.
*	8	Aleado. Templado y revenido.	1/4 - 1 ½	84,5	105,6	302/352	SAE: 8635, 8640, 4140, 4037 ASTM A354 grado BD, A490

* Valores de esfuerzos mínimos.

Fuente: (Hori A, 2019).

Seleccionamos un acero SAE 6 con un esfuerzo de fluencia de:

$$S_y = 77.5 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

$$S_y = 111004.80 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

Por lo tanto:

$$A_s = \left(\frac{6 \times 1459.02}{111004.80} \right)^{2/3}$$

$$A_s = 0.18 \text{ in}^2$$

Luego, entramos a la Tabla N° 31 y seleccionamos el área inmediata superior:

Tabla N° 31: Áreas de esfuerzos de roscas estándar americano.

DIAMETRO NOMINAL Pulg.	ROSCA GRUESA			ROSCA FINA		
	HILOS POR PULG.	AREA DE ESFUERZO		HILOS POR PULG.	AREA DE ESFUERZO	
		Pulg ²	mm ²		Pulg ²	mm ²
1/2	12	0,1378	88,88			
9/16	12	0,1819	117,4	18	0,2030	131,0
5/8	11	0,2260	145,8	18	0,2560	165,1
3/4	10	0,3345	215,8	16	0,3730	240,6
7/8	9	0,4617	297,9	14	0,5095	328,7

Fuente: (Hori A, 2019).

Por lo tanto, para los pernos del grupo A se seleccionarán 3 pernos SAE 6 con diámetro de 9/16 in con 12 hilos por pulgada de rosca gruesa.

➤ Análisis de Pernos del Grupo B.

Dicho cálculo se realiza considerando una unión rígida.

- Corte Directo.

Tenemos: $L = 7.87 \text{ ft}$ y $w = 10 \text{ lb/ft}$

$$f_s = \frac{P}{n} \quad f_s = \frac{\frac{2499 + (10 \times 7.87)}{2}}{3 \times 2} \quad f_s = 214.81 \text{ lb}$$

- Corte Indirecto.

Sabemos que: $M = 15060.03 \text{ lb} \cdot \text{in}$

Luego tenemos que: $M = F \times d \quad F = \frac{M}{d}$

$$F = \frac{15060.03}{8} \quad F = 1882.5 \text{ lb}$$

Por lo tanto:

$$\tau = F \times d \quad \tau = (1882.5)(1) \\ \tau = 1882.5 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

$$\sum ci^2 = 2 \times (1 \text{ in})^2 \times 2 \quad \sum ci^2 = 4 \text{ in}^2$$

Sabemos que:

$$f'_s = \frac{\tau c_i}{\sum c_i^2}$$

$$f'_s = \frac{(1882.5)(1)}{4}$$

$$f'_s = 470.63 \text{ lb}$$

- Corte Total.

Con ayuda de la FF obtenemos el valor de la fuerza de corte total.

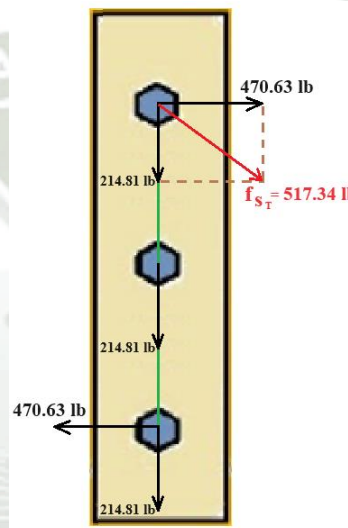


Figura N° 63: Unión de cruce de perfiles.

Fuente: Elaboración propia.

$$f_{sT} = \sqrt{f_s^2 + f'_s{}^2}$$

$$f_{sT} = \sqrt{214.81^2 + 470.63^2}$$

$$f_{sT} = 517.34 \text{ lb}$$

Seguidamente encontramos la fuerza equivalente:

$$F_e = \sqrt{f_{tT}^2 + 3 \times f_{sT}^2}$$

$$F_e = \sqrt{0^2 + (4)(517.34)^2}$$

$$F_e = 1034.68 \text{ lb}$$

Luego encontramos el área equivalente considerando cargas dinámicas:

$$A_s = \left(\frac{6 \times F_e}{S_y} \right)^{2/3}$$

Con ayuda de la Tabla N° 30 seleccionamos el material del perno con el cual obtenemos los datos para el diseño.

