



Automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado, mediante la repotenciación de una máquina inyectora, la integración de control de calidad a través de visión por computador e IoT para el monitoreo del proceso de producción, en la empresa Instalcom ubicada en la ciudad de Ambato.

Toapanta Casa, Byron Alexander y Torres López, Edwin Gabriel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecatrónico

Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro

Latacunga 4 de febrero de 2022



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado, mediante la repotenciación de una máquina inyectora, la integración de control de calidad a través de visión por computador e IoT para el monitoreo del proceso de producción, en la empresa INSTALCOM ubicada en la ciudad de Ambato”**, fue realizado por los señores **Toapanta Casa, Byron Alexander** y **Torres López, Edwin Gabriel**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 4 de febrero de 2022



Firmado electrónicamente por:
**EDWIN ALEJANDRO
CAIZALITIN
QUINALUISA**

.....
Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro M.Sc.

C.C.:0503351397



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

COPYLEAKS

TESIS_INSTALCOM_TOAPANTA_TORRES2022 (2).docx

Scanned on: 0:7 February 4, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	370
Words with Minor Changes	105
Paraphrased Words	506
Ommited Words	3899



EDWIN ALEJANDRO
CAIZALITIN
QUINALUISA

Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro M.Sc.

C.C.:0503351397



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Toapanta Casa, Byron Alexander**, cédula de ciudadanía n°0504469693 y **Torres López, Edwin Gabriel**, cédula de ciudadanía n°1804733424, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado, mediante la repotenciación de una máquina inyectora, la integración de control de calidad a través de visión por computador e IoT para el monitoreo del proceso de producción, en la empresa Instalcom ubicada en la ciudad de Ambato”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 4 de febrero de 2022

.....
Toapanta Casa, Byron Alexander

C.C.: 0504469693

.....
Torres López, Edwin Gabriel

C.C.: 1804733424



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Toapanta Casa, Byron Alexander**, cédula de ciudadanía n°0504469693 y **Torres López, Edwin Gabriel**, cédula de ciudadanía n°1804733424, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado, mediante la repotenciación de una máquina inyectora, la integración de control de calidad a través de visión por computador e IoT para el monitoreo del proceso de producción, en la empresa Instalcom ubicada en la ciudad de Ambato”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 4 de febrero de 2022

.....
Toapanta Casa, Byron Alexander

C.C.: 0504469693

.....
Torres López, Edwin Gabriel

C.C.: 1804733424

Dedicatoria

Siempre hicieron todo lo posible para que mi anhelo se cumpla. Quiero dedicar el presente proyecto a mi familia por haber sido mi apoyo incondicional a lo largo de toda mi formación académica. A mis padres Segundo y Martha quienes nunca dejaron de alentarme dándome fuerzas para continuar con mis metas propuestas, por todo el esfuerzo que realizaron, también por sus valiosos consejos y por guiarme para ser una mejor persona.

A mis hermanos Fabián, Lorena y Jennifer fieles testigos de mi formación académica y personal, porque me enseñaron que con esfuerzo y dedicación se pueden cumplir todos los sueños, por brindarme su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos y lo seguirán haciendo.

Byron A. Toapanta C.

Dedicatoria

Con mucho amor y respeto dedico el presente proyecto a mi familia por el apoyo incondicional que he recibido de su parte a lo largo de mi formación como profesional. A mis hermanos, sobrino y padres por ser el apoyo que me ha sostenido para no bajar los brazos en la lucha por alcanzar mis objetivos. A mi madre Susana López y padre Carlos Torres quienes con su consejo y ejemplo me demostraron que los sueños se alcanzan con esfuerzo, dedicación y sobre todo con fe.

Edwin G. Torres L.

Agradecimiento

Quisiera expresar mi gratitud a Dios por acompañarme en el transcurso de mi vida, por brindarme sabiduría para culminar con mis proyectos. A mis padres, hermanos y todas las personas allegadas por el ánimo, amistad y confianza depositada.

A la empresa INSTALCOM, en especial al Ing. Oscar Torres gerente y propietario por abrirme las puertas y permitir aplicar mis conocimientos adquiridos en todos estos años de estudio.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, a todos los docentes y compañeros que me acompañaron en mi formación como profesional. Especial reconocimiento merece el Ing. Caizalítín Quinaluisa, Edwin Alejandro tutor académico, quien con su experiencia, conocimiento y orientación nos ha ayudado para culminar el proyecto.

Byron A. Toapanta C.

Agradecimiento

Agradezco a mi familia por brindarme la compañía y apoyo incondicional que me han motivado a esforzarme para alcanzar mis metas y superarme cada día. A Dios por darme fuerza y salud para seguir adelante.

De igual manera quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, a la empresa INSTALCOM y al Ing. Caizalitín Quinaluisa, Edwin Alejandro tutor académico del presente proyecto, por su orientación y supervisión para que este proyecto sea llevado a cabo de la mejor manera.

Edwin G. Torres L.

Tabla de contenidos

Carátula	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación de contenido	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
Tabla de contenidos.....	10
Índice de figuras.....	17
Índice de tablas	21
Resumen	23
Abstract.....	24
Generalidades.....	25
Introducción	25
Antecedentes	25
Planteamiento del Problema	25
Descripción Resumida del Proyecto	26
Justificación e Importancia	28

	11
Objetivos	28
<i>Objetivo general.....</i>	<i>28</i>
<i>Objetivos específicos</i>	<i>29</i>
Hipótesis	29
Fundamentación teórica	30
Máquina inyectora de plantas de calzado	30
<i>Materiales para producción de plantas de calzado</i>	<i>31</i>
<i>Ciclo de inyección.....</i>	<i>32</i>
<i>Partes de una inyectora.....</i>	<i>33</i>
Unidad de alimentación de material	34
Unidad de inyección	36
<i>Tornillo sinfín</i>	<i>37</i>
<i>Barril de inyección</i>	<i>38</i>
<i>Boquilla y punta de inyección.....</i>	<i>38</i>
Unidad de cierre.....	39
<i>Válvulas distribuidoras.....</i>	<i>40</i>
<i>Cilindro hidráulico</i>	<i>41</i>
Componentes eléctricos	42
<i>Motor eléctrico</i>	<i>42</i>
<i>Arranque directo de un motor eléctrico</i>	<i>43</i>
<i>Resistencias de calentamiento</i>	<i>44</i>

Componentes eléctricos de control	45
<i>Interruptores y pulsadores.....</i>	<i>46</i>
<i>Sensores.....</i>	<i>47</i>
<i>Sensores de proximidad.....</i>	<i>47</i>
<i>Sensores de temperatura</i>	<i>51</i>
<i>Sistemas de protección de motores.....</i>	<i>52</i>
<i>Guardamotor</i>	<i>54</i>
<i>Contactores.....</i>	<i>54</i>
<i>Relé de estado solido</i>	<i>55</i>
Sistema de control.....	56
<i>Control en lazo cerrado</i>	<i>57</i>
<i>Control proporcional.....</i>	<i>58</i>
<i>Control de temperatura.....</i>	<i>60</i>
Etapas de proceso de inyección de calzado.....	60
<i>Controlador Lógico Programable</i>	<i>61</i>
<i>PLC Mitsubishi todo en uno.....</i>	<i>62</i>
<i>GX Works 2.....</i>	<i>63</i>
Control de calidad.....	64
<i>Visión por computador</i>	<i>64</i>
<i>Visión por computador en el control de calidad.....</i>	<i>64</i>
<i>Visión por computador en la industria 4.0</i>	<i>65</i>

<i>Sensor de imágenes, Cámara digital</i>	65
<i>Iluminación</i>	66
<i>Python</i>	67
<i>Raspberry Pi</i>	67
Internet de las cosas (IoT)	68
<i>Monitoreo remoto</i>	68
<i>Bases de datos</i>	69
<i>Firebase</i>	69
<i>Software Autodesk Inventor</i>	69
<i>Software Cofaso</i>	70
Diseño del sistema	72
Necesidades del cliente	72
Especificaciones Técnicas del Sistema	73
Despliegue de la Función Calidad o la Casa de la Calidad QFD	73
<i>Resultados obtenidos de la Casa de la Calidad</i>	76
Descomposición Funcional del Sistema	76
<i>Función global y despliegue de estructura funcional</i>	78
Selección de Conceptos Del Sistema	82
<i>Módulo 3. Control de la calidad</i>	82
<i>Módulo 4, Monitoreo de la producción</i>	87
Diseño mecánico del Sistema	88

<i>Diseño mecánico de la máquina inyectora</i>	89
<i>Diseño CAD de la máquina inyectora</i>	90
<i>Análisis estructural del mecanismo (prensa)</i>	90
<i>Diseño mecánico para el Control de Calidad y Monitoreo</i>	92
Diseño Eléctrico y de Control del Sistema	106
<i>PLC Coolmay EX2N-43H-16MR-4AD-2DA-V-A0-485P</i>	106
<i>Diseño del sistema eléctrico</i>	109
<i>Selección de elementos de protección</i>	114
<i>Sistema de control</i>	117
<i>Algoritmo de Control de Calidad y Monitoreo</i>	121
Implementación, pruebas y resultados	127
Limpieza y restitución de cilindro de inyección	127
Regeneración de componentes mecánicos deteriorados por oxido	128
Regeneración de tapa de cilindro de inyección.....	130
Reinserción de componentes eléctricos inservibles	131
<i>Inserción de resistencias faltantes</i>	131
<i>Reemplazo de relés de estado sólido inservibles</i>	133
Implementación de controlador lógico programable	133
<i>Remoción de módulo Logo</i>	134
<i>Cableado para el nuevo controlador</i>	136
<i>Instalación del nuevo controlador lógico programable</i>	136

<i>Implementación de control proporcional para temperatura</i>	137
<i>Implementación de control secuencial</i>	140
<i>Implementación de la interfaz de usuario</i>	142
Implementación de control de calidad	143
<i>Construcción de caja de iluminación</i>	144
Implementación de IoT para el control de calidad.....	146
Pruebas y resultados.....	146
<i>Pruebas del control de temperatura</i>	147
<i>Pruebas de control secuencial</i>	151
<i>Pruebas de luminosidad en el control de calidad</i>	152
<i>Control de calidad ante fallas por decoloración</i>	152
Control de calidad ante fallas por contorno incompleto.....	155
<i>Pruebas en la calidad de la producción de plantas de calzado</i>	156
<i>Pruebas de monitoreo remoto de control de calidad mediante IoT</i>	159
Validación de Hipótesis.....	159
<i>Validación de pares producidos por hora</i>	160
<i>Validación de la calidad de pares producidos</i>	163
Análisis de Costos.....	164
Conclusiones y recomendaciones	167
Conclusiones	167
Recomendaciones	169

Bibliografía.....	170
Anexos	173

Índice de figuras

Figura 1	<i>Máquina inyectora de plantas de calzado</i>	31
Figura 2	<i>Planta de PVC</i>	32
Figura 3	<i>Partes principales de una máquina inyectora de plantas de calzado</i>	34
Figura 4	<i>Tolva de alimentación de material</i>	36
Figura 5	<i>Esquema de unidad de inyección</i>	37
Figura 6	<i>Sistema de inyección por tornillo sinfín</i>	38
Figura 7	<i>Barril de inyección</i>	38
Figura 8	<i>Boquilla de inyección</i>	39
Figura 9	<i>Unidad de cierre</i>	39
Figura 10	<i>Esquema funcional de válvulas direccionales</i>	40
Figura 11	<i>Válvula distribuidora</i>	41
Figura 12	<i>Cilindro hidráulico de doble efecto</i>	42
Figura 13	<i>Motor eléctrico</i>	43
Figura 14	<i>Arranque directo de motor trifásico</i>	44
Figura 15	<i>Resistencias eléctricas para calentamiento de sólidos</i>	45
Figura 16	<i>Caja de control eléctrico</i>	46
Figura 17	<i>Interruptor y pulsador</i>	46
Figura 18	<i>Sensor de detección de posición, final de carrera</i>	47
Figura 19	<i>Sensor de proximidad inductivo</i>	48
Figura 20	<i>Sensor magnético de proximidad</i>	48
Figura 21	<i>Sensor óptico de proximidad</i>	49
Figura 22	<i>Sensor de proximidad ultrasónico</i>	49
Figura 23	<i>Sensor de proximidad capacitivo</i>	50
Figura 24	<i>Sensor final de carrera</i>	50
Figura 25	<i>Termocupla tipo K</i>	52

Figura 26	<i>Diagrama de protecciones de un motor</i>	53
Figura 27	<i>Guardamotor</i>	54
Figura 28	<i>Contactador</i>	55
Figura 29	<i>Relé de estado sólido</i>	56
Figura 30	<i>Representación en bloques de un sistema de control</i>	57
Figura 31	<i>Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado</i>	58
Figura 32	<i>Esquema de un control secuencial</i>	60
Figura 33	<i>Esquema de un controlador lógico programable</i>	62
Figura 34	<i>Coolmay HMI todo en uno</i>	62
Figura 35	<i>Interfaz del Software GX Works 2</i>	63
Figura 36	<i>Visión por computador aplicada al control de calidad</i>	65
Figura 37	<i>Cámara digital</i>	66
Figura 38	<i>Tipos de Iluminación</i>	67
Figura 39	<i>Raspberry Pi 3</i>	68
Figura 40	<i>Software Autodesk Inventor</i>	70
Figura 41	<i>Software Cofaso</i>	71
Figura 42	<i>Despliegue de la Casa de la Calidad</i>	75
Figura 43	<i>Diagrama funcional de una pistola de clavos manual</i>	77
Figura 44	<i>Función Global del Sistema de la máquina de inyección de calzado</i>	78
Figura 45	<i>Módulos principales obtenidos de la función global del sistema</i>	79
Figura 46	<i>Subfunciones del primer módulo de operación</i>	79
Figura 47	<i>Subfunciones del segundo módulo de operación</i>	80
Figura 48	<i>Estructura Funcional de la máquina inyectora de calzado</i>	81
Figura 49	<i>Diseño CAD de la máquina</i>	90
Figura 50	<i>Factor de diseño para cargas repetidas</i>	92
Figura 51	<i>Ubicación de Cámara e Iluminación</i>	93

Figura 52 <i>Distancia de visión</i>	94
Figura 53 <i>Ángulo de visión</i>	94
Figura 54 <i>Dimensiones de la base</i>	95
Figura 55 <i>Dimensiones de la tapa</i>	97
Figura 56 <i>Distancia entre el operador y la pantalla</i>	99
Figura 57 <i>Triángulo de Pitágoras</i>	100
Figura 58 <i>Ángulo de visión</i>	101
Figura 59 <i>Análisis del ángulo de visión</i>	101
Figura 60 <i>Diseño CAD para la base</i>	102
Figura 61 <i>Diseño CAD para el soporte de la cámara</i>	104
Figura 62 <i>Diseño CAD para el Control de Calidad y Monitoreo del Producto</i>	104
Figura 63 <i>Factor de diseño para cargas estáticas</i>	106
Figura 64 <i>Regla de nomenclatura</i>	107
Figura 65 <i>Descripción del hardware</i>	108
Figura 66 <i>Algoritmo de control para la máquina</i>	112
Figura 67 <i>Esquema eléctrico de conexión de resistencias de calentamiento</i>	115
Figura 68 <i>Datasheet de un relé de estado sólido MS-1DA4825</i>	117
Figura 69 <i>Respuesta de control proporcional</i>	120
Figura 70 <i>Contornos de las plantas de calzado</i>	121
Figura 71 <i>Transformación morfológica de apertura</i>	123
Figura 72 <i>Transformación morfológica de cierre</i>	123
Figura 73 <i>Algoritmo de control para Supervisión de Calidad y Monitoreo</i>	126
Figura 74 <i>Obstrucción en cilindro de inyección con material quemado</i>	128
Figura 75 <i>Limpieza en cilindro de inyección de material quemado</i>	128
Figura 76 <i>Componentes mecánicos corroídos</i>	129
Figura 77 <i>Componentes mecánicos libres de corrosión</i>	129

Figura 78	<i>Cubierta de la tapa del cilindro de inyección deteriorada</i>	130
Figura 79	<i>Cubierta de la tapa del cilindro de inyección restaurada</i>	131
Figura 80	<i>Zona del cilindro de inyección sin resistencias</i>	132
Figura 81	<i>Reinserción de resistencias en la punta del cilindro de inyección</i>	132
Figura 82	<i>Reemplazo de relé de estado sólido defectuoso</i>	133
Figura 83	<i>Pantalla TDE de controlador Logo</i>	134
Figura 84	<i>Caja de control con módulo Logo antes de ser removido</i>	135
Figura 85	<i>Caja de control sin módulo Logo</i>	135
Figura 86	<i>Cableado para el nuevo controlador</i>	136
Figura 87	<i>Instalación de PLC Mitsubishi todo en uno</i>	137
Figura 88	<i>Configuración de salidas proporcionales</i>	139
Figura 89	<i>Configuración del control proporcional</i>	140
Figura 90	<i>Programación Ladder implementada</i>	141
Figura 91	<i>Carga de la programación Ladder al PLC Mitsubishi</i>	142
Figura 92	<i>Implementación de interfaz de usuario</i>	143
Figura 93	<i>Interfaz de usuario implementado</i>	144
Figura 94	<i>Caja construida de acero inoxidable</i>	145
Figura 95	<i>Caja de iluminación para el control de calidad</i>	145
Figura 96	<i>Aplicación web para monitoreo remoto del control de calidad</i>	146
Figura 97	<i>Set Point colocado para prueba de tiempos</i>	148
Figura 98	<i>Error de ± 2 en el control de temperatura</i>	149
Figura 99	<i>Comparativa entre planta de mala y buena calidad por el color</i>	153
Figura 100	<i>Detección de planta de buena calidad</i>	153
Figura 101	<i>Detección de planta de mala calidad</i>	154
Figura 102	<i>Detección de planta de mala calidad por contorno incompleto</i>	155
Figura 103	<i>Monitoreo remoto del control de calidad mediante IoT</i>	159