Seleccionamos un acero SAE 6 con un esfuerzo de fluencia de:

$$S_y = 77.5 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \quad S_y = 111004.80 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

Por lo tanto:

$$A_s = \left(\frac{6 \times 1034.68}{111004.80} \right)^{2/3} \quad A_s = 0.15 \text{ in}^2$$

Luego, entramos a la Tabla N° 31 y seleccionamos el área inmediata superior:

Por lo tanto, para los pernos del grupo B se seleccionarán 3 pernos SAE 6 con diámetro de 9/16 in con 12 hilos por pulgada de rosca gruesa.

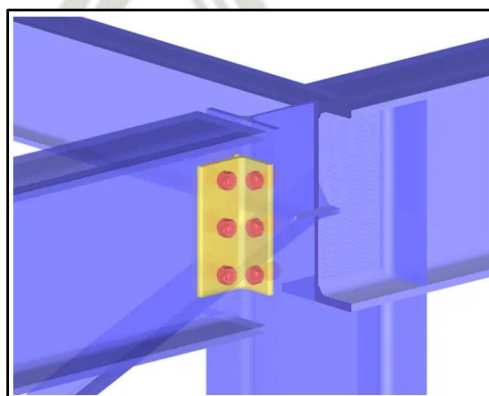


Figura N° 64: Isométrico de la unión de cruce de perfiles.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Plancha Para la Base de la Estructura.

Para la base de la plataforma se seleccionará plancha estriada de 4.4 x 1200 x 2400 mm con ayuda de la Figura N° 65. Según el metrado realizado a la base de la plataforma y la escalera, se van a requerir 3 planchas.



Figura N° 65: Planchas estriadas LAC.

Fuente: Catalogo Aceros Arequipa.

Teniendo en cuenta los costos de la estructura, se fijarán las planchas a la estructura por medio de remaches los cuales se aplicarán cada 10 pulgadas

3.2.6. Para las barandas de la escalera.

Para las barandas de la plataforma y escaleras se seleccionó la tubería de 2 pulgadas de diámetro con Schedule 40 (SCH 40) con costura. La selección de la tubería se realizó siguiendo la norma OSHA (Occupational Safety and Health Standards – Handrails and railings) (Centro de Excelencia Técnica, 2019).

Tubos Schedule (SCH) - con costura

NORMAS TÉCNICAS

- Propiedades Mecánicas: Tubos de calidad trinorma: ASTM A53/A53M, ASTM A106/A106M y API 5L PSL 1. Dimensiones según ASTM A53.

- Tolerancia Dimensional: ASTM A 53 /A 53M.

USOS

Conducción de fluidos a alta temperatura y/o presión en minería, pesca, petróleo, construcción y servicio en general.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Norma técnica	Grado	Lím. de fluencia (min)		Resis. a la tracción (min)	
		ksi	MPa	ksi	MPa
ASTM A 53/A 53M	B	35	240	60	415
ASTM A 106/A 106M	B	35	240	60	415
API 5L PSL 1	B	35	241	60	413

PRESENTACIÓN

- Longitud: SRL de 4.8 y 6.7m, DRL de 10.7m mín.

- Extremos: Planos para diámetros menores de 2" y biselados para diámetros $\geq 2"$.

DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES

Diámetro Nominal	Diámetro exterior		Diámetro de pared		Peso kg/m	Peso tipo	SCH Número	Presión de prueba Grado B psi
	pulgada	mm	pulgada	mm				
1/2"	0.84	21.3	0.11	2.77	1.27	STD	40	700
3/4"	1.05	26.7	0.11	2.87	1.69	STD	40	700
1"	1.32	33.4	0.13	3.38	2.50	STD	40	700
1 1/4"	1.66	42.2	0.14	3.56	3.39	STD	40	1,300
1 1/2"	1.90	48.3	0.15	3.81	4.46	STD	40	1,300
2"	2.38	60.3	0.15	3.91	5.44	STD	40	2,500
2 1/2"	2.88	73.0	0.20	5.18	8.53	STD	40	2,500
3"	3.50	88.9	0.22	5.49	11.29	STD	40	2,500
4"	4.50	114.3	0.24	6.02	16.07	STD	40	2,210
6"	6.63	168.3	0.28	7.11	28.26	STD	40	1,780
8"	8.63	219.1	0.32	8.18	42.55	STD	40	1,570
10"	10.75	273	0.37	9.27	60.29	STD	40	1,430

Tubo para alta presión (SCH) fabricado con acero al carbono de calidad estructural, utilizando el sistema de soldadura de resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW).

Tubos Schedule (SCH) - sin costura

Tubo para alta presión (SCH) fabricado con acero al carbono de calidad estructural, utilizando el sistema de soldadura de resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW).

Figura N° 66: Tubos Schedule (SCH) con costura.

Fuente: Catalogo Aceros Arequipa.

3.2.7. Escalera metálica.

Para los rieles de la escalera metálica (Figura N° 67) se seleccionaron perfiles cuadrangulares de 3 x 3 pulgadas, los cuales se obtuvieron de la Tabla N° 32.

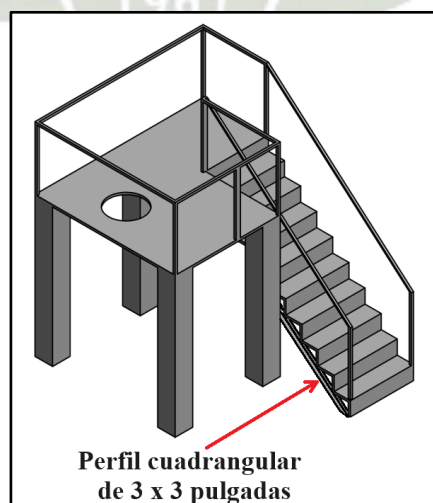


Figura N° 67: Rieles para la escalera metálica.

Fuente: Elaboración propia.

La selección de los perfiles cuadrangulares se realizó siguiendo la norma OSHA (Occupational Safety and Health Standards – Handrails and railings) (Centro de Excelencia Técnica, 2019).

Tabla N° 32: Tubería estructural (Dimensiones y propiedades).

Nominal Size				Weight per Foot	Wall Thickness t	b/t	h/t	Cross Sectional Area	I	S	r	Z	Torsional Stiffness Constant J	Torsional Shear Constant C	Surface Area per Foot
in.	in.	in.	GA	lb.	in.			in.2	in.4	in.3	in.	in.3	in.4	in.3	ft.2
3.5	3.5	0.134	10	5.98	0.125	25.0	25.0	1.65	3.09	1.76	1.37	2.07	4.9	2.84	1.13
3.5	3.5	0.120	11	5.40	0.112	28.3	28.3	1.49	2.81	1.61	1.38	1.87	4.4	2.57	1.13
3.5	3.5	0.105	12	4.74	0.097	33.1	33.1	1.30	2.48	1.42	1.38	1.64	3.9	2.24	1.14
3.5	3.5	0.095	13	4.32	0.088	36.8	36.8	1.18	2.27	1.30	1.39	1.50	3.5	2.05	1.14
3.5	3.5	0.083	14	3.80	0.077	42.3	42.3	1.04	2.02	1.15	1.39	1.33	3.1	1.81	1.14
3	3	0.165		6.13	0.153	16.6	16.6	1.68	2.230	1.487	1.15	1.773	3.62	2.466	0.96
3	3	0.134	10	5.07	0.125	21.0	21.0	1.40	1.896	1.264	1.16	1.491	3.03	2.059	0.96
3	3	0.120	11	4.58	0.112	23.8	23.8	1.26	1.731	1.154	1.17	1.354	2.75	1.863	0.97
3	3	0.105	12	4.03	0.097	27.9	27.9	1.10	1.531	1.020	1.18	1.191	2.41	1.631	0.97
3	3	0.095	13	3.68	0.088	31.1	31.1	1.01	1.406	0.937	1.18	1.090	2.21	1.490	0.97
3	3	0.083	14	3.24	0.077	36.0	36.0	0.89	1.249	0.833	1.19	0.964	1.95	1.314	0.98
3	3	0.060		2.37	0.056	50.6	50.6	0.65	0.935	0.623	1.20	0.716	1.44	0.970	0.98
2.5	2.5	0.313		8.45	0.291	5.6	5.6	2.35	1.82	1.45	0.879	1.88	3.20	2.74	0.75
2.5	2.5	0.238		6.83	0.221	8.3	8.3	1.89	1.58	1.26	0.914	1.58	2.69	2.25	0.77
2.5	2.5	0.165		5.01	0.153	13.3	13.3	1.38	1.23	0.99	0.947	1.19	2.03	1.67	0.79
2.5	2.5	0.134	10	4.16	0.125	17.0	17.0	1.15	1.06	0.85	0.961	1.01	1.71	1.40	0.80
2.5	2.5	0.120	11	3.76	0.112	19.3	19.3	1.04	0.97	0.78	0.967	0.92	1.56	1.27	0.80
2.5	2.5	0.105	12	3.31	0.097	22.8	22.8	0.91	0.86	0.69	0.974	0.81	1.37	1.12	0.81
2.5	2.5	0.095	13	3.03	0.088	25.4	25.4	0.83	0.79	0.64	0.979	0.74	1.26	1.02	0.81
2.5	2.5	0.083	14	2.67	0.077	29.5	29.5	0.73	0.71	0.57	0.984	0.66	1.11	0.90	0.81

Fuente: Dimensions and Section Properties ASTM A500.

3.2.8. Comprobación de la Estructura Mediante Software.

El diseño de la estructura se desarrolló en Autodesk Inventor gracias a la cual se pudo dimensionar correctamente cada uno de los elementos que conforman la estructura metálica.

Como primer paso, en la Figura N° 68 se presenta una vista isométrica de la plataforma diseñada para la inyectora mecánica Battenfelt SY 1800 III.

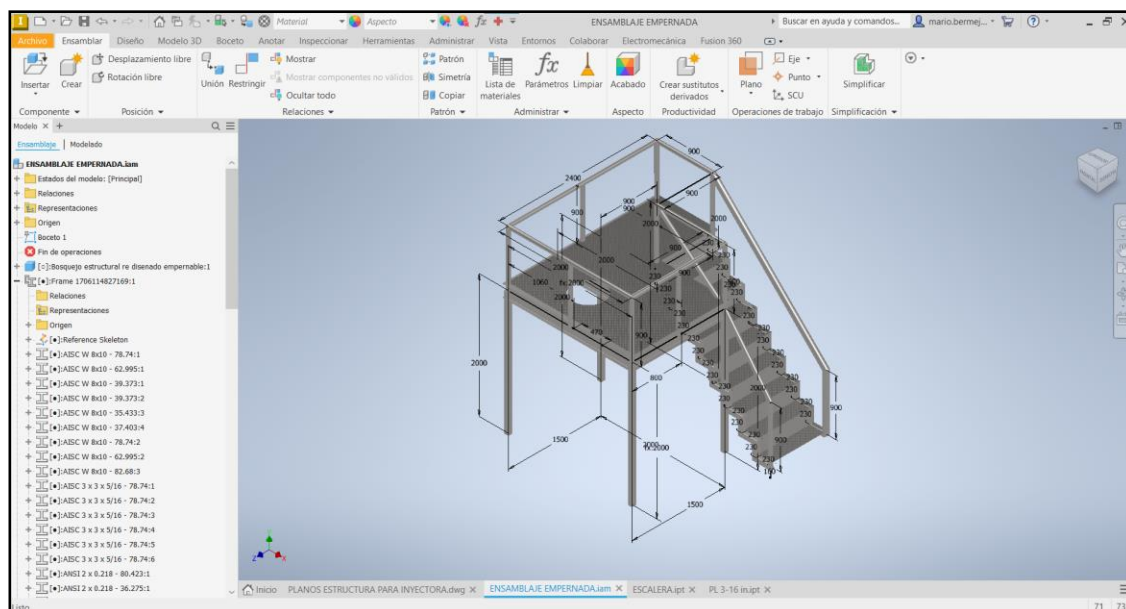


Figura N° 68: Diseño en software Autodesk Inventor.