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Necesidades del Cliente</i>	72
Tabla 2 <i>Especificaciones Técnicas del Sistema</i>	73
Tabla 3 <i>Valoración y Simbología Utilizada para la Casa de la Calidad</i>	74
Tabla 4 <i>Grado de Correlación</i>	74
Tabla 5 <i>Filtrado de Conceptos del Controlador</i>	83
Tabla 6 <i>Selección de Conceptos del Controlador</i>	84
Tabla 7 <i>Filtrado de Conceptos de la Cámara Digital</i>	85
Tabla 8 <i>Selección de Conceptos de la Cámara Digital</i>	86
Tabla 9 <i>Selección de Conceptos de la Iluminación</i>	87
Tabla 10 <i>Selección de Conceptos para el Monitoreo de Producción</i>	88
Tabla 11 <i>Características generales de la máquina</i>	90
Tabla 12 <i>Características y propiedades del acero inoxidable</i>	103
Tabla 13 <i>Características y propiedades del compuesto ABS</i>	103
Tabla 14 <i>Especificaciones técnicas del PLC Coolmay</i>	107
Tabla 15 <i>Especificaciones técnicas del HMI</i>	108
Tabla 16 <i>Registro analógico</i>	109
Tabla 17 <i>Entradas digitales</i>	109
Tabla 18 <i>Entradas analógicas</i>	109
Tabla 19 <i>Salidas digitales</i>	110
Tabla 20 <i>Comparación de entradas y salidas analógicas - digitales</i>	110
Tabla 21 <i>Pruebas de tiempo de asentamiento en control proporcional</i>	148
Tabla 22 <i>Pruebas de error en control de temperatura</i>	150
Tabla 23 <i>Pruebas de duración de un ciclo de producción</i>	151
Tabla 24 <i>Pruebas de funcionamiento de control de calidad</i>	154
Tabla 25 <i>Pruebas de detección de fallas por contorno incompleto</i>	155

Tabla 26 <i>Pruebas de calidad en plantas blancas</i>	157
Tabla 27 <i>Pruebas de calidad en plantas cafés</i>	158
Tabla 28 <i>Análisis económico del proyecto</i>	165
Tabla 29 <i>Comparación Entre Máquinas Inyectoras de plantas de calzado</i>	166
Tabla 30 <i>Comparación entre máquinas inyectoras de plantas de calzado</i>	166

Resumen

En el presente proyecto se realiza la automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado mediante la repotenciación de una máquina, la cual se encuentra inoperativa debido a varios fallos eléctricos, mecánicos e hidráulicos. También se realiza control de calidad a las plantas producidas mediante una Raspberry Pi 3, se visualiza en una pantalla táctil de 7" y se monitorea el producto con el servidor Firebase. Primero se realiza una investigación de máquinas de inyección que realicen un proceso similar sobre su funcionamiento, partes y características importantes para poder repotenciar la máquina. Aplicando conocimientos de Automatización Industrial, programación de controladores lógicos programables y haciendo uso del PLC Mitsubishi Coolmay de la serie EX 2N se automatiza la máquina y se diseña el HMI en dos pantallas, en la primera se ingresa el Set Point y se observa las temperaturas de la máquina en dos zonas, en la segunda pantalla se configuran los tiempos de inyección y enfriamiento. Se reemplazan componentes eléctricos averiados. Se obtiene el modelo mecánico de la máquina de inyección para realizar análisis estructural y verificar su correcto funcionamiento. Como resultado final se tendrá la automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado, el control de calidad y el monitoreo en IoT mejorando así, el proceso de producción, optimizando el tiempo, recursos humanos, tecnológicos y económicos. Finalmente se realizan pruebas de funcionamiento, se validan los resultados obtenidos y se detallan las conclusiones y recomendaciones.

Palabras clave:

- **MÁQUINA DE INYECCIÓN**
- **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**
- **SUPERVISIÓN DE CALIDAD**
- **MONITOREO REMOTO**

Abstract

In this project the automation of the manufacturing process of footwear plants is performed by repowering a machine, which is inoperative due to several electrical, mechanical and hydraulic failures. Quality control is also performed to the plants produced by means of a Raspberry Pi 3, it is visualized on a 7" touch screen and the product is monitored with the Firebase server. First an investigation of injection molding machines that perform a similar process on its operation, parts and important features to repower the machine is performed. Applying knowledge of Industrial Automation, programming of programmable logic controllers and making use of the PLC Mitsubishi Coolmay of the EX 2N series, the machine is automated and the HMI is designed in two screens, in the first one the Set Point is entered and the temperatures of the machine in two zones are observed, in the second screen the injection and cooling times are configured. Faulty electrical components are replaced. The mechanical model of the injection molding machine is obtained to perform structural analysis and verify its correct operation. The final result will be the automation of the manufacturing process of footwear plants, quality control and IoT monitoring, thus improving the production process, optimizing time, human, technological and economic resources. Finally, operational tests are performed, the results obtained are validated and the conclusions and recommendations are detailed.

Key words:

- **INJECTION MACHINE**
- **INDUSTRIAL AUTOMATION**
- **QUALITY SUPERVISION**
- **REMOTE MONITORING**

Capítulo I

1 Generalidades

1.1 Introducción

En el presente capítulo se redactan los antecedentes de los sistemas de manufactura de plantas de calzado, el estado en el que se encuentra la máquina inyectora antes de su repotenciación y se detallan los problemas que posee la misma. Se realiza la justificación e importancia que tiene el proyecto, además se plantean los objetivos y la hipótesis que se pretende alcanzar con la elaboración del presente proyecto.

1.2 Antecedentes

En un inicio las máquinas inyectoras carecían de control automático aproximadamente en los años 30, la posición de las máquinas inyectoras era vertical y las fuerzas que requerían variaban entre las 10 y 50 toneladas.

En los años 50 aparecieron los sistemas oleo hidráulicos. En este mismo periodo la posición de las máquinas inyectoras verticales cambiaron a horizontales. En los años 60, se introduce la lógica cableada en las máquinas inyectoras. Ya para inicio de los 70, se empezaron a escuchar términos como el husillo inyector.

A partir de la década de los 80 se incorpora controles de programación con HMI a través de un monitor. Finalmente, en los 90 después aparecieron con tecnología de inyección con gas. En estos últimos años se han multiplicado las máquinas híbridas que combinan las tracciones eléctricas e hidráulicas.

1.3 Planteamiento del Problema

Actualmente la máquina inyectora no se encuentra totalmente funcional, habiendo varias falencias que requieren de mantenimiento como son: falta de

componentes eléctricos extraídos a través del tiempo como contactores y elementos de protección contra sobrecargas, varios elementos deteriorados como son carcazas y sistemas mecánicos corroídos. Además, la máquina requiere Automatización Mecatrónica para cumplir los requerimientos de la industria actual

La máquina no cumple con el objetivo de producción de la empresa, debido a que su funcionamiento no es eficaz en el proceso de fabricación, por lo que se considera oportuna la implementación de control automático mediante un PLC, rediseño de componentes mecánicos, implementación del IoT para el monitoreo, todo esto con el fin de optimizar la producción y facilite el trabajo al operario.

La falta de control de calidad del producto representa un problema para la empresa, ya que las unidades que salen al mercado con fallas suelen ser retornadas al fabricante, la detección temprana de imperfecciones en las plantas de calzado permite que la empresa pueda reutilizar ese material de forma inmediata, evitando la pérdida de tiempo y dinero que significa el transporte inicial y el posterior retorno de su producto defectuoso. Por lo que es necesario un sistema de control de calidad.

Con los nuevos estándares industriales se considera la necesidad de implementar IoT como alternativa para realizar monitoreo remoto del producto, de tal forma que la empresa pueda formar parte de la industria 4.0 con todas las ventajas que ello representa para la misma.

1.4 Descripción Resumida del Proyecto

El propósito del desarrollo de este proyecto es la automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado mediante la repotenciación de la máquina que se encuentra obsoleta durante dos años siendo útil solo para ciertos trabajos, todo esto con el objetivo de aumentar las líneas de producción que tiene actualmente la planta,

mediante la implementación de un sistema automático, haciendo uso de un controlador lógico programable, reemplazando y rediseñando los elementos mecánicos deteriorados y corroídos.

Obtener el modelo mecánico de la máquina de inyección para calzado de plantas para a través de este modelo CAD realizar un estudio y un análisis en cuanto a la dinámica de la máquina y determinar si se puede realizar modificaciones sin alterar el funcionamiento principal de la máquina, todo esto con el fin de reducir errores que se pueda presentar y ser muy dificultoso de corregir si se encuentran implementados.

En cuanto a instrumentación se revisará los sensores y actuadores de la máquina (termopares, sensores de proximidad, el motor hidráulico, la bomba, las válvulas y las resistencias eléctricas) puesto que son necesarios para el control de variables como temperatura y presión, también se revisará el estado de las tuberías. La temperatura y la presión de operación de la máquina deben ajustarse según el material a moldear, el ajuste de las variables de temperatura, presión y tiempos determinan la calidad del producto.

Además, para asegurar que el producto fabricado sea de buena calidad se va implementar el control de calidad de las plantas de calzado mediante una técnica de visión por computador.

Finalmente se enlazará dicho proceso a una plataforma de programación basada en IoT para el monitoreo continuo de la producción, de manera que la empresa se pueda adentrar a la industria 4.0.

Como resultado final se tendrá la automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado, mejorando el proceso de producción, optimizando el tiempo, recursos humanos, tecnológicos y económicos.

1.5 Justificación e Importancia

Actualmente los elevados costos en nuevas máquinas de inyección dificultan que el empresario pueda invertir en nueva maquinaria con tecnología moderna, que además permitan mejorar la calidad del producto y obtener el crecimiento de la industria en el país.

El proyecto se justifica porque a través de los procesos realizados, la máquina permitirá de manera automatizada la manufactura de plantas de calzado, facilitando el trabajo del operario y aumentando las líneas de producción de la empresa. Las mejoras implementadas permitirán cumplir con el objetivo de producción de la empresa, la cual podrá satisfacer la alta demanda que tiene en el mercado.

El estudio mecánico que se realizará de la máquina permitirá detectar sistemas y componentes que se puedan mejorar o dar mantenimiento, lo que contribuye a que la repotenciación realizada proporcione mejores resultados.

El control de calidad y la implementación de IoT permitirá la inclusión de la empresa en la industria 4.0, con todos los beneficios que ello representa para la misma, como la reducción de costes de producción, monitoreo del comportamiento de la producción, incremento de la capacidad productiva entre otros.

1.6 Objetivos

1.6.1 *Objetivo general*

Automatizar el proceso de manufactura de plantas de calzado, mediante la repotenciación de una máquina inyectora, realizar control de calidad a través de visión por computador e implementar IoT para el monitoreo del proceso de producción, en la empresa INSTALCOM ubicada en la ciudad de Ambato

1.6.2 Objetivos específicos

- Investigar acerca de las características originales de la máquina a repotenciar y sobre métodos de control de calidad en plantas de calzado.
- Seleccionar los componentes más adecuados que reemplazaran a los que se han removido de la máquina con el pasar del tiempo.
- Dar mantenimiento a elementos mecánicos deteriorados y corroídos.
- Rediseñar el sistema de control eléctrico con el controlador lógico programable.
- Desarrollar la secuencia de control más adecuada para el funcionamiento de la máquina.
- Implementar algoritmos de visión por computador para el control de calidad del producto final.
- Instalar un sistema de monitorización mediante IoT para el proceso de producción de plantas de calzado.
- Realizar pruebas en el proceso de manufactura para visualizar los resultados de las mejoras realizadas y validar su funcionamiento.

1.7 Hipótesis

La automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado mediante la repotenciación de la máquina inyectora, la integración de control de calidad a través de visión por computador e IoT para el monitoreo del proceso de producción permitirá mejorar el proceso de producción y la calidad del producto final en la empresa

INSTALCOM

Capítulo II

2 Fundamentación teórica

2.1 Máquina inyectora de plantas de calzado

Una máquina inyectora permite la producción de plantas de calzado mediante el principio de inyección de materiales termoplásticos. El componente en estado líquido-pastoso es impulsado sobre un molde metálico para obtener la forma deseada, posteriormente ocurre el proceso de solidificación y extracción del producto.

La inyección de materiales termoplásticos es un proceso reversible, consiste en fundir el termoplástico a altas temperaturas, en un sistema llamada inyectora. La máquina empuja el material termoplástico en estado líquido pastoso hacia las cavidades del molde con la forma de la planta, este proceso se genera a altas velocidades y presiones. Posteriormente, el plástico fundido en el molde, cambia de estado, adaptándose a las formas de las partes huecas del molde donde ha sido inyectado. Finalmente se genera una pieza de plástico sólida con la apariencia de una planta de calzado. ("INYECCION DE MATERIALES PLASTICOS I", 2011).

El molde tiene un papel importante en la máquina de inyección, pues el material termoplástico adoptará la forma y acabado. De ser el caso se puede cambiar sacando los tornillos de la prensa. Tiene dos partes iguales del mismo tamaño y forma, generalmente son rectangulares y se unen herméticamente. En cada parte del molde se tiene una cavidad por donde ingresará el fluido del termoplástico caliente y se obtendrá la forma del producto final. ("Qué Es El Moldeo Por Inyección De Plástico", 2017).

Toda máquina inyectora consta del mismo principio de funcionamiento el cual se lo puede resumir de la siguiente manera.

Se funde el material a altas temperaturas con lo cual permite que la materia prima fundida ingrese en un molde y tomar la forma del mismo lográndose el objetivo deseado.

Se empuja la masa viscosa producida mediante la fundición del material por medio de la actuación de un elemento móvil, ya sea de pistón hidráulico o por sistema de tornillo sinfín hacia el molde específico.

Una vez en el molde el material fundido es sometido a alta presión para posteriormente solidificarse.

Figura 1

Máquina inyectora de plantas de calzado



2.1.1 Materiales para producción de plantas de calzado

En la industria de la fabricación de plantas de calzado se emplea una gran variedad de materias primas distintas para su producción, dependiendo del tipo de calzado para el cual están destinadas, entre los materiales más empleados existen eva, cuero, goma, caucho crepé, termoplásticos, corcho, esparto o yuca.

Un termoplástico es un material formado principalmente de petróleo, ideal para emplearse en procesos de fabricación por inyección, debido a su capacidad para fundirse a altas temperaturas volviéndose muy moldeable y flexible, con el descenso de temperatura tiende a solidificarse, esta propiedad es muy aprovechada por la industria para moldear objetos en masa como plantas de calzado.

Las plantas realizadas con materiales termoplásticos son fabricadas principalmente por métodos de inyección, a su vez entre los materiales termoplásticos más utilizados para la fabricación de plantas de calzado se tienen el PVC y el poliuretano por sus excelentes características como su flexibilidad y buena capacidad para resistir el alargamiento y sus excelentes propiedades para el relleno de holguras.

Figura 2

Planta de PVC



2.1.2 Ciclo de inyección

El molde que contiene la forma de la planta de calzado se cierra mediante la acción de la unidad de cierre, manteniendo la presión para evitar aperturas debido a la fuerza de inyección.

Posteriormente se activa la unidad de inyección, la cual puede ser de dos tipos dependiendo de la máquina inyectora.

Las máquinas inyectoras totalmente hidráulicas presentan un tornillo sinfín que arrastra el material a un nuevo compartimiento desde donde es empujado a los moldes por la acción de un pistón hidráulico.

En las máquinas inyectoras más comunes el tornillo sinfín es el encargado de empujar directamente el material a los moldes.

La acción del tornillo sinfín, hace que el material fundido pase a través de una boquilla directamente hacia el molde cerrado.

Se tiene un tiempo de espera en el cual el material pasa a solidificarse dentro de las cavidades del molde, adaptando la forma del mismo y estando listo para su comercialización.

Finalmente se produce la apertura de los moldes mediante acción hidráulica, permitiendo la extracción del producto elaborado y dejando el sistema listo para el siguiente ciclo.