Fuente: Elaboración propia.

En Figura N° 69 se resaltan todos los perfiles utilizados para el diseño de la plataforma como son los perfiles W, perfiles cuadrangulares y tubos.

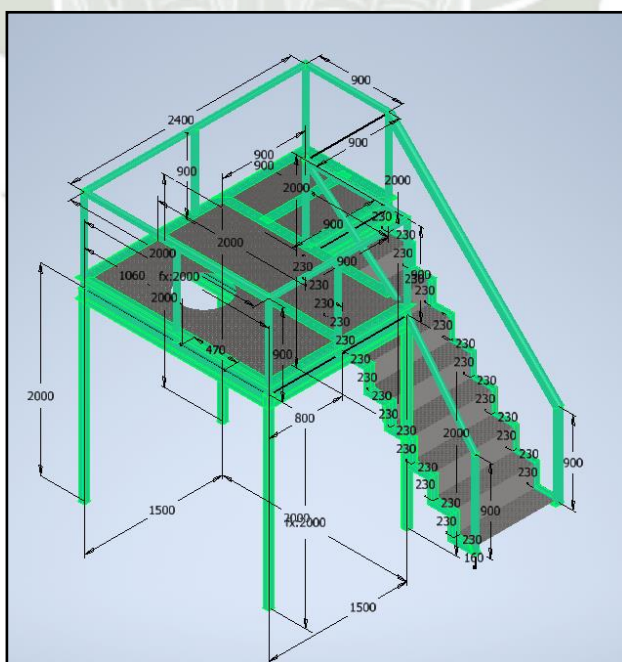


Figura N° 69: Perfiles utilizados en la estructura metálica.

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se comprobó la resistencia de la estructura haciendo uso de elementos finitos proporcionados por el software utilizado lo cual nos permitió comprobar que los cálculos realizados están correctamente elaborados obteniendo los siguientes resultados.

uestra el ensayo por deformación en el que se
representará en la base de la plataforma. La

La Figura N° 71 muestra el ensayo por deformación en el que se puede observar el punto más crítico que se presentará en la base de la plataforma. La deformación máxima que se presenta es de 0.0081691 m o lo mismo que decir 8.17 mm el cual es un resultado positivo para el diseño realizado.

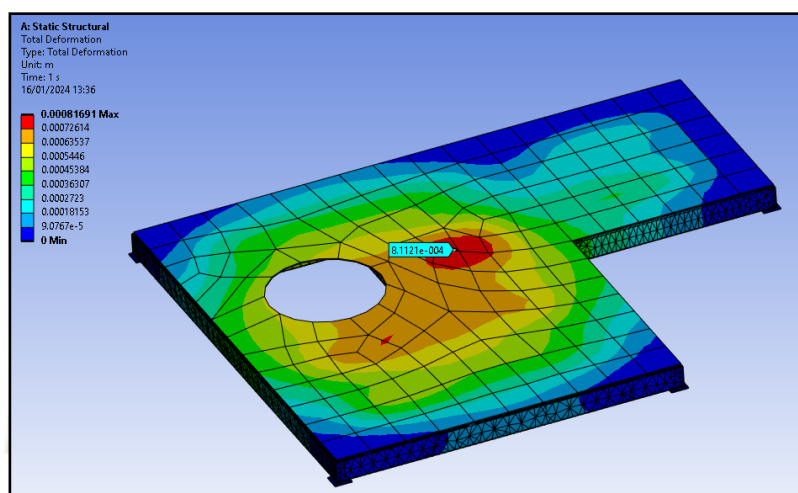


Figura N° 71: Resultados del análisis por deformación.
Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo

De igual forma, la Figura N° 72 muestra el ensayo realizado de estrés equivalente (Von-Mises) en el cual se puede observar el lugar donde se presenta la concentración máxima de esfuerzos de la base de la plataforma. El rango de valores obtenidos demuestra que la estructura no presentará problemas debido a los esfuerzos a los cuales estará sometida.

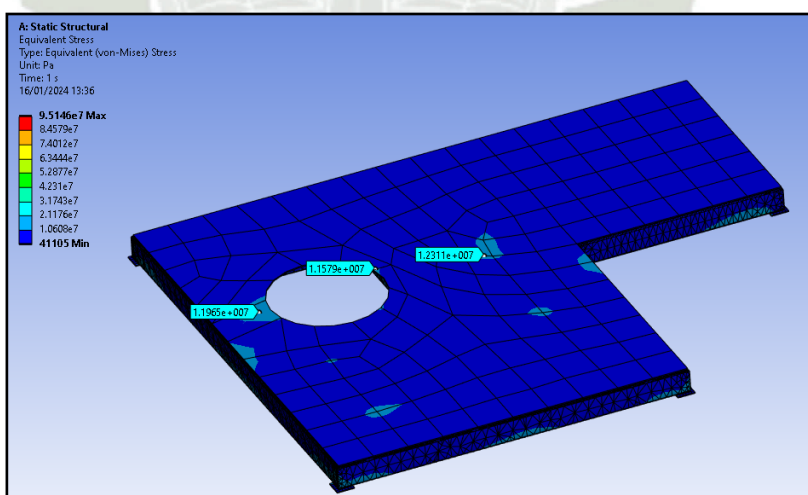


Figura N° 72: Resultados del análisis de esfuerzos.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. ANÁLISIS DE COSTOS.

3.3.1. Costos de la Automatización.

El costo de la automatización se realiza considerando únicamente los componentes necesarios para la ejecución de esta, es decir la opción de automatización con PLC.

La Tabla N° 33 nos muestra los costos de los componentes considerados para la automatización con PLC.

Tabla N° 33: Costos de componentes para automatización con PLC + HMI.

Item	Descripción	Cantidad	Precio S/
1	PLC Siemens S7-1200	1	1300.00
2	HMI Basic Ktp400	1	1400.00
3	Sensor PT1000	1	300.00
4	Transmisor S. Temp.	1	150.00
5	Sensor 2000.40.118	1	200.00
6	Cables(2m)	12	144.00
7	Cables(5m)	8	176.00
Fuente: Elaboración propia.			3510.00

3.3.2. Costos de la Estructura Metálica.

El costo de la estructura metálica se realizó en base a proveedores locales los cuales consideran el impuesto general a las ventas y a un tipo de cambio de S/ 3.85 soles por cada dólar americano.

Dentro del análisis de costos solo se toman en cuenta los costos de materiales a petición de la empresa ya que la fabricación y montaje correrá a cuenta de esta debido a que cuenta con un área de metal mecánica.

Tabla N° 34: Presupuesto de estructura metálica.

PRESUPUESTO PLATAFORMA PARA INYECTORA BATTENFLED						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	METRADO	TAMAÑO COMERCIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO S/	COSTO TOTAL S/
1	AISC W 8 x 10	11.700 m	6 m	2 und	780.00	1 560.00
2	AISC 3 x 3 x 5/16	19.360 m	6 m	4 und	380.00	1 520.00
3	ANSI 2 x 0.218	16.900 m	6 m	3 und	75.00	225.00
4	ANSI 3 x 0.300	3.559 m	6 m	1 und	166.50	166.50
5	ANSI 2 ½ x 0.276	2.619 m	6 m	1 und	90.00	90.00
6	PL 3-16 in	7.122 m ²	2.4 m x 1.2 m x 4 mm	3 pl	396.00	1 188.00
7	Perno 9/16 x 1.5	150 und	9/16 in x 1.5	150 und	0.50	75.00
Fuente: Elaboración propia.						4 824.50

3.3.3. Costo Total del Proyecto.

El costo total de la automatización lo obtenemos luego de sumar los costos de la alternativa de automatización con PLC y los costos de la estructura metálica como se muestra en la Tabla N° 35.