2.1.3 Partes de una inyectora

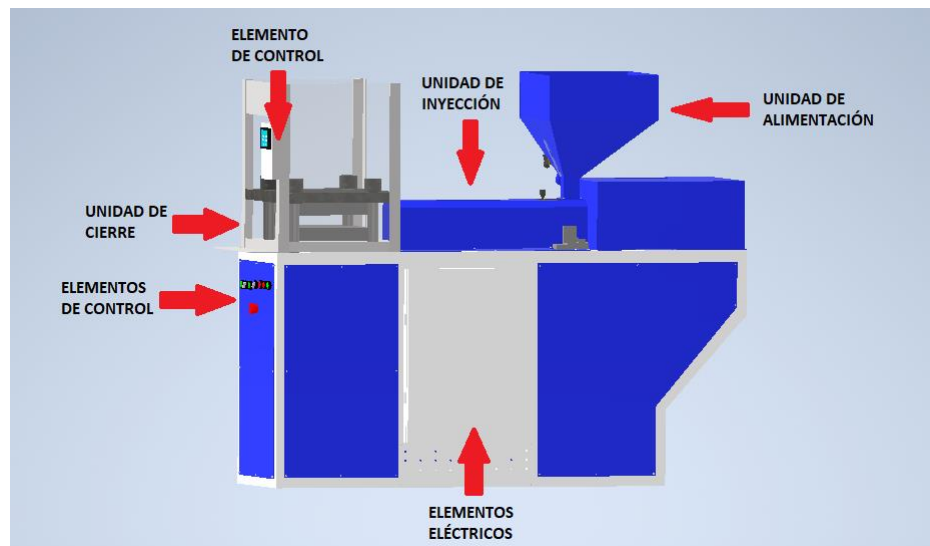
De acuerdo al tipo y modelo de inyectora las partes y componentes de la misma pueden variar, si bien las partes principales son comunes a la mayoría de inyectoras algunas pueden presentar mayor cantidad de componentes, como ejemplo se mencionan inyectoras totalmente hidráulicas que requieren de un pistón hidráulico extra encargado de impulsar el material a los moldes, máquinas bicolor con porta moldes extra para realizar el cambio de color, máquinas rotativas con sistemas de giro y posicionamiento complejos, a continuación se describen las partes principales de las

máquinas inyectoras más comunes, cuyo etapa de inyección la realiza directamente el tornillo sinfín.

- Unidad de alimentación, encargada de suministrar la materia prima al proceso.
- Unidad de inyección, encargada de transportar el material hacia la cavidad de los moldes.
- Unidad de cierre, encargada de cerrar a presión el molde, generalmente mediante sistemas hidráulicos.
- Elementos eléctricos y de control, consta de componentes que funcionan mediante energía eléctrica y realizan algún control dentro del proceso.

Figura 3

Partes principales de una máquina inyectora de plantas de calzado



2.2 Unidad de alimentación de material

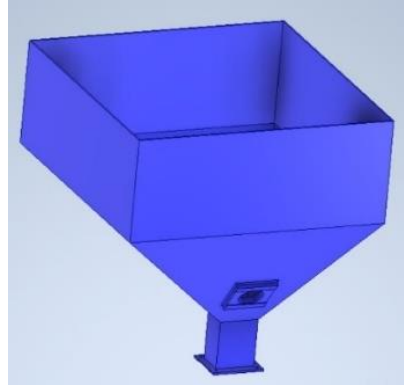
La unidad de alimentación es el elemento o conjunto de elementos que permiten el ingreso de materia prima al proceso.

Esta unidad en la mayoría de máquinas de inyección de plantas de calzado consiste en una tolva en forma de embudo de gran tamaño “una tolva es una cavidad en donde se vierte una sustancia, material o componente, en cuya parte inferior cuenta con una cavidad que permite el paso de la materia a otra sección de un proceso”, en donde se vierte el material en forma granulada, posteriormente dicho material cae al sistema de calentamiento por efecto de la gravedad, este tipo de sistema sencillo permite abastecer de una gran cantidad de materia prima al proceso sin la necesidad de recurrir a actuadores que empujen el material al siguiente proceso.

El material termoplástico es introducido en la tolva de alimentación y posteriormente pasa al tornillo sinfín en el barril de inyección. El material es alimentado por efecto de la gravedad en el barril. Las tolvas son por lo general contenedores truncados que se clasifican en cortas y tolvas largas.

Las tolvas largas por lo general necesitan de un soporte en la garganta para montarla en la máquina inyectora de plantas. Su principal problema es que presentan complicaciones si se requiere mover la tolva de la máquina inyectora cuando se requiere de inspección en la entrada del material al cañón.

“Algunas máquinas presentan un equipo auxiliar neumático para mover fácilmente este tipo de tolvas. Otras presentan la opción de un dispositivo magnético en la base, su propósito es únicamente tratar de eliminar cualquier objeto metálico que pudiese caer dentro de la tolva de alimentación” (“INYECCION DE MATERIALES PLASTICOS I”, 2011).

Figura 4*Tolva de alimentación de material***2.3 Unidad de inyección**

En la unidad de inyección el material se funde, de ser necesario se mezcla con otros componentes y se empuja hacia las cavidades de los moldes. Se emplean tornillos sinfín (tornillos de hierro o que se usan en el movimiento de algunas máquinas) para inyectar la materia prima, las características del sistema de inyección dependen del termoplástico a utilizar. Se consideran las siguientes propiedades termodinámicas para el proceso de inyección:

- La temperatura adecuada para procesar el polímero.
- Capacidad calorífica del termoplástico C_p . [cal/g °C].
- El calor latente de fusión.

La unidad de inyección es en origen una máquina de extrusión con un solo husillo, teniendo el barril calentadores y sensores para mantener una temperatura programada constante" ("Las partes de una máquina inyectora", 2007).

Es la unidad en la que se funde el material mediante técnicas de control en lazo cerrado para posteriormente ser inyectado al molde donde la materia prima adoptará la

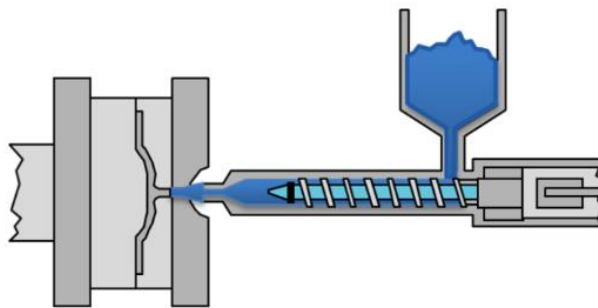
forma final deseada, el material una vez que sale de los cañones empezará a enfriarse por lo que es importante que esta etapa del proceso se ejecute a altas velocidades.

La presión a la cual se inyecta el material es un factor fundamental en el proceso ya que de esto depende la manera en la que el termoplástico va a rellenar los espacios del molde para adoptar la figura del mismo.

De los dos métodos descritos anteriormente, se utilizará para este proyecto la inyección por tornillo sinfín, siendo uno de los más utilizados en la industria.

Figura 5

Esquema de unidad de inyección



Nota. Fundición del material de inyección, Tomado de Brtlh, 2016.

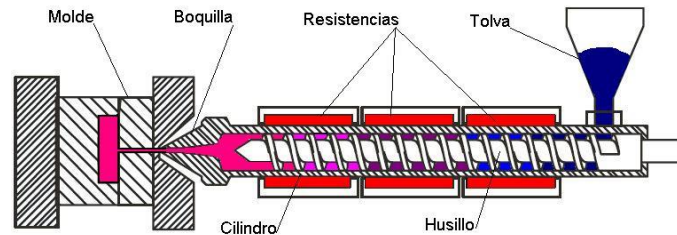
2.3.1 Tornillo sinfín

Un tornillo sinfín es un mecanismo que se emplea en la transmisión de movimientos entre ejes perpendiculares, con cada vuelta del tornillo sinfín se produce un avance de la corona cuyo número de dientes es el mismo que las entradas sinfín.

Los tornillos sinfín son muy utilizados en la industria de inyección de termoplásticos en el proceso de suministrar material a los moldes, llevando material suministrado por la unidad de Alimentación y que se ha transformado a su estado líquido pastoso previamente.

Figura 6

Sistema de inyección por tornillo sinfín



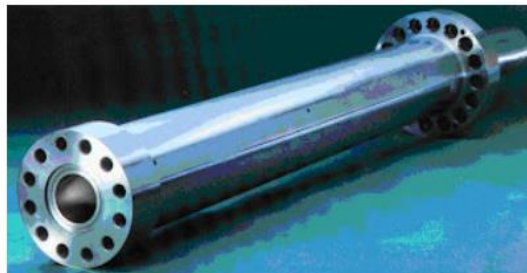
Nota. Partes principales del sistema de inyección. Tomado de Brtlh, 2020.

2.3.2 Barril de inyección

Se trata de cilindros huecos, generalmente fabricados de acero aleado con la finalidad de dotarlo de la capacidad para soportar las altas temperaturas de trabajo, así como las altas presiones que se producen en su interior, en cuyo interior el material pasa de su estado sólido a un estado líquido-pastoso debido a las altas temperaturas.

Figura 7

Barril de inyección



Nota. Barril de inyección para fundición de polímeros. Tomado de Tecnología de los plásticos, 2011.

2.3.3 Boquilla y punta de inyección

Se trata del elemento que permite la conexión entre la unidad de inyección y el molde, se encuentra alineada perfectamente con la cavidad de ingreso de material que se encuentra en el molde y evita que se produzcan derrames de material.

Figura 8*Boquilla de inyección*

Nota. Punta de inyección que permite comunicación entre la unidad de inyección y el molde. Tomado de Tecnología de los plásticos, 2011.

2.4 Unidad de cierre

Es la unidad encargada de generar presión entre las dos caras del molde con la finalidad de que el mismo no se abra debido a la fuerza que ejerce el proceso de inyección, esta unidad está formada por el equipo que soporta el molde y del mecanismo de cierre, el mismo que puede ser de diferentes tipos, sin embargo el sistema de cierre por cilindros hidráulicos es el más extendido a nivel industrial debido a la gran presión que son capaces de suministrar dichos cilindros además de la facilidad en su control mediante válvulas distribuidoras con solenoide comandadas por dispositivos de control eléctrico industrial.

Figura 9*Unidad de cierre*

2.4.1 Válvulas distribuidoras

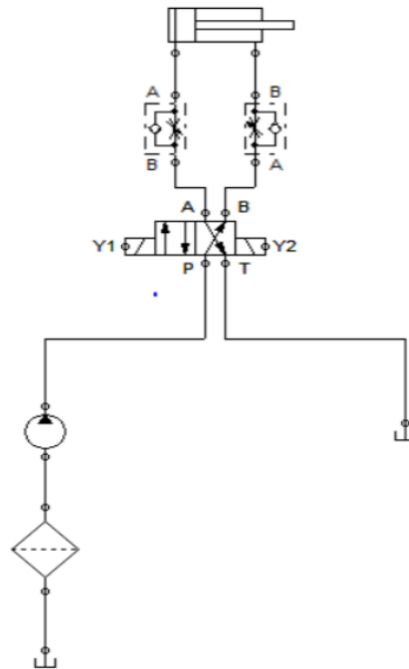
Los sistemas hidráulicos se emplean en una gran variedad de aplicaciones industriales debido a su capacidad de ejercer grandes presiones, emplean fluidos bajo presión para generar movimiento en elementos mecánicos, como cilindros hidráulicos lineales y rotativos.

“Las válvulas distribuidoras o de control direccional se utilizan para cambiar el sentido del flujo de aceite dentro del cilindro y mover el pistón de un extremo al otro de su carrera” (Creus Solé, 2007, p. 167).

En las máquinas inyectoras de plantas de calzado se utilizan válvulas con solenoide, lo que permite realizar control automático mediante controladores lógicos programables.

Figura 10

Esquema funcional de válvulas direccionales



Las válvulas direccionales permiten el control de la expansión y retracción del pistón hidráulico encargado de generar el cierre y apertura de la unidad de cierre en máquinas inyectoras, las válvulas con 4 empalmes y 2 posiciones son las más utilizadas a nivel industrial.

Figura 11

Válvula distribuidora



Nota. Válvula para control direccional. Tomado de Seven Ocean Hydraulics, 2021.

2.4.2 Cilindro hidráulico

“Los actuadores hidráulicos, que son los más usuales y de mayor antigüedad en las instalaciones hidráulicas, pueden ser clasificados de acuerdo con la forma de operación, y aprovechan la energía de un circuito o instalación hidráulica de forma mecánica” (Creus Solé, 2007, p. 157).

“El cilindro de acción doble utiliza la fuerza generada por el fluido hidráulico para mover el pistón en los dos sentidos, mediante una válvula de solenoide” (Creus Solé, 2007, p. 158).

“Los actuadores hidráulicos proporcionan pares y fuerzas elevadas y un buen control del movimiento y ésta es su principal ventaja frente a los sistemas neumáticos y eléctricos” (Creus Solé, 2007, p. 158).

“Los cilindros hidráulicos de movimiento lineal son utilizados comúnmente en aplicaciones donde la fuerza de empuje del pistón y su desplazamiento son elevados” (Creus Solé, 2007, p. 159).

Figura 12

Cilindro hidráulico de doble efecto



Nota. Cilindros hidráulicos utilizado para generar movimiento lineal. Tomado de Slideshare, 2019.

2.5 Componentes eléctricos

Se trata de todos aquellos elementos que requieren de energía eléctrica para su funcionamiento, en máquinas industriales se encuentran elementos eléctricos que realizan algún tipo de acción como los motores eléctricos y resistencias de calentamiento muy utilizadas en la inyección de plásticos.

2.5.1 Motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina rotativa cuya función es generar energía mecánica a partir de energía eléctrica, la misma que se transmite mediante un eje giratorio que permite generar trabajo en una gran cantidad de aplicaciones, son ampliamente utilizados debido a sus múltiples ventajas respecto a otro tipo de máquinas rotativas como motores de combustión interna. Entre sus ventajas se puede mencionar su economía, la facilidad que presentan en cuanto a su funcionamiento, su bajo

requerimiento de mantenimiento y la facilidad del mismo y su buena capacidad para generar grandes fuerzas de trabajo.

Figura 13

Motor eléctrico

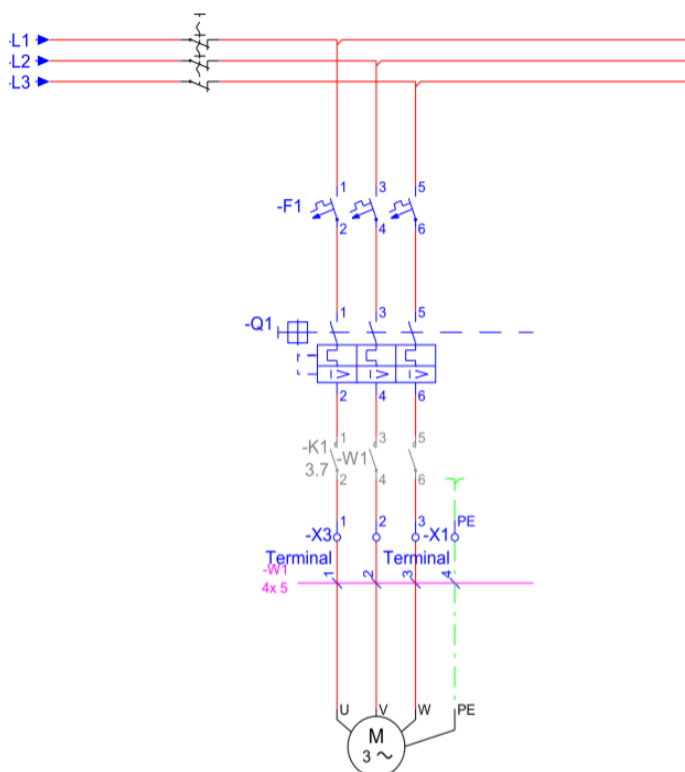


Nota. Motores trifásicos de corriente alterna, Tomado de TRANSELEC, 2015.

2.5.2 Arranque directo de un motor eléctrico

En la etapa de arranque de un motor eléctrico trifásico es común que la intensidad absorbida exceda la nominal en valores considerables dependiendo del tipo de motor, por esta razón es común regular la relación entre intensidad de arranque e intensidad en régimen para motores con potencias que excedan los 0.75 KW, para reducir tal relación se emplean diversos tipos de configuración de arranque, tales como arranque en estrella-triángulo, arranque mediante autotransformador y arranque mediante resistencias en serie con el bobinado estatórico, sin embargo también es común emplear el método de arranque directo con contactor. (Delgado, 2015).

El arranque directo con contactor es el método más sencillo para el encendido de motores eléctricos trifásicos, en esta técnica se conectan de forma directa los contactos de un contactor con los devanados estatóricos, con lo cual se genera un arranque directo del motor simplemente con accionar los contactos. El arranque directo se utilizará para las conexiones eléctricas del proyecto.

Figura 14*Arranque directo de motor trifásico*

2.5.3 Resistencias de calentamiento

Una resistencia eléctrica para calentamiento industrial es un elemento que produce calor a partir de energía eléctrica, existe una gran variedad de tipos de fabricación de acuerdo a la necesidad de la industria.

Para procesos de inyección de materiales termoplásticos, como el caso de las máquinas inyectoras de plantas de calzado se emplean resistencias de calentamiento de tipo abrazadera debido a su capacidad para proporcionar calor a superficies de forma cilíndrica, son diseñadas de acuerdo a la necesidad de la maquinaria de diferentes dimensiones y capacidades de potencia.

Cuentan con la característica de estar totalmente aisladas y de estar protegidas eléctricamente, para mayor seguridad de operarios.

Figura 15

Resistencias eléctricas para calentamiento de sólidos



2.6 Componentes eléctricos de control

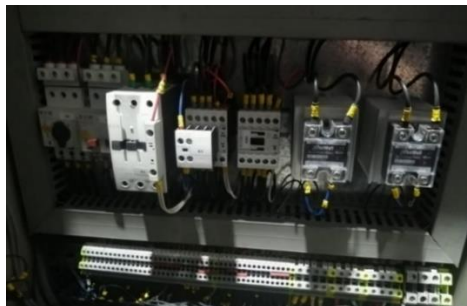
Consisten en un grupo de elementos que sirven para manejar de alguna manera la energía eléctrica suministrada en un aparato.

La conexión de elementos eléctricos o electrónicos que se relacionan por medio de conductores se denominan control eléctrico, en conjunto son de gran ayuda para control en un equipo o en varios equipos. A través del control se permite el paso o no de la energía eléctrica al equipo (Gasca Ordoñez, Bautista, Quintero, & Gómez Urrego, 2012).