Tabla N° 35: Presupuesto de la automatización con PLC.

Concepto	Costo S/
Automatización con PLC	3510.00
Estructura metálica	4824.50
Fuente: Elaboración propia.	
	8334.50

CONCLUSIONES

1. Tras conocer las especificaciones técnicas de la inyectora de plásticos Battenfeld SY – 1800 III se determinó que la automatización que se llevará a cabo se encuentra en el control de apertura y cierre del sistema de acceso del polímero en forma de pallets (polietileno tereftalato) a la tolva de la máquina, cierre y apertura del molde, encendido y apagado de las resistencias eléctricas, accionamiento y parada del husillo, avance y retroceso del husillo y finalmente el tiempo de expulsión de la pieza inyectada.
2. Para el diseño de la automatización, se hizo uso del software TIA Portal el cual permitió unificar las herramientas necesarias para la configuración, programación, diagnóstico y mantenimiento del sistema. Por medio del Ladder Logic se generaron 17 pasos denominados Networks con los cuales se define el diseño de automatización propuesto brindando en cada uno de ellos una representación gráfica que se asemeja a una gráfica de circuitos eléctricos.
3. Luego de realizar un análisis de los requerimientos necesarios se decide utilizar un PLC Siemens S7-1200 debido a su fiabilidad y robustez para el medio industrial, así como a su avanzada programación por medio del intuitivo TIA Portal y la muy buena conectividad que presenta. También se valoró sus funciones de seguridad como el paro de emergencia y control de velocidad, así como su capacidad de diagnóstico integrada lo que permite ubicar y solucionar rápidamente los problemas. Finalmente se toma en cuenta la sencilla interacción con el sistema que ofrece por medio del uso de HMI (Human Machine Interface) habiéndose seleccionado el HMI KTP400.
4. Se realiza el diseño de la estructura metálica que portará un cilindro alimentador del polímero en forma de pallets. Dicha estructura deberá ser montada de tal forma que la tolva de la máquina inyectora quede debajo del cilindro alimentador. El diseño se realiza bajo los criterios del LRFD y se le comprueba con un análisis de elementos finitos del Autodesk Inventor quedando validado el diseño propuesto.
5. Finalmente, se realiza un costeo considerando únicamente los componentes y elementos necesarios para la automatización y la plataforma de estructura metálica, lo que dio como resultado un valor de S/ 8334.50.