Los elementos que conforman un sistema de control eléctrico se clasifican según su función. Se definen las siguientes funciones dentro del sistema de control, maniobras, mando manual, mando Auxiliar o Automático, señalización, protección (Gasca Ordoñez, Bautista, Quintero, & Gómez Urrego, 2012).

Figura 16

Caja de control eléctrico

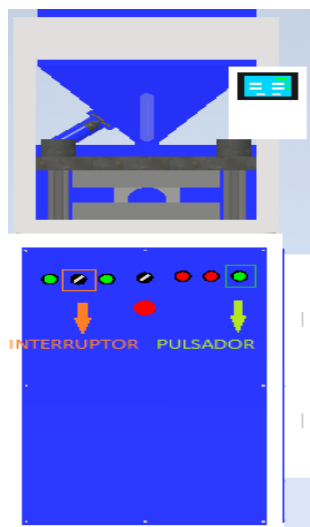


2.6.1 Interruptores y pulsadores

Son elementos que permiten el paso de corriente o lo impiden de manera manual al ser accionados por el operario, el pulsador realiza dicha acción de manera momentánea mientras permanece presionado, mientras que el interruptor realiza la operación de manera permanente de acuerdo a la posición en la cual haya sido colocado, pudiendo permanecer abierto o cerrado mientras que no se modifique su posición.

Figura 17

Interruptor y pulsador



2.6.2 Sensores

“El sensor produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo. En el caso de un elemento para medir temperatura mediante resistencia eléctrica, la cantidad que se mide es la temperatura generando un cambio en la resistencia” (Bolton, 2013, p. 29).

Figura 18

Sensor de detección de posición, final de carrera



2.6.3 Sensores de proximidad

Los sensores de proximidad indican la posición que tiene un objeto siempre que este en movimiento y en base a un punto de referencia, generalmente se utiliza a una distancia corta del objeto, denominada distancia crítica. Son en esencia dispositivos que dan salidas del tipo encendido o apagado.

En los sensores de desplazamiento el objeto debe entrar en contacto mecánico con el sensor, algo que no sucede con los sensores de posición ya que no hay contacto físico entre el objeto y el sensor (Bolton, 2013, p. 35).

Sensores de proximidad inductivos. Un sensor de proximidad inductivo determina la cercanía de elementos metálicos, siendo capaz de detectar de mejor manera ciertos materiales de acuerdo a sus características. Producen campos magnéticos al energizar una bobina. Cuando un elemento metálico se aproxima al

campo magnético generado por la bobina se induce en el una corriente de Foucault, De esta manera se producen campos magnético opuestos que ocasionan que la inductancia del sensor sea menor.

Figura 19

Sensor de proximidad inductivo



Nota. Sensores de proximidad inductivos para detectar elementos metálicos. Tomado de infoPLC, 2015.

Sensores magnéticos de proximidad. Se emplean en la medición de posiciones y velocidades de elementos metálicos que se desplazan, se detectan variaciones en la reluctancia magnética, la misma que se puede comparar a manera de analogía con las resistencias eléctricas en los circuitos eléctricos. Éste sensor se compone de imanes permanentes, piezas polares y bobinas que permiten el proceso de detección, todo debidamente cerrado dentro de una caja.

Figura 20

Sensor magnético de proximidad

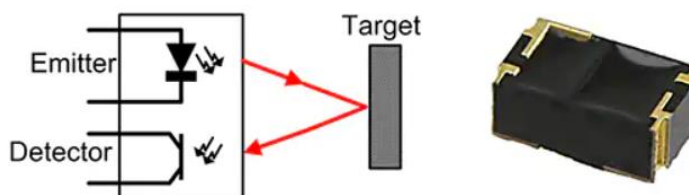


Nota. El captador magnético para medición de posiciones. Tomado de Digi-Key, 2021.

Sensor óptico de proximidad. Los sensores ópticos emiten luz infrarroja o visible para detectar objetos y controlan la luz reflejada en el objeto. La principal característica es que no importa el tipo de material, sino más bien, solo debe haber una interrupción en la luz.

Figura 21

Sensor óptico de proximidad



Nota. Sensor óptico que emite luz infrarroja. Tomado de Digi-Key, 2021.

Sensores de proximidad ultrasónicos. Son sensores que permiten detectar objetos a distancias considerables de hasta varios metros, utilizan el tiempo de vuelo que generan los impulsos ultrasónicos como factor para realizar la medición, se emite un impulso y éste es reflejado por el objeto retornando al receptor del sensor

Figura 22

Sensor de proximidad ultrasónico



Nota. Sensor ultrasónico para detección de objetos a distancias considerables. Tomado de Digi-Key, 2021.

Sensores de proximidad capacitivos. La principal característica del sensor de proximidad capacitivo es que puede detectar objetos metálicos y no metálicos.

A diferencia de los sensores inductivos se sustituyen las bobinas tipo inductivas por una placa de detección capacitiva

Figura 23

Sensor de proximidad capacitivo

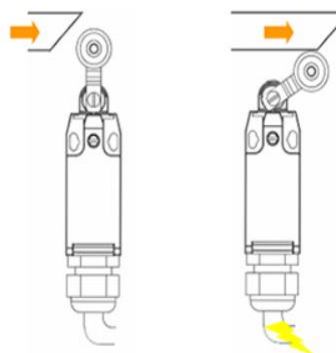


Nota. Sensor capacitivo para detección de metales y no metales. Tomado de Digi-Key, 2021.

Sensor de proximidad final de carrera. Los finales de carrera son elementos sensores de proximidad que se activan de forma mecánica, el contacto con el objeto a detectar hace que el sensor conmute de un estado normalmente cerrado a uno normalmente abierto o a la inversa, son los elementos sensores que más se encuentra en la industria.

Figura 24

Sensor final de carrera



Nota. Generalidades de Finales de carrera y sus principales usos. Tomado de Laumayer, 2020.

2.6.4 Sensores de temperatura

Es bastante común realizar mediciones de temperatura en la industria, ya que el calor es un factor que se encuentra presente en todo tipo de fenómenos físicos, la medición de temperatura se realiza para controlar variables importantes en un determinado proceso industrial o de producción.

Se puede mencionar una gran cantidad de procesos en los que la temperatura influye de manera importante:

- Incremento o disminución en el volumen de un cuerpo.
- Modificaciones en resistencias eléctricas en conductores.
- Modificaciones en resistencias eléctricas en materiales semiconductores.
- Fuerzas electromotrices generadas en las uniones de materiales metálicos con distintas propiedades.
- Radiación emitida por objetos.

Termopares. Están constituidos por dos metales diferentes, al unir se produce una diferencia de potencial, esto depende del tipo de metal y de la temperatura de la unión.

Si las dos uniones están a igual temperatura, no existe diferencia de potencial. Si la temperatura es diferente sí se produce una diferencia de potencial. Para determinar E se debe relaciona los dos metales utilizados y las temperaturas t del par de uniones. Es preferible que una de las dos uniones tenga un valor de 0°C , y entonces se cumple, hasta cierto punto, donde a y b son las constantes de los metales utilizados. (Bolton, 2013, p. 59).

$$E = at + bt^2 \quad (2.1)$$

Las termocuplas tipo K son los sensores de temperatura más usados en la industria, por su alto rango de trabajo, tiene la capacidad de medir temperaturas extremadamente altas de hasta 1200 grados centígrados, en el rango de trabajo de 300°C y 550°C suele ser inestable; pudiendo marcar errores de varios grados en su medición, pero para rangos de temperatura inferiores es sumamente estable lo que la hace ideal para aplicaciones de inyección de termoplásticos en las que las temperaturas no superan los 200 °C.

Figura 25

Termocupla tipo K



Nota. Termocupla Tipo K con Rosca de 8mm. Tomado de Electropro, 2017.

2.6.5 **Sistemas de protección de motores**

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece, en la ITC-BT-47, las condiciones generales de instalación y protecciones mínimas que deben acompañar a los motores eléctricos durante su funcionamiento. Estas son:

Protección contra sobreintensidades. Como regla general a los motores se deben proteger contra cortocircuitos y contra sobrecargas en cada una de sus líneas de alimentación. La protección de sobrecargas en los motores trifásicos debe evitar el riesgo de la falta de tensión en una de sus fases. Para determinar los elementos de

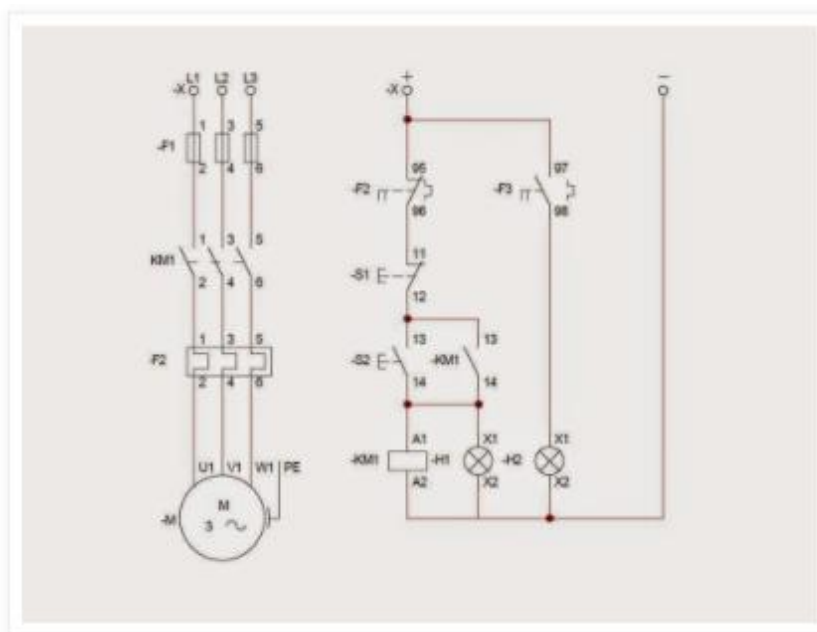
protección se debe seguir indicaciones del fabricante y deben estar acorde con los motores. (Rodríguez et al., 2014, p. 236).

Protección contra la falta de tensión. La protección de un motor ante fallas por falta de tensión se realiza mediante dispositivos que permiten desconectar de forma inmediata y automática la fuente de alimentación, debido a que, si se llegara a producir un arranque espontáneo en el motor al volver la tensión de manera imprevisible, se pueden producir accidentes o generarse averías en el motor. (Rodríguez et al., 2014, p. 236).

Limitación de las corrientes de arranque. En el caso de que existan efectos que ponen en peligro a la instalación u de ocasionar perturbaciones no deseables se debe limitar la corriente suministrada en el arranque. (Rodríguez et al., 2014, p. 236).

Figura 26

Diagrama de protecciones de un motor



Nota. Protección de motor con fusibles y térmico. Tomado de AUTOMATISMO Y MANTENIMIENTO ELÉCTRICO, 2015.

2.6.6 Guardamotor

Se trata de un dispositivo de protección diseñado para la protección de motores eléctricos. Funciona de manera similar a un interruptor automático magnetotérmico, de hecho, el símbolo gráfico que identifica a ambos es el mismo, pero presenta una serie de ventajas con respecto a este que lo convierten en el equipo por excelencia para la protección de motores trifásicos:

- Es mucho más robusto frente a las sobrecorrientes transitorias producidas durante la fase de arranque del motor.
- La zona de disparo térmico está regulada a mayor tiempo e intensidad.
- Dispone de una ruleta selectora para regular el reglaje del disparo térmico.
- Proporciona protección frente a la falta de tensión en una fase.
- Dispone de acoplamientos mecánicos específicamente diseñados para la conexión de bloques de contactos auxiliares NO y NC (Rodríguez et al., 2014, p. 238).

Figura 27

Guardamotor



2.6.7 Contactores

El contactor es un dispositivo de conexión y desconexión de circuitos de fuerza, se utiliza en casi todas las instalaciones de automatismos industriales para controlar la

apertura o cierre de la alimentación de actuadores eléctricos, es un dispositivo que permite generar mandos automáticos, ya que el operario no tiene la posibilidad de manipular los mencionados dispositivos (Rodríguez et al., 2014, p. 35).

Se energiza la bobina del contactor, mediante los mandos de control del proceso que se está controlando, la alimentación eléctrica activa al electroimán y los contactos del contactor que permanecían en estado normalmente abierto se cierran dejando pasar la corriente, los contactos que permanecían en estado normalmente cerrado se abren impidiendo el paso de energía eléctrica, si la bobina se mantiene energizada el estado de los contactores no cambiará (Rodríguez et al., 2014, p. 35).

Figura 28

Contactor



Nota. Dispositivo de conexión y desconexión de circuitos de fuerza. Tomado de Orlando Ramos, 2001.

2.6.8 Relé de estado sólido

Un relé de estado sólido (SSR) realiza la misma función que los relés mecánicos, pero se diferencian de estos porque no tienen partes móviles. “Los relés de estado sólido son dispositivos semiconductores con una velocidad de conmutación muy superior a la de los relés electromecánicos, del orden de los 50 a 100 milisegundos” (Intronica, 2020).

Su característica principal es que entre la corriente de control y la corriente de potencia se encuentra aislado completamente, siendo de vital importancia para separar la parte de control de la parte de potencia. La ventaja de estos relés es que protegen al circuito y tienen mayor durabilidad en comparación a otros relés. (Intronica, 2020).

Figura 29

Relé de estado sólido



2.7 Sistema de control

“Un sistema de control automático es una interconexión de elementos que forman una configuración denominada sistema, de tal manera que el arreglo resultante es capaz de controlar se por sí mismo. Un sistema o componente del sistema susceptible de ser controlado, al cual se le aplica una señal $r(t)$ a manera de entrada para obtener una respuesta o salida $y(t)$, puede representarse mediante bloques” (Hernandez Gaviño, 2010, p. 2).

“El vínculo entrada-salida es una relación de causa y efecto con el sistema, por lo que el proceso por controlar (también denominado planta) relaciona la salida con la entrada” (Hernandez Gaviño, 2010, p. 2).

Las funciones de un sistema de control son:

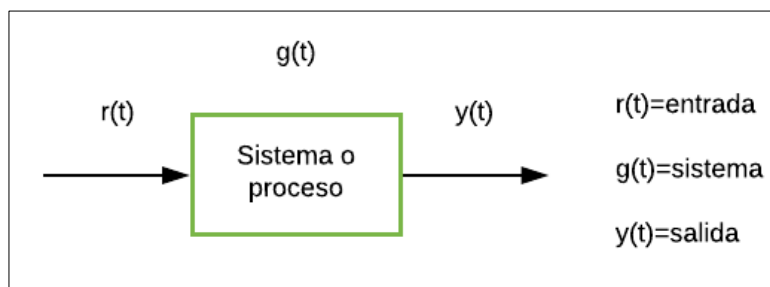
Controlar una variable en particular. “Por ejemplo, un sistema central de calentamiento donde la temperatura se controla para un valor particular” (Bolton, 2013, p. 9).

Controlar la secuencia de eventos. “Por ejemplo, las marcas de una lavadora que establecen el lugar y el tiempo de un ciclo, por ejemplo, ‘blancos’ y entonces un ciclo de lavado en particular controla la lavadora, esto es, secuencia de eventos, apropiado para ese tipo de ropa” (Bolton, 2013, p. 9).

Controlar si ocurre o no un evento. “Por ejemplo, un seguro en una máquina por el cual no puede ser operada hasta que el dispositivo de seguridad esté en posición” (Bolton, 2013, p. 9).

Figura 30

Representación en bloques de un sistema de control



2.7.1 Control en lazo cerrado

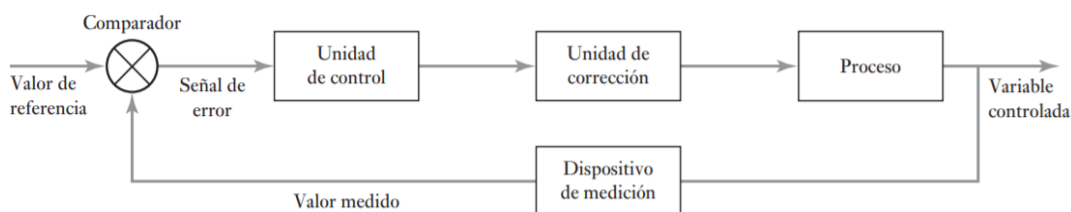
Se trata de un sistema que permite mantener una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, para lo cual las compara y usa la diferencia como medio de control.

Los sistemas de control en lazo cerrado se denominan también sistemas de control realimentados.

“En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador con la señal de error de actuación, que representa la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, para reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema” (Ogata, 2010, p. 9).

Figura 31

Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado



Nota. Sistemas de control electrónico con retroalimentación, Tomado de William Bolton, 2013.

2.7.2 Control proporcional

En la industria hay una gran variedad de controladores en lazo cerrado que proporcionan una gran robustez y seguridad, cuya elección e implementación están determinadas por las características del sistema a controlar, los recursos con que se cuenta entre otras condiciones, controladores como el de acción proporcional, el control integral, el control proporcional integral, el control proporcional derivativo e integrativo más conocido como (PID) entre otros son aplicados ampliamente en procesos industriales como regulación de velocidad, presión, temperatura entre otros.

El control proporcional tiene un funcionamiento más sencillo que el control PID ya que no aplica acción integral ni derivativa, sin embargo, se trata de un sistema más complejo que el de encendido y apagado, ya que en un control proporcional la salida es modulada dependiendo del valor del error, es decir, si la diferencia entre el valor deseado y el real es grande la salida del control proporcional también lo será, mientras esta diferencia va disminuyendo el controlador modula la salida para que esta disminuya según la proporción en que disminuye el error, como ejemplo se menciona el caso de un controlador proporcional implementado en un PLC para controlar la temperatura en una máquina de inyección de plantas de calzado mediante la modulación de una salida PWM, al iniciar el control el error es grande y por lo tanto el valor de la salida PWM también lo es, mientras aumenta la temperatura disminuye el error y por lo tanto también el valor de PWM, a medida que el error se acerca a cero la salida se vuelve muy pequeña evitando sobre impulsos y estabilizándose la temperatura en el valor deseado.

$$m(t) = Kp * e(t) \quad (2.2)$$

Donde;

- $m(t)$ = Salida proporcional
- Kp = Constante de proporcionalidad
- $e(t)$ = Error

El control proporcional es uno de los más usados por su sencillez y buena estabilidad, en este tipo de controlador la magnitud de la salida es proporcional al tamaño del error, entre más grande sea el error, más grande será la salida del controlador. (Bolton, 2013, pp. 338 - 339).

2.7.3 Control de temperatura

El control de temperatura es una de las aplicaciones de los sistemas de control en lazo cerrado en donde la variable a controlar es la temperatura existente en un entorno o sustancia, una de las aplicaciones más utilizadas a nivel industrial es el control de temperatura, ya que se lo puede observar en varios procesos como hornos, calderas, cámaras de refrigeración, inyección de plástico entre otras.

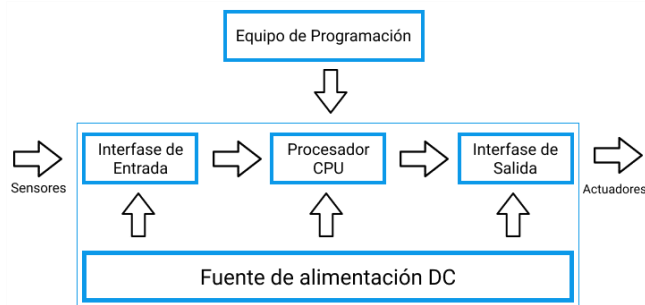
En la industria de la inyección de plástico el control de temperatura es fundamental para obtener una buena calidad en el producto final, ya que la etapa de transformación de la materia prima de su estado sólido a su estado líquido-pastoso debe llevarse a cabo a la temperatura ideal de tal manera que el material no se sobrecaliente y se queme.

2.8 Etapas de proceso de inyección de calzado

En procesos industriales, cuando las acciones necesarias de producción cumplen una secuencia en determinado tiempo se dice que se realiza un control secuencial, el cual se obtiene empleando un circuito eléctrico integrado por varios interruptores operados por levas. (Bolton, 2013, p. 19).

Figura 32

Esquema de un control secuencial



Nota. Estructura secuencial de automatización y sistemas de control de proceso, por Asaf Mtanous, 2021.

2.8.1 Controlador Lógico Programable

Un sistema comandado por PLC es aquel en el cual se emplea un controlador lógico programable para cumplir con las acciones requeridas por el proceso, normalmente son sistemas en donde se requiere seguir una secuencia predefinida para cumplir con un objetivo, como en procesos de fabricación industrial, señalización, control de instalaciones entre otros.

“Un controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo electrónico digital que usa una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas, de secuencia, de sincronización, de conteo y aritméticas para controlar máquinas” (Bolton, 2013, p. 467).

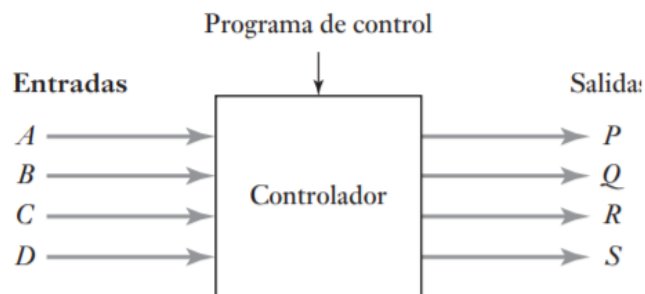
Los PLC son los controladores más utilizados en la industria para controlar procesos de producción que requieran cumplir con una secuencia determinada.

“Una característica importante de los PLC es que tienen la gran ventaja de que permiten modificar un sistema de control sin tener que volver a alambrar las conexiones de los dispositivos de entrada y salida; basta con que el operador digite en un teclado las instrucciones correspondientes” (Bolton, 2013, p. 467).

Un PLC es un dispositivo que se asemeja a una computadora, con la diferencia que tiene la capacidad de comunicarse con un proceso a través de sus entradas y salidas, lo que permite usarlo como controlador, Tienen características especiales diseñadas específicamente para su aplicación en la industria, como robustez, resistencia a vibraciones, altas temperaturas, humedad y ruido, la interfaz para las entradas y las salidas está dentro del controlador, es muy fácil programarlos (Bolton, 2013, p. 467).

Figura 33

Esquema de un controlador lógico programable



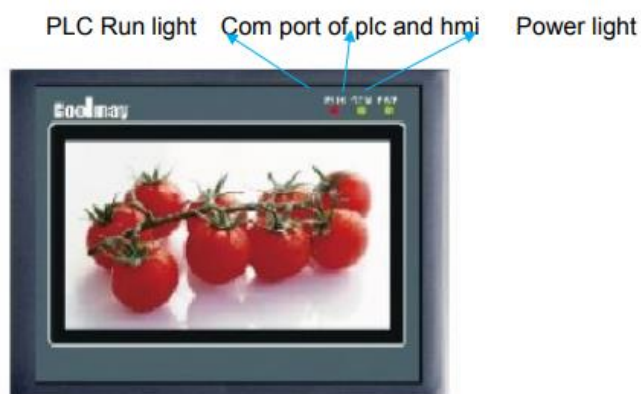
Nota. Entradas y salidas de un controlador lógico programable, Tomado de William Bolton, 2013.

2.8.2 PLC Mitsubishi todo en uno

Se trata de controladores lógicos programables que cuentan con pantalla HMI integrada en un solo dispositivo, no requieren de módulos de expansión al tener entradas analógicas además de entradas y salidas digitales, es un dispositivo de dimensiones reducidas, además de que brinda una buena seguridad y confiabilidad para realizar proyectos de automatización.

Figura 34

Coolmay HMI todo en uno



Nota. PLC Coolmay descripción del hardware. Tomado de Coolmay Automation Expert, 2018.

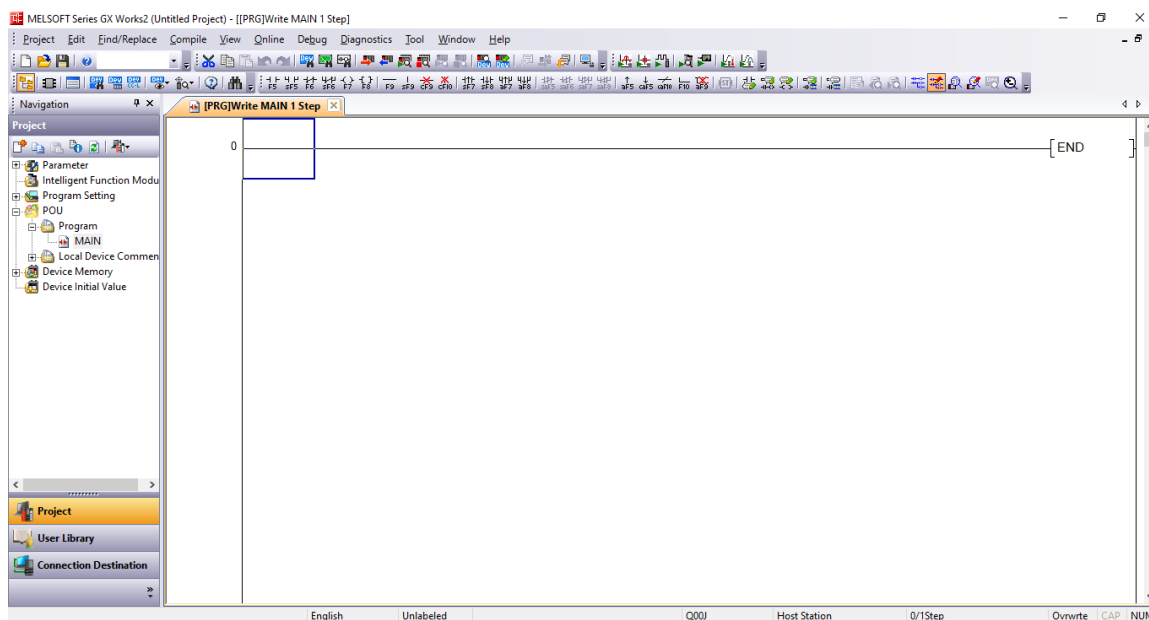
2.8.3 GX Works 2

Se trata del software de la marca Mitsubishi destinado a la programación de los PLCs fabricados por su marca, es un software de fácil instalación y relativamente sencillo de utilizar, permite realizar programas mediante lenguajes estándar a nivel industrial, como son diagramas de bloques en función, diagramas de funciones secuenciales, lista de instrucciones y lógica en escalera o programación Ladder, el cual es el lenguaje de programación para PLCs más común a nivel industrial.

El lenguaje Ladder es un lenguaje de programación gráfico, se basa en el diseño de sistemas de control eléctrico por lógica cableada lo cual lo hace fácil de entender y programar, sus elementos para la creación de programas son los mismos que se encontraría en un esquema eléctrico tradicional, es decir, contactos abiertos y cerrados, bobinas, temporizadores y contadores, donde los contactos son asociados con entradas digitales y las bobinas con salidas, marcas o elementos de memoria.

Figura 35

Interfaz del Software GX Works 2



2.9 Control de calidad

“La calidad es un factor imprescindible de las empresas en los mercados cada vez más competitivos. En el concepto de calidad, se incluye la satisfacción del cliente y se aplica tanto al producto como a la organización” (Cabezón Gutiérrez, 2014).

El control de calidad, implica que todos los elementos de un grupo de trabajo cooperan para que su producto mejore, tanto en diseño y fabricación. Para este tipo de propósitos existen procesos que implican la implantación de programas, mecanismos, herramientas y/o técnicas en la empresa para la mejora en la calidad de sus productos (Cabezón Gutiérrez, 2014).

2.9.1 Visión por computador

“La visión por computador o visión artificial abarca todos procesos y dispositivos que proporcionan el sentido de la vista a una máquina, lo que implica que: la visión artificial o comprensión de imágenes describe la deducción automática de la estructura y propiedades de un mundo tridimensional, a partir de imágenes bidimensionales de ese mundo” (González et al., 2006, p. 11).

“Las estructuras y propiedades del mundo tridimensional que se quieren deducir en visión artificial incluyen no sólo sus propiedades geométricas, sino también sus propiedades materiales” (González et al., 2006, p. 11).

2.9.2 Visión por computador en el control de calidad

“El control de calidad de productos manufacturados es un proceso al que se le demandan hoy en día unas prestaciones muy elevadas. En este contexto, la visión artificial se está convirtiendo en una de las tecnologías más precisas y eficientes de cara a obtener un aseguramiento de la calidad fiable, robusto y rápido de distintos tipos de productos” (Ruíz et al., 2009).

Figura 36

Visión por computador aplicada al control de calidad



2.9.3 *Visión por computador en la industria 4.0*

“La visión por computador representa una herramienta relevante dentro de la industria 4.0, ya que está claramente integrada en cada uno de los apartados de un proceso productivo. La trazabilidad, el control de calidad, el soporte a la producción, la seguridad industrial, el control de procesos, la logística, así como la generación de enormes cantidades de datos, constituyen una parte integral de las acciones en las que los sistemas de visión artificial intervienen” (Salvador , 2017).

2.9.4 *Sensor de imágenes, Cámara digital*

“Las cámaras digitales permiten transmitir información directamente digital, lo que produce una gran calidad frente a ruidos que puedan aparecer en los elementos de transmisión, además cuentan con bits de detección/corrección de errores para verificar y corregir la información recibida, como desventaja el cable necesario es de un espesor considerable” (González et al., 2006, p. 19).

Figura 37*Cámara digital*

Nota. Cámara web Genius para adquisición de imágenes. Tomado de Easytoner, 2018.

2.9.5 Iluminación

La iluminación de la escena tiene que ser de forma correcta por la importancia que tiene. Existen varias formas de iluminación:

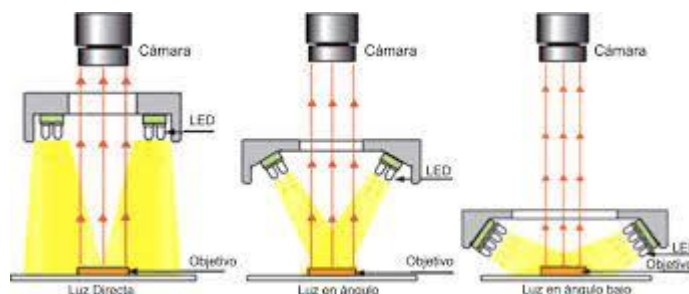
Iluminación Frontal. “La cámara se posiciona mirando al objeto en la misma dirección que la luz. Esto reduce las sombras, suaviza las texturas y minimiza la influencia de rayas, polvo e imperfecciones que pueda tener el objeto” (ELECTRONICS, 2017)

Iluminación Lateral. “La cámara se posiciona mirando al objeto mientras que la dirección de la luz es lateral al objeto. El grado de inclinación del elemento emisor de luz vendrá determinado por el grado deseado de resalte de los relieves” (ELECTRONICS, 2017)

Iluminación por campo oscuro. “La luz es emitida lateralmente con un ángulo muy pequeño mediante un anillo en todas las direcciones, rebotando en los defectos del objeto a analizar e incidiendo en la cámara” (ELECTRONICS, 2017)

Figura 38

Tipos de Iluminación



Nota. Formas de Iluminación utilizadas en la Industrial para control da calidad. Tomado de LOGIC ELECTRONINCS, 2017.

2.9.6 Python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel que se utiliza para desarrollar aplicaciones de todo tipo. Difiere de otros tipos de lenguajes de programación como Java o .NET, pues se trata de un lenguaje interpretado, es decir, que no requiere compilarlo para ejecutar las aplicaciones escritas en Python, sino que se ejecutan directamente por el ordenador utilizando un programa denominado interpretador, por lo que no es necesario “traducirlo” a lenguaje máquina ("Python: qué es y por qué deberías aprender a utilizarlo", 2021).

2.9.7 Raspberry Pi

“Se trata de un ordenador de bajo coste y tamaño reducido, tanto es así que cabe en la palma de la mano, pero se puede conectar a un televisor o monitor y un teclado para interactuar con ella exactamente igual que cualquier otra computadora, la Raspberry Pi es la placa de un ordenador simple compuesto por un SoC, CPU, memoria RAM, puertos de entrada y salida de audio y vídeo, conectividad de red, ranura SD para almacenamiento, reloj, una toma para la alimentación, conexiones para periféricos de bajo nivel” (Rodríguez de, 2018).

Figura 39*Raspberry Pi 3*

Nota. Tarjeta de adquisición de datos y control Raspberry Pi 3, Tomado de Xataca, 2018.

2.10 Internet de las cosas (IoT)

Internet de las Cosas conocido por sus siglas como (IoT) es una traducción de la expresión en inglés Internet of Things, que implica la idea de que varios elementos se conectan y comparten información. Es una innovación tecnológica cuyo objetivo principal es conectar elementos, cosas, herramientas entre otras cosas que usamos diariamente a internet, para volver el mundo físico cada vez más digital (Valois, 2018).

2.10.1 Monitoreo remoto

El monitoreo remoto es una nueva herramienta que permite la visualización de procesos o eventos a larga distancia mediante la conexión a internet de objetos, sensores y equipos de diversa índole.

En el ámbito industrial las técnicas de monitoreo remoto van adquiriendo cada vez más relevancia, sobre todo en procesos donde las condiciones de trabajo pueden ser peligrosas para un operario o para monitoreo de varios elementos por medio de una sola persona.

2.10.2 Bases de datos

“Se define una base de datos como una serie de datos organizados y relacionados entre sí, los cuales son recolectados y explotados por los sistemas de información de una empresa o negocio en particular” (Pérez Valdés, 2007).

Los Sistemas de Gestión de Base de Datos son un tipo de software específico, que se puede emplear como interfaz entre la base de datos, el usuario y las aplicaciones que la utilizan. Sus principales componentes son el lenguaje de definición de datos, el lenguaje de manipulación de datos y el lenguaje de consulta (Pérez Valdés, 2007).