REFERENCIAS

- Alayón, D., Caraballo-Arias, Y., & Rivera Trivison, Y. (2015). Tensión Muscular Percibida en Operarias de Máquinas de. *Ciencia & Trabajo*, 137/143.
- American Institute of Steel. (2011). *Steel Cosntruction Manual*.
- Baeza García, R. (2014). *Diseño y Fabricación de un Molde de Inyección Para Envases de Uso Alimentario*. Valencia.
- Banco Central de Reserva del Perú. (6 de Enero de 2022). *Nota Semanal N° 1*. Banco Central de Reserva del Perú. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Nota-Semanal/2022/ns-01-2022.pdf>
- Bodini, G., & Cacchi Pesan, F. (1992). *Moldes y Máquinas de Inyección Para Transformación de Plásticos*. México: MacGraw-Hill.
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2021). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico D.F.: McGraw Hill.
- Castillo, A. (Noviembre de 2021). *Situación Actual del Sector Plástico y Perspectivas de la Industria Plástica*. Sociedad Nacional de Industrias. <https://sni.org.pe/wp-content/uploads/2022/01/45-Situacion-actual-del-sector-plastico.pdf>
- Centro de Excelencia Técnica. (2019). *Norma de Construcción*. Medellín.
- Chalco Mansilla, A. R., & Díaz Cuba, Y. L. (2023). *Rediseño y Automatización de los Módulos de Turbinas Pelton Y Francis del Laboratorio de Termofluidos de la Universidad Católica de Santa María Para el Monitoreo de Flujo y Presión Empleando un Sistema SCADA*. Arequipa.
- Collantes Diaz, I. R., Leyva Sánchez, M. P., Mejía Salvatierra, J. P., & Ruíz Muro, D. R. (2017). *Planeamiento Estratégico de la Industria Peruana del Plástico*. Lima: Centrum.
- Cuyubamba Pereda, A. (15 de Agosto de 2016). “*La industria del plástico en Perú cada vez se expande*”. Feria Internacional de la Industria del Plástico. <http://expoplastperu.com/plastnews/la-industria-del-plastico-en-peru-cada-vez-se-expande-118/>
- Cuyubamba Pereda, A. (17 de Junio de 2016). *Noblecorp: “Solamente hay crecimiento en la industria del plástico”*. Feria Internacional de la Industria del Plástico. <http://expoplastperu.com/plastnews/noblecorp-solamente-hay-crecimiento-en-la-industria-del-plastico-98/>
- Diaz Maldonado, A. A. (2021). *Desarrollo de un sistema de automatización industrial aplicado a una máquina*. Lima.
- Emi Corp,. (2023). *Partes para Maquinas de Inyección de Moldeo*. México.
- Especificaciones Generales. (s.f.). *Criterios Para Diseño, Fabricación, Contrucción y Montaje de Estructuras Industriales de Acero*.
- Fagoma. (20 de Mayo de 2023). *Nosotros*. Fagoma. <https://fagoma.com.pe/nosotros/>

- Gastrow, H. (1998). *Moldes de Inyección Para Plásticos en 100 Casos Prácticos*. Barcelona: Plasic Comunicación, S.L.
- Hori A, J. (2019). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Lima: UNI.
- Huge Domains. (13 de Agosto de 2023). *MetalActual.com*. www.metalactual.com/revista/27/procesos_moldes.pdf
- IMPI. (1996). *El Mundo de los Plásticos. Tomo I*. México: Instituto Mexicano del Plástico Industrial.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (25 de Mayo de 2021). *INEI Participó en el III Congreso Internacional de la Industria Plástica*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-078-2021-inei.pdf>
- Lerma, J. R. (19 de Abril de 2021). *Interempresas*. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/347826-La-punta-del-husillo-elemento-clave-del-proceso-de-inyeccion.html>
- Mc Cormac, J., & Cserneck, S. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero*. México: Alfaomega.
- Quehui Nina, H. (2014). *Automatización de una Máquina Inyectora de Plástico en la Localidad de Puchucollo*. La Paz.
- Regal Proveedor Industrial. (2014). *Plástico-maquinado México*. Regal Proveedor Industrial. www.regalmex.com/plastico-maquinado/
- Rojas, C. (2008). *Criterios Para Diseño, Fabricación, Construcción y Montaje de Estructuras Industriales de Acero*.
- Saldarriaga, J. M. (13 de Julio de 2015). *Cuáles son perspectivas para la petroquímica en el Perú?* El Comercio. <https://elcomercio.pe/economia/peru/son-perspectivas-petroquimica-peru-194396-noticia/>
- Textos Científicos. (25 de Agosto de 2005). *Polietileno*. Textos Científicos. <https://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno>
- Todo en polimeros. (13 de Marzo de 2019). *Tipos de Boquillas en Moldeo Por Inyección*. <https://todoenpolimeros.com/2019/03/13/tipos-de-boquillas-en-moldeo-por-inyeccion/>
- Tronicarts - Multimedia-Agentur. (15 de Agosto de 2023). *Injection Molding Animation*. www.youtube.com/watch?v=b1U9W4iNDiQ
- Universidad Tecnológica de Pereira. (2013). *Metales Colombia*. Pereira. www.utp.edu.com
- Zempoalteca Aguila, M. C. (2000). *Automatización De Una Máquina de Inyección de Plástico*. Ciudad de México: Tecnológico de Monterrey.



ANEXOS

PLANOS