2.10.3 Firebase

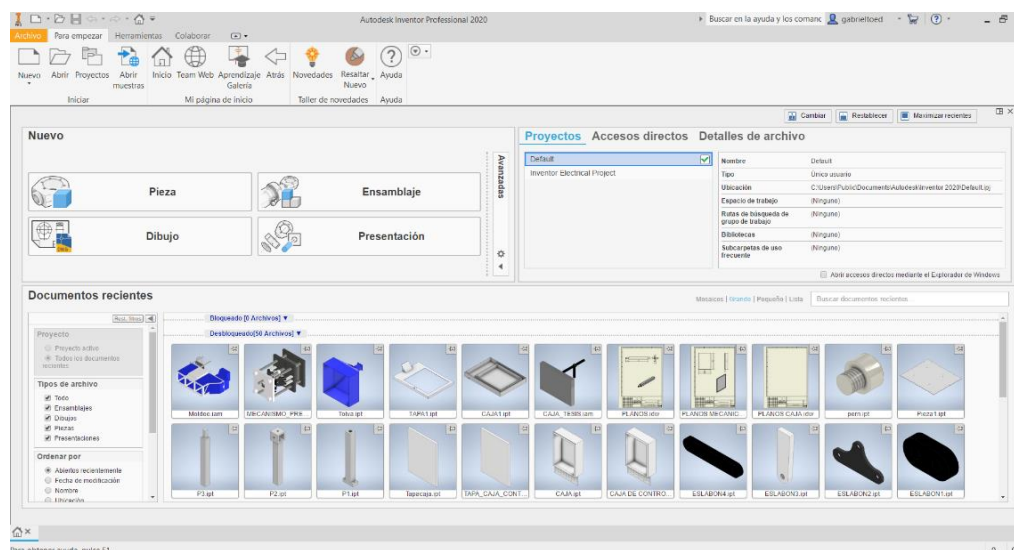
Firebase de Google es una plataforma en la nube para el desarrollo de aplicaciones web y móvil. Las plataformas para las cuales está disponible son: iOS, Android y web. Facilita tareas de creación de aplicaciones webs y móviles, así como su desarrollo, permitiendo la realización de trabajos de forma más rápida con una buena calidad. Sus herramientas son variadas y de fácil uso (López Mora, 2020).

2.11 Software Autodesk Inventor

Inventor es un software de diseño CAD, creado específicamente para la realización de proyectos mecánicos, además de eso aporta con propiedades de documentación, así como simulación elementos y estructuras en 3 dimensiones, por lo tanto, diseñadores y clientes tienen la posibilidad de recrear prototipos visuales para realizar pruebas e impresiones de boceto 3D (Perdomo, Qué es y para qué sirve Autodesk Inventor en diseño de producto, 2020).

Figura 40

Software Autodesk Inventor



2.12 Software Cofaso

Cofaso es un software creado para diseño eléctrico, es muy conocido por la gran cantidad de ventajas que presenta. Una vez diseñado un proyecto de distribución de energía o de automatización, el software se encarga de generar varios planos de automatización de forma completa y automática:

- Planos de terminales y cables
- Planes de conexión de terminales
- Listas de materiales, equipos, dispositivos, proveedores, órdenes de compra
- Listas de I/O de PLC, listas de cableado.

“También puede exportar estas listas como un archivo de Excel. Es decir, cuando obtiene sus números automáticamente de Cofaso, puede dar estos números con un archivo de Excel a la máquina de impresión para etiquetarlos” (Villajulca, 2020).

Figura 41

Software Cofaso

Bill of materials

Item designation	Amount	Designation	Type number	Supplier	Article number
1102001	1	Cable 1mm ² 100m			
1102002	1	Cable 1mm ² 100m			
1102003	1	Cable 1mm ² 100m			
1102004	1	Cable 1mm ² 100m			
1102005	1	Cable 1mm ² 100m			
1102006	1	Cable 1mm ² 100m			
1102007	1	Cable 1mm ² 100m			
1102008	1	Cable 1mm ² 100m			
1102009	1	Cable 1mm ² 100m			
1102010	1	Cable 1mm ² 100m			
1102011	1	Cable 1mm ² 100m			
1102012	1	Cable 1mm ² 100m			
1102013	1	Cable 1mm ² 100m			
1102014	1	Cable 1mm ² 100m			
1102015	1	Cable 1mm ² 100m			
1102016	1	Cable 1mm ² 100m			
1102017	1	Cable 1mm ² 100m			
1102018	1	Cable 1mm ² 100m			
1102019	1	Cable 1mm ² 100m			
1102020	1	Cable 1mm ² 100m			

Download cofaso 7.1!

cofaso
Computer Aided Engineering Solutions

cofaso
computer aided engineering solutions

Nota. Software para diseño de diagramas eléctricos. Tomado de Electroclub didactic, 2018.

Capítulo III

3 Diseño del sistema

En el siguiente capítulo se identificará las necesidades del operario mediante el método que plantea el libro “Diseño y Desarrollo de productos” quinta edición de Karl Ulrich y Steven Eppinger, para obtener especificaciones del sistema. Detrás del método se busca obtener un canal de información valiosa o de buena calidad que relacione al operador y al desarrollador del sistema directamente.

3.1 Necesidades del cliente

Primero se realiza una entrevista a los colaboradores de la empresa INSTALCOM para identificar necesidades, específicamente a las personas que operan la máquina inyectora de plantas de calzado, en donde se detallan cada una de las necesidades que se pretenden solventar con el desarrollo del proyecto (ver Tabla 1), a estas necesidades se le ha dado un grado de importancia en una escala del 1 al 5, siendo 5 la necesidad de mayor importancia y 1 la necesidad de menor importancia.

Tabla 1

Necesidades del Cliente

Núm.	Necesidad		Imp.
1	El sistema	Producción de 50 pares de plantas por hora	5
2	El sistema	Fácil de operar	4
3	El sistema	Manejo adecuado de temperatura en la materia prima	5
4	El sistema	Optimizar costos en la repotenciación de la máquina	4
5	El sistema	Facilidad de mantenimiento	3
6	El sistema	Seguridad para el operario	5
7	El sistema	Mínima intervención del operario	4
8	El sistema	Producción de plantas de calzado de buena calidad	5
9	El sistema	Visualización remota de la producción	4

3.2 Especificaciones Técnicas del Sistema

Luego de identificar las necesidades del cliente y organizar las necesidades de manera jerárquica aplicamos el método de Karl Ulrich y Steven Eppinger que consiste en cambiar las necesidades del lenguaje del cliente al lenguaje de ingeniería, es decir en especificaciones técnicas, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Especificaciones Técnicas del Sistema

Núm.	Especificaciones técnicas
1	Automatización mediante control lógico programable.
2	Implementación de interfaz humano-máquina
3	Control de temperatura en lazo cerrado
4	Fácil adquisición de equipos y materiales de buena calidad
5	Generación de planos de subsistemas para facilitar el mantenimiento
6	Indicadores de seguridad y botón de emergencia
7	Producción automática y continua
8	Control de calidad mediante visión artificial
9	Implementación de IoT

3.3 Despliegue de la Función Calidad o la Casa de la Calidad QFD

Posteriormente, se aplica una técnica gráfica como es la matriz QFD para establecer una relación entre las necesidades del cliente con las especificaciones técnicas, asegurando así, que se tomen en consideración todas las características que debe poseer el sistema y satisfaga las necesidades del cliente. En la Tabla 3 se muestra la valoración y la simbología que se utilizará para la Casa de la Calidad.

Tabla 3*Valoración y Simbología Utilizada para la Casa de la Calidad*

Relación	Valor	Símbolo
Fuerte	9	●
Media	3	○
Débil	1	△

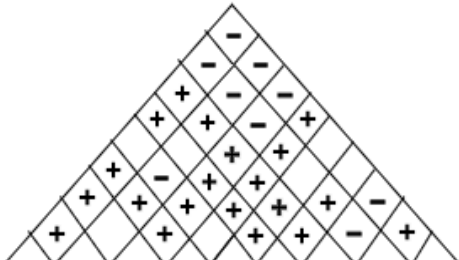
El grado de correlación es la interacción que existe entre las especificaciones técnicas, la simbología utilizada se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4*Grado de Correlación*

Grado de correlación	Símbolo
Positivo	+
Negativo	-

Figura 42

Despliegue de la Casa de la Calidad



Num.	Necesidades del cliente	Imp.	Especificaciones técnicas									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Producción de 50 pares de plantas por hora	5	●	○	△			△	○	○	○	
2	Fácil de operar	4	●	●	△	△	△	○	●	○	△	
3	Manejo adecuado de temperatura en la materia prima	5	○	●	●	△		△	○			
4	Optimizar costos en la repotenciación de la máquina	4	●	●	△	●	△	△	○			
5	Facilidad de mantenimiento	3	△	△		△	●	△	△	○	△	
6	Seguridad para el operario	5	○	△	○	△	△	●	●	△	△	
7	Mínima intervención del operario	4	●	●	△		△	○	●	●	●	
8	Producción de plantas de calzado de buena calidad	5	●		●	○	○		○	●	○	
9	Visualización remota de la producción	4				○	△		△	●	●	
Ponderación Absoluta			231	176	122	80	63	86	166	158	114	1196
Ponderación Relativa			19,3	14,7	10,2	6,7	5,3	7,2	13,9	13,2	9,5	100
Importancia Relativa			1	2	5	8	9	7	3	4	6	TOTAL

3.3.1 Resultados obtenidos de la Casa de la Calidad

Al terminar la matriz QFD se obtiene una jerarquía de las características más importantes que debe tener el sistema para que cumplan con las especificaciones del cliente, a continuación, se muestra los resultados obtenidos de las especificaciones técnicas que tienen mayor importancia:

- Automatización mediante control lógico programable
- Implementación de interfaz humano-máquina
- Producción automática y continua
- Control de calidad mediante visión artificial

3.4 Descomposición Funcional del Sistema

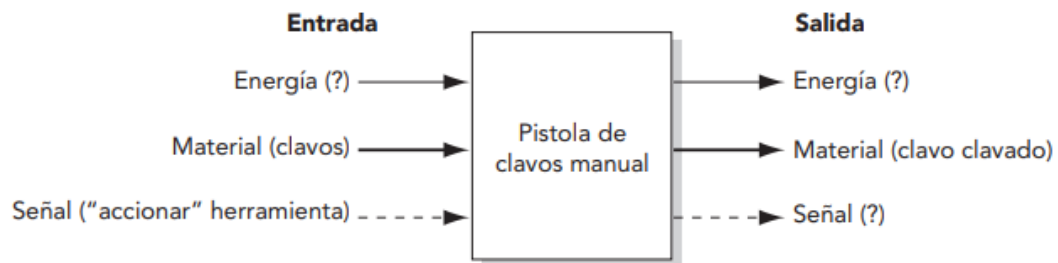
“Muchos retos de diseño de producto son demasiado complejos para resolverse como un solo problema y se pueden dividir en varios subproblemas más sencillos. Dividir un problema en subproblemas se denomina descomposición” (Ulrich y Eppinger, 2013)

El primer paso para descomponer un problema funcionalmente es representarlo como una caja negra que opera en flujos de material, energía y señales.

- Las líneas continuas finas denotan la transferencia y conversión de energía
- Las continuas gruesas representan el movimiento de material dentro del sistema
- Las líneas discontinuas son las señales de flujos de control y retroalimentación dentro del sistema.

Figura 43

Diagrama funcional de una pistola de clavos manual



Nota. Esquema de diseño y desarrollo de productos, Tomado de Karl Ulrich y Steven Eppinger, 2013.

“El siguiente paso es dividir la caja en subfunciones para crear una descripción más específica de lo que los elementos del producto podrían hacer para implementar la función general del producto, cada subfunción puede dividirse en otras subfunciones más sencillas” (Ulrich y Eppinger, 2013)

Las funciones principales que tiene el sistema son:

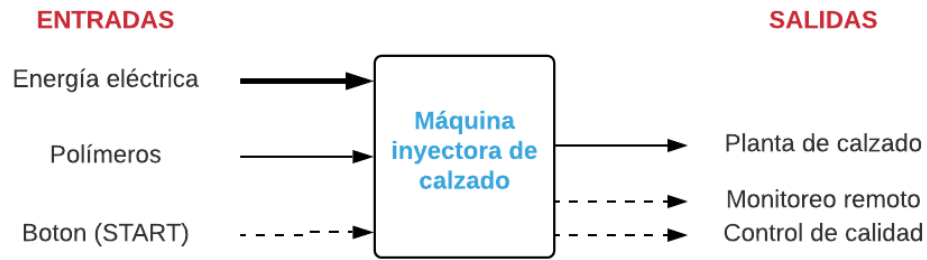
- Ingresar el material granulado (poliuretano - PVC) en una tolva.
- Calentamiento de las resistencias eléctricas
- Movimiento del tornillo
- Movimiento de la prensa para cerrar
- Inyectar el material y esperar un tiempo prudente de enfriamiento
- Abrir la prensa
- Supervisión de calidad mediante visión por computador
- Presentación de datos o monitoreo mediante IoT

3.4.1 Función global y despliegue de estructura funcional

A continuación, se muestra la función general o global del sistema de la máquina inyectora de calzado, control de calidad de visión por computador y monitoreo por IoT

Figura 44

Función Global del Sistema de la máquina de inyección de calzado



Ahora se desglosa la función global del sistema en módulos, teniendo así 4 módulos de operación principales, como se muestra en la figura 43. Posteriormente se desglosan los módulos 1 y 2 porque contiene otras subfunciones como nos sugiere Karl Ulrich y Steven Eppinger:

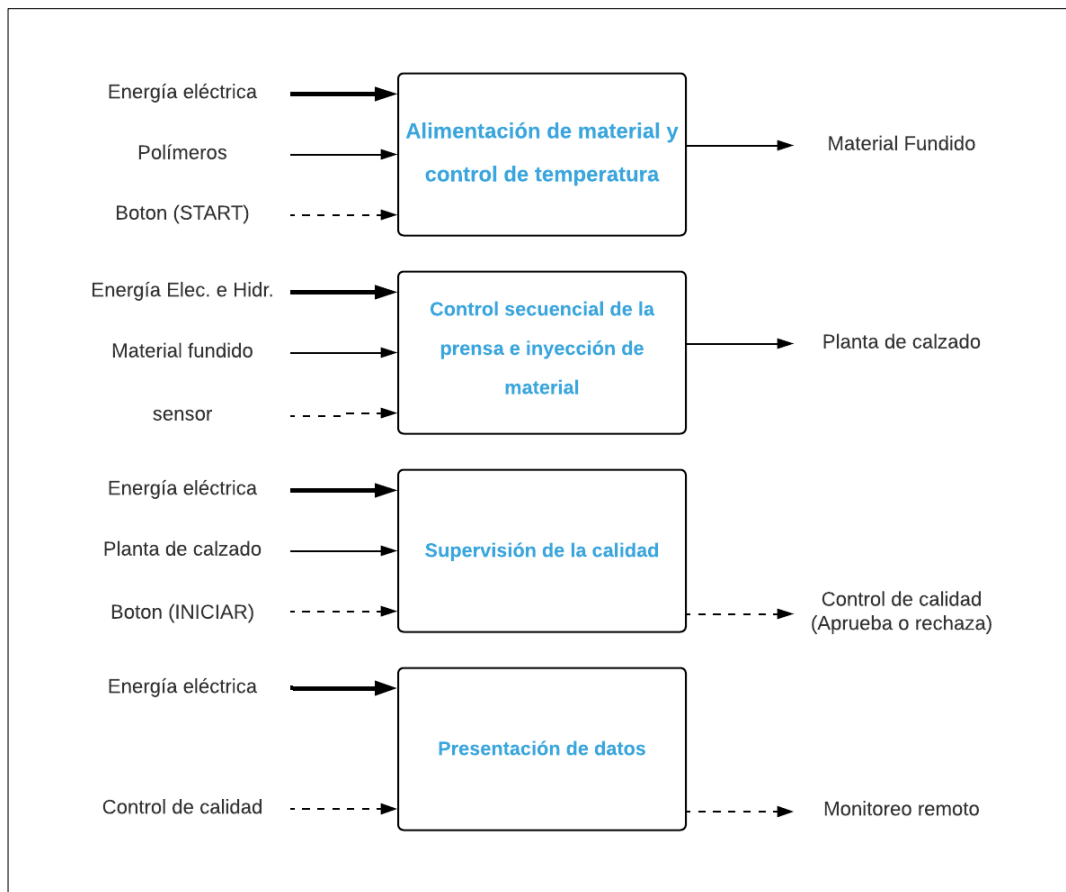
1. Alimentación de material y control de temperatura
2. Control secuencial de la prensa e inyección de material
3. Supervisión de la calidad
4. Monitoreo de la producción

Con respecto al primer módulo de operación denominado Alimentación de material y control de temperatura se puede desglosar en 3 subfunciones para tener una mejor interpretación, como se muestra en la figura 44.

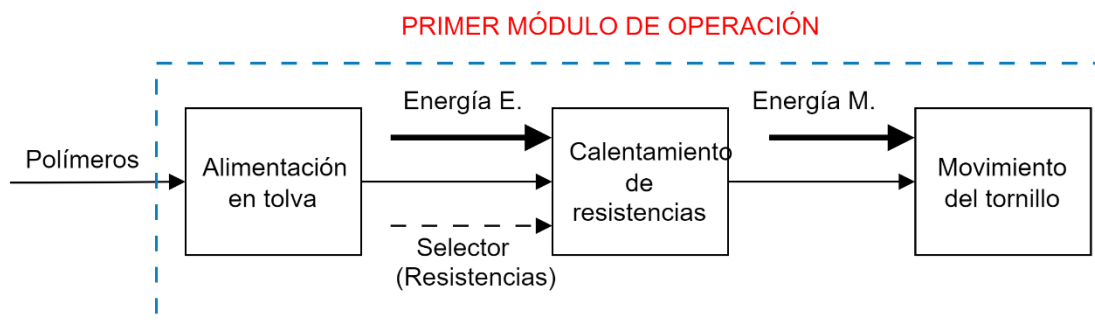
- Alimentación de material
- Calentamiento de resistencias
- Movimiento del tornillo

Figura 45

Módulos principales obtenidos de la función global del sistema

**Figura 46**

Subfunciones del primer módulo de operación

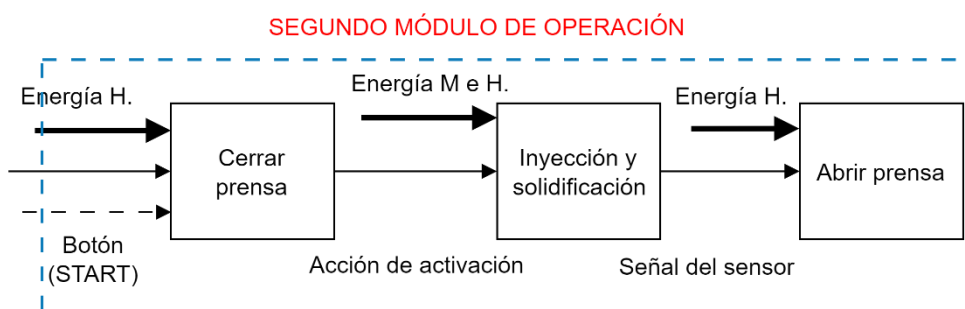


Para el segundo módulo de operación que corresponde al control secuencial de la prensa e inyección también se le divide en 3 subfunciones, quedando así:

- Cerrar o bajar prensa
- Inyección y solidificación del material
- Abrir o subir prensa

Figura 47

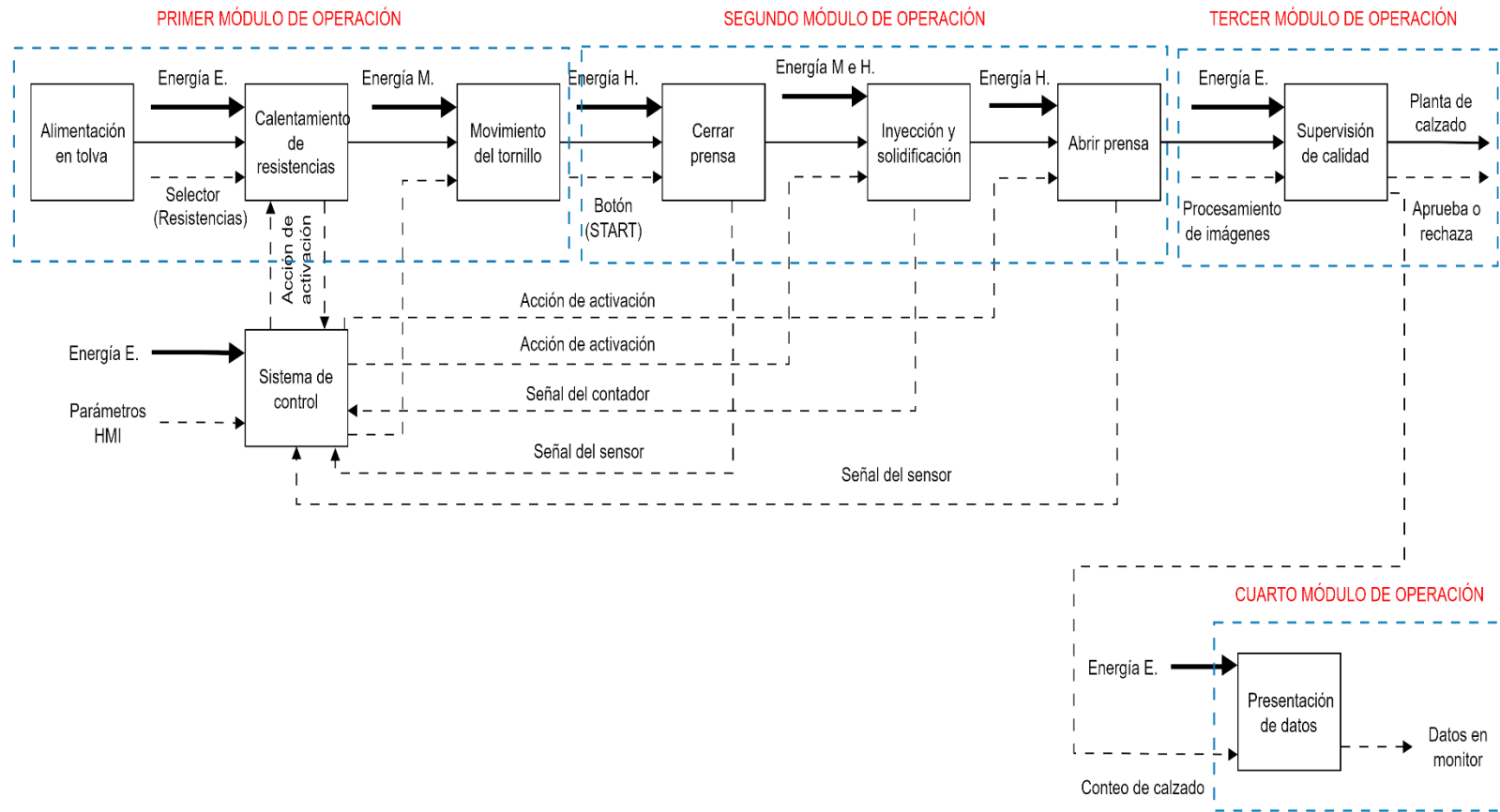
Subfunciones del segundo módulo de operación



Después de descomponer la función global o general del sistema en 4 módulos principales y a su vez en varias subfunciones se muestra toda la estructura funcional del sistema completa, en donde se observa las entradas (energía eléctrica, poliuretano y una señal de activación – botón) y salidas (planta de calzado, señal de control de calidad, señal de monitoreo remoto). Además, se observa que hay un sistema de control que engloba la mayor parte de los módulos y que será el encargado de enviar las señales para que la secuencia de la máquina sea la deseada.

Figura 48

Estructura Funcional del sistema de producción de plantas de calzado



3.5 Selección de Conceptos Del Sistema

Los módulos 1 y 2 no requieren de ningún concepto, por lo tanto, no es necesario que se realice una evaluación de conceptos, por consiguiente, la selección de elementos se realiza a los módulos 3 y 4. Para el sistema de control no se hace el análisis de selección de conceptos debido a que la empresa INSTALCOM ya contaba con el PLC de la marca Mitsubishi, siendo solicitado que se haga uso y manejo del mismo para la automatización de plantas de calzado, pero en el diseño eléctrico y control del sistema se analizará las características técnicas necesarias para realizar el proyecto. Para la supervisión de calidad y monitoreo, se analizará y se presentara varias alternativas que serán sujetas a un análisis técnico para elegir la mejor alternativa.

3.5.1 Módulo 3. Control de la calidad

Este módulo se encarga de determinar la calidad de la planta, entonces es necesario contar con un controlador y una cámara digital, a continuación, se pone en consideración varias alternativas bajo ciertos criterios de selección.

Filtrado y selección del controlador.

Filtrado de conceptos. Para la evaluación se implementó una ponderación que será utilizada en todas las tablas para la selección de conceptos.

+ “Mejor que”

0 “Igual a”

- “Peor que”

En la Tabla 5, se realiza la comparación de los controladores y se detallan los criterios de selección.

Tabla 5*Filtrado de Conceptos del Controlador*

Criterios de Selección	Conceptos Controlador				
	PLC	Pixy2 y Arduino	Raspberry Pi 3	Módulo PXI	Computadora
Costo	-	+	0	-	-
Conveniencia de Instalación	+	+	+	+	+
Tamaño	-	+	+	0	-
Velocidad de procesamiento	+	+	+	+	+
Robustez Industrial	+	0	+	+	+
Fácil adquisición en el mercado	+	+	+	+	+
Puertos USB	+	-	+	+	+
Suma +	5	5	6	5	5
Suma 0	0	1	1	1	0
Suma -	2	1	0	1	2
Evaluación Neta	3	4	6	4	3
Lugar	5	3	1	2	4
¿Continuar?	No	Revisar	Si	Revisar	No

De acuerdo a los resultados de la etapa de filtrado los conceptos que han sido seleccionados para un mayor análisis son; Raspberry Pi 3, Módulo PXI y Arduino.

Evaluación de conceptos. Ahora se procede con la evaluación de conceptos tomando en consideración criterios más definidos para obtener el controlador ideal para el control de calidad. Se hace una evaluación cuantitativa y con una escala del 1 al 5, tomando en cuenta que 1 es la calificación más baja y 5 la calificación más alta.

Tabla 6*Selección de Conceptos del Controlador*

Criterios de Selección	Conceptos						
	Controlador						
	Pixy 2 y Arduino			Raspberry Pi 3		Módulo PXI	
	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif	Evaluación Ponderada
Costo	20%	4	0.8	4	0.8	2	0.4
Conveniencia de Instalación	10%	3	0.3	4	0.4	4	0.4
Tamaño	15%	5	0.75	5	0.75	3	0.45
Robustez Industrial	20%	3	0.6	5	1	5	1
Puertos USB	10%	2	0.2	5	0.5	5	0.5
Fácil adquisición en el mercado	10%	5	0.5	4	0.4	4	0.4
Compatible con pantalla	5%	4	0.2	4	0.2	4	0.2
Alto rendimiento de datos	10%	3	0.3	5	0.5	5	0.5
Total, Puntos	100%		3.65		4.55		3.85
Lugar			3		1		2
Resultado			NO		Desarrollar		NO

Luego de hacer el análisis bajo ciertos criterios se obtiene el resultado en la Tabla 6, en donde la Raspberry Pi 3 es la mejor opción para realizar el control de calidad porque se adapta a las necesidades requeridas.

Filtrado y selección de la cámara digital.

Filtrado de conceptos. Parte importante para tener un buen control de calidad es la adquisición de las imágenes a ser procesadas, por consiguiente, se propone varias cámaras para hacer el filtrado y descartar el número de alternativas, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7*Filtrado de Conceptos de la Cámara Digital*

Criterios de Selección	Conceptos				
	Cámaras digitales				
	Creative Live HD	AverMedia	Genius	Intcomex	Microsoft LifeCam
Costo	0	+	+	+	-
Facilidad de Instalación	+	+	+	+	+
Tamaño	0	0	+	+	0
Resolución	0	0	+	+	0
Enfoque automático	+	+	0	0	+
Fácil adquisición en el mercado	+	+	+	0	+
Conexión USB	+	+	+	+	+
Suma +	4	5	6	5	4
Suma 0	3	2	1	2	2
Suma -	0	0	0	0	1
Evaluación Neta	4	5	6	5	3
Lugar	4	3	1	2	5
¿Continuar?	No	Revisar	Si	Revisar	No

Se considera tres posibles opciones de las cámaras que tienen buenas características y cumplen con varios criterios de selección, pero es necesario aplicar el método cuantitativo y determinar criterios específicos para seleccionar la mejor opción.

Evaluación de conceptos. Según la Tabla 7 las cámaras que tienen buenos conceptos de selección son la Genius, Intcomex y AverMedia, al igual que el caso anterior, se estima un peso a cada criterio de selección y se califica con una ponderación del 1 al 5.

Tabla 8*Selección de Conceptos de la Cámara Digital*

Criterios de Selección	Conceptos						
	Cámaras						
	Genius			Intcomex		AverMedia	
	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif	Evaluación Ponderada
Costo	20%	4	0.8	3	0.6	3	0.6
Facilidad de Instalación	10%	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Tamaño	10%	4	0.4	4	0.4	3	0.3
Resolución	20%	4	0.8	3	0.6	3	0.6
Puertos USB	15%	5	0.75	5	0.75	5	0.75
Fácil adquisición en el mercado	15%	5	0.75	4	0.6	5	0.75
Full HD	10%	5	0.5	5	0.5	4	0.4
Total, Puntos	100%		4.4		3.85		3.8
Lugar			1		2		3
Resultado			Desarrollar		NO		NO

Luego de realizar el análisis cuantitativo se observa que el mejor concepto que satisface las necesidades del control de calidad es la cámara Genius.

Selección de la iluminación.

Evaluación de conceptos. Para el sistema de iluminación se descarta el filtrado de conceptos para realizar directamente la evaluación cuantitativa con la escala del 1 al 5.

Tabla 9*Selección de Conceptos de la Iluminación*

Criterios de Selección	Conceptos						
	Sistema de Iluminación						
	Led tipo anillo			Led con difusor		Tira de leds	
	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif	Evaluación Ponderada
Costo	20%	4	0.8	4	0.8	4	0.8
Facilidad de Instalación	20%	4	0.8	3	0.6	5	1
Tamaño	20%	3	0.6	3	0.6	5	1
Peso	10%	4	0.4	4	0.4	5	0.5
Luminosidad uniforme	20%	3	0.6	5	1	4	0.8
Fácil adquisición en el mercado	10%	4	0.4	5	0.5	4	0.4
Total, Puntos	100%		3.6		3.9		4.5
Lugar			3		2		1
Resultado			NO		NO		Desarrollar

Luego de obtener los resultados de la Tabla 9 se determina que la mejor opción de iluminación es la tira de leds.

3.5.2 Módulo 4, Monitoreo de la producción

Finalmente, para el último módulo que es para el monitoreo de la producción se procede directamente con la etapa de evaluación de conceptos debido a que no existe varias alternativas de conceptos a considerar.

Selección del controlador para el monitoreo.

Evaluación de conceptos. A continuación, se presenta tres conceptos que posiblemente se pueden utilizar en el proyecto para solucionar el monitoreo de la producción, al igual que en modos anteriores se hace una comparación cuantitativa y se utiliza una escala del 1 al 5.

Tabla 10*Selección de Conceptos para el Monitoreo de Producción*

Criterios de Selección	Conceptos						
	Monitoreo de la Producción						
	Raspberry Pi 3			ESP 32		Kit Arduino Oplà IoT	
	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif	Evaluación Ponderada
Costo	20%	4	0.8	5	1	4	0.8
Facilidad de Instalación	10%	5	0.5	5	0.5	4	0.4
Tamaño	15%	4	0.6	4	0.6	4	0.6
Conexión Wifi	15%	5	0.75	5	0.75	5	0.75
Robustez industrial	20%	4	0.8	3	0.6	3	0.6
Fácil adquisición en el mercado	10%	5	0.5	5	0.5	4	0.4
Compatible con varias plataformas	10%	5	0.5	4	0.4	3	0.3
Total, Puntos	100%		4.45		4.35		3.85
Lugar			1		2		3
Resultado			Desarrollar		NO		NO

Según la Tabla 10 el concepto que satisface las necesidades técnicas es la Raspberry Pi 3, siendo una buena opción porque una de las necesidades del cliente es optimizar costos, entonces se utiliza la Raspberry Pi 3 para los módulos 3 y 4 que corresponde al control de calidad y monitoreo de la producción.

3.6 Diseño mecánico del Sistema

A continuación, se realiza el diseño mecánico de la máquina inyectora, control de calidad y el monitoreo de producción. El módulo 1 que corresponde a la Alimentación de material y control de temperatura, se analizará con el módulo 2 que es el control secuencial de la prensa e inyección de material, todo esto en conjunto forman parte de la máquina.

3.6.1 Diseño mecánico de la máquina inyectora

Es necesario conocer como es el principio de funcionamiento de la máquina inyectora, así como también sus partes principales y las dimensiones reales para poder realizar el análisis estructural y determinar si la estructura cumple con un factor de seguridad adecuado para que el diseño sea seguro.

Principio de Funcionamiento. La máquina inyectora de la empresa INSTALCOM funciona por medio de un tornillo alternativo, inicialmente se ingresa material granulado (Poliuretano o PVC) en una tolva, pasa por un cañón a una determinada temperatura, luego se genera movimiento en la prensa cerrando así el molde para que el material fundido pueda ser inyectado durante un tiempo, se espera varios segundos para el enfriamiento y finalmente la prensa se abre permitiendo sacar las plantas de calzado.

Partes principales. La máquina inyectora de plantas de calzado consta de varias partes que se detallan a continuación:

- Estructura metálica
- Unidad de inyección
- Sistema hidráulico
- Unidad de cierre
- Unidad o armario de control

Características generales. Cabe recalcar que la máquina al ser antigua no posee diagramas ni manuales por lo que las dimensiones reales de la máquina y de la tolva se tomaron con un instrumento de medida, al igual que algunas especificaciones técnicas se encontraron por las placas de los fabricantes y se han detallado en la Tabla 11.

Tabla 11

Características generales de la máquina

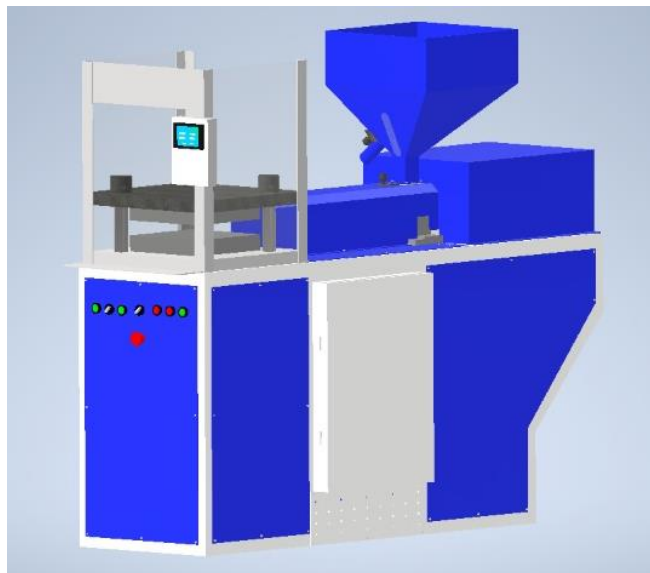
Dimensiones de la máquina	Dimensiones de tolva	Potencia del motor eléctrico	Presión tubería	Alimentación eléctrica
(220x200x63) cm	(51x51x56) cm	12.3 HP	30 PSI	220 VAC

3.6.2 Diseño CAD de la máquina inyectora

Haciendo uso del software Autodesk Inventor se realiza el CAD de la máquina tomando las medidas reales, obteniendo el siguiente resultado.

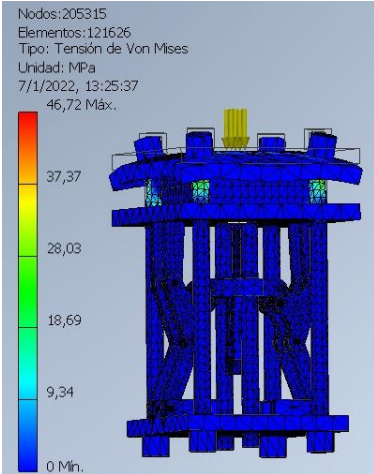
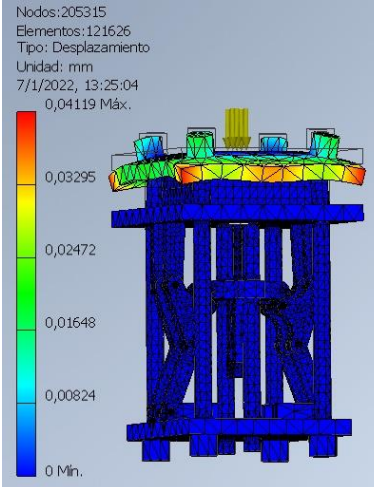
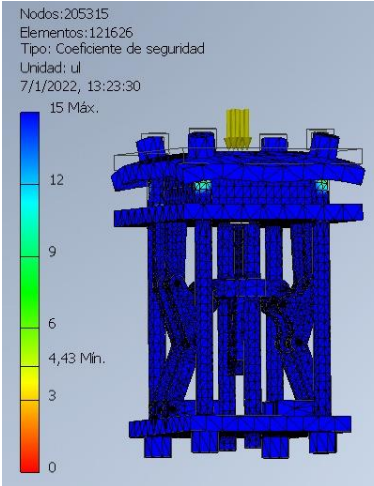
Figura 49

Diseño CAD de la máquina



3.6.3 Análisis estructural del mecanismo (prensa)

A continuación, se muestra el análisis CAE de la prensa tomando en consideración una presión aproximada que ejerce el cilindro para subir y bajar la prensa, obteniendo los siguientes resultados.

Descripción	Gráfico	Resultado
Tensión de Von Mises	 <p>Nodos:205315 Elementos:121626 Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 7/1/2022, 13:25:37 46,72 Máx. 37,37 28,03 18,69 9,34 0 Mín.</p>	$max = 46,72 \text{ MPa}$
Desplazamiento	 <p>Nodos:205315 Elementos:121626 Tipo: Desplazamiento Unidad: mm 7/1/2022, 13:25:04 0,04119 Máx. 0,03295 0,02472 0,01648 0,00824 0 Mín.</p>	$d. max = 0,041 \text{ mm}$
Factor de seguridad	 <p>Nodos:205315 Elementos:121626 Tipo: Coeficiente de seguridad Unidad: ul 7/1/2022, 13:23:30 15 Máx. 12 9 6 4,43 Mín. 3 0</p>	$N = 4,43$

Con los resultados obtenidos se deduce que la estructura actual de la máquina es segura porque tiene un factor de seguridad de 4,43 y según el libro de Resistencia de Materiales de Robert L. Mott el factor de diseño para cargas repetidas debe ser igual o mayor a 4 para que el diseño sea seguro, como se muestra en la figura 50, por lo que no se realizará modificaciones al mecanismo de la máquina.

Figura 50

Factor de diseño para cargas repetidas

Forma de carga	Factor de diseño	Esfuerzo cortante de diseño
Cargas estáticas	Use $N = 2$	$\tau_d = s_y/4$
Cargas repetidas	Use $N = 4$	$\tau_d = s_y/8$
Choque o impacto	Use $N = 6$	$\tau_d = s_y/12$

Nota. Seguridad de diseño de acuerdo a la forma de carga. Tomado de Robert L. Mott, 2009

3.6.4 Diseño mecánico para el Control de Calidad y Monitoreo

En la selección de conceptos se determinó que el dispositivo para hacer el control de calidad y monitoreo de la producción es la Raspberry Pi, entonces se relacionan los módulos 3 y 4. Pero antes del diseño, es preciso conocer varios criterios para ubicar la iluminación, la cámara y la pantalla para el control de calidad.

Cámara e Iluminación. Existen varias posiciones en la que se puede ubicar la luminaria, pero depende de la aplicación en la que se utiliza en el caso del proyecto se propone la ubicación de la cámara mirando al objeto y la dirección de la luz de forma lateral al objeto. (Bcnvision, 2017).

Debido a que el control de calidad se realizará con una tira de leds según la selección de conceptos, se considera La luz lateral en forma array, ya que es muy

utilizado para resaltar bordes y definir formas. La región de interés a considerar es el área dependiendo de la forma y color para detectar el estado de las plantas de calzado.

Figura 51

Ubicación de Cámara e Iluminación



Nota. Sistemas de iluminación para aplicaciones de visión artificial. Tomado de Bcnvision, 2017

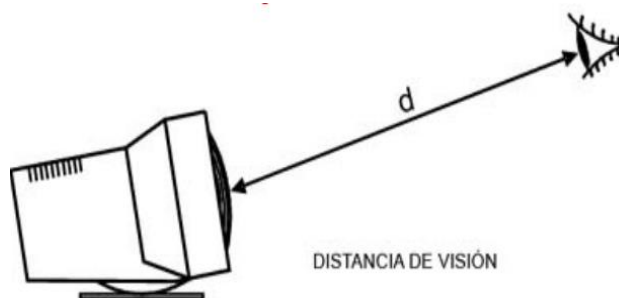
Pantalla de visualización. Según el Manual de normas técnicas para el diseño ergonómico con pantallas de visualización existen normas técnicas internacionales que se debe considerar en la puesta de pantallas de visualización de datos (PVD). Las normas técnicas son ISO 9241, EN-ISO 9241 y UNE-EN-ISO 9241 sobre PVD. (Rubio Ruiz, 1997)

Con estas normas se busca conseguir la facilidad del operario en realizar su tarea y resguardar su salud en base a ciertos criterios que se detalla a continuación:

Distancia de visión. “Para las tareas habituales la distancia de visión, d , no debe ser inferior a 400 mm. En ciertas aplicaciones especiales (como, por ejemplo, en pantallas táctiles) esa distancia de visión no debe ser inferior a 300 mm” (Rubio Ruiz, 1997)

Figura 52

Distancia de visión

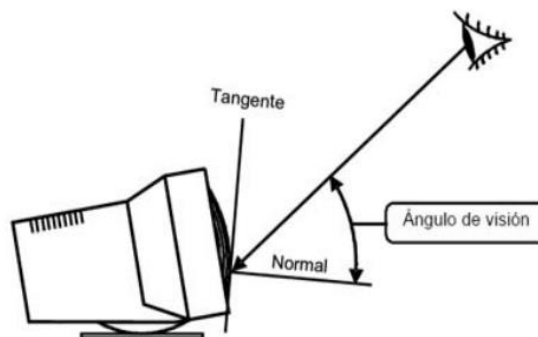


Nota. Distancia de visión del operador a la PVD. Tomado de Manual de normas técnicas para el diseño ergonómico con pantallas de visualización, 1997

Ángulo de visión. “La pantalla debe ser legible con ángulos de visión de hasta 40° , trazados entre la línea de visión y la perpendicular a la superficie de la pantalla en cualquier punto de la misma” (Rubio Ruiz, 1997)

Figura 53

Ángulo de visión



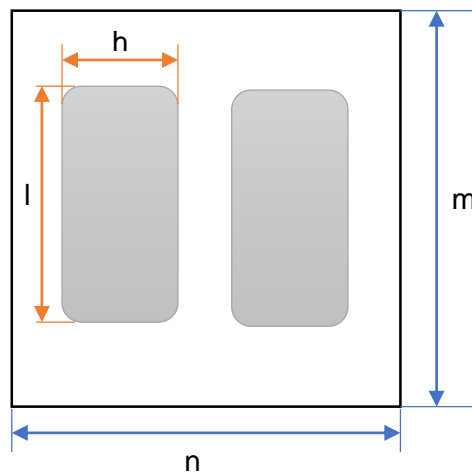
Nota. Ángulo de visión permisible para PVD. Tomado de Manual de normas técnicas para el diseño ergonómico con pantallas de visualización, 1997

Base metálica. En base a los datos obtenidos procedemos con los cálculos necesarios para el diseño mecánico del control de calidad.

Las medidas para la base se hacen en base a la región de interés, en este caso se utilizan las plantas de calzado de mayor tamaño que se produce en la máquina inyectora (talla 40) por pares, se tomaron las medidas y tienen dimensiones de 30 x 10,5 cm cada una aproximadamente, entonces se quiere hacer la base cuadrada para el control de calidad, como se muestra en la figura 54.

Figura 54

Dimensiones de la base



La distancia está considerada por la altura de la planta más dos espacios. De esta forma se tiene;

$$m = l + 2 * e \quad (3.1)$$

Donde:

m = Largo de la base

e = Espacio de filo de la base a la planta

l = Largo de la planta

Considerando un espacio de 2.5 cm se tiene;

$$m = 30 \text{ cm} + (2 * 2.5) \text{ cm}$$

$$m = 35 \text{ cm}$$

Ahora se calcula la longitud tomando en cuenta que son 2 plantas y generan 3 espacios. Entonces;

$$n = (2 * h) + (3 * e) \quad (3.2)$$

Donde:

n = Ancho de la base

e = Espacio de filo de la base a la planta

h = Ancho de la planta

Considerando que el espacio ahora corresponde a 3 cm. De esta forma se tiene;

$$n = (2 * 10,5) \text{ cm} + (3 * 3) \text{ cm}$$

$$n = 30 \text{ cm}$$

El área que se debe considerar es la siguiente:

$$A = mxn \quad (3.3)$$

$$A = 35 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$$

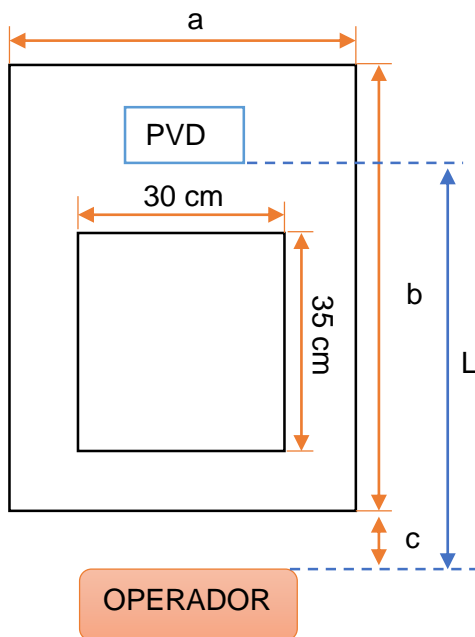
$$A = 1050 \text{ cm}^2$$

La distancia mínima de la pantalla a la vista del operario no debe ser menor a 30 cm, según Ruiz (1997), además considerando que dentro de la base van cables de

conexión y elementos como el módulo de relé se dimensiona la caja, como se muestra a continuación:

Figura 55

Dimensiones de la tapa



Como se muestra en la figura 55, se detalla el área calculada anteriormente que es donde se colocan las plantas, además se agrega la pantalla y la ubicación del operario para determinar que el diseño este acorde a la norma mencionada.

Ahora se pretende encontrar el perímetro de la tapa, para encontrar el valor de a se considera que la caja es simétrica y tiene dos espacios de igual dimensión, como dentro solo estará cables de conexión se determina un espacio de 15 cm . Obteniendo la siguiente expresión;

$$a = 30\text{ cm} + 2 * e_1 \quad (3.4)$$

Donde:

a = Ancho de la tapa

e_1 = Espacio de filo de la tapa a la base

$$a = 30 \text{ cm} + (2 * 15) \text{ cm}$$

$$a = 60 \text{ cm}$$

A continuación, se pretende encontrar la longitud b , tomando el tamaño de la pantalla es de 10 cm y se considera 3 espacios de igual magnitud con un valor de 5 cm. Obteniendo el siguiente resultado;

$$b = 35 \text{ cm} + 3 * e_2 + t \tag{3.5}$$

Donde:

b = Largo de la tapa

e_2 = Espacio de filo de la tapa a la base

t = Ancho de la pantalla

$$b = 35 \text{ cm} + (3 * 5) \text{ cm} + 10 \text{ cm}$$

$$b = 60 \text{ cm}$$

Posteriormente para asegurar que cumpla con la norma se encuentra la distancia que está el operador de la PVD, para ello se considera que el operador este a 5 cm de la tapa. Entonces;

$$L = 35 \text{ cm} + c + 2 * e_2 \tag{3.6}$$

Donde:

L = Distancia del operador a la pantalla

e_2 = Espacio de filo de la tapa a la base

c = Distancia del operador a la tapa

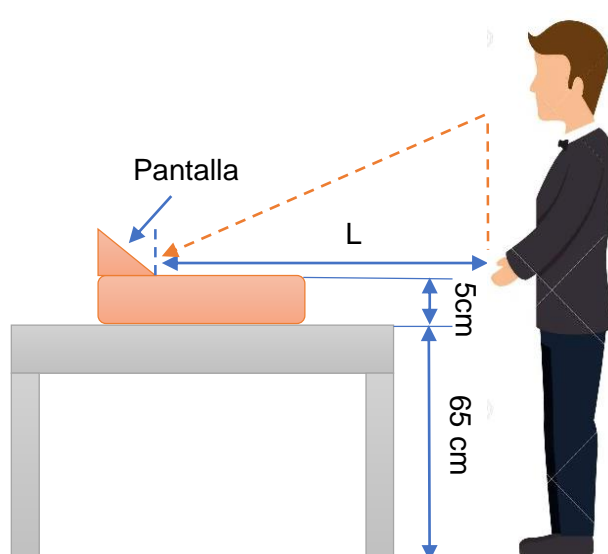
$$L = 35 \text{ cm} + 5 \text{ cm} + (2 * 5) \text{ cm}$$

$$L = 50 \text{ cm}$$

La altura promedio de una persona es de 1,65 m a 1,50 m, incluido hombres y mujeres, según Ecuadorec (2022). Entonces se pretende ubicar la base en una mesa de trabajo que tiene 65 cm de altura, con un ancho de la estructura de 5 cm, como se muestra en la figura 56.

Figura 56

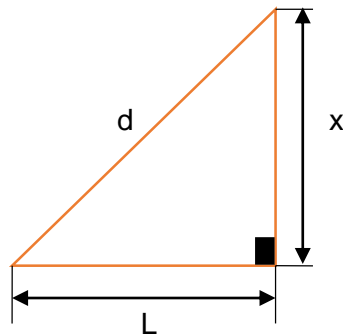
Distancia entre el operador y la pantalla



Para encontrar la distancia desde la vista del operador hasta la pantalla, es necesario hacer una diferencia entre la estatura promedio de una persona, la altura de la mesa y el ancho de la caja obteniendo el valor de x , como se muestra en la figura 57.

Figura 57

Triángulo de Pitágoras



$$x = \text{alt. per} - \text{alt. mesa} - \text{ancho caja} \quad (3.7)$$

$$x = 1,60 \text{ cm} - 65 \text{ cm} - 5 \text{ cm}$$

$$x = 90 \text{ cm}$$

Por el teorema de Pitágoras encontramos la distancia d . Entonces;

$$d^2 = L^2 + x^2 \quad (3.8)$$

Donde:

d = Distancia desde la vista del operador hasta la pantalla

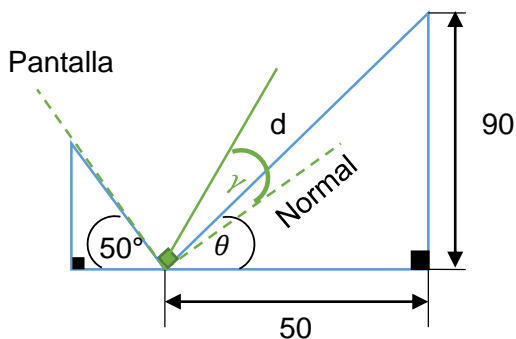
$$d^2 = (50)^2 + (90)^2$$

$$d = 102,95 \text{ cm}$$

Luego se hace una relación entre el triángulo de la figura 57 y la posición de la pantalla a un ángulo específico. Según el manual, la pantalla debe ser legible con ángulos de visión de hasta 40°.

Figura 58

Ángulo de visión

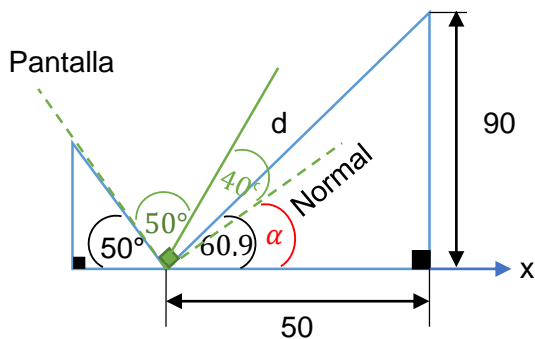


$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{9}{5}\right) = 60,9^\circ$$

Una vez que se tiene todos los ángulos ahora se observa si d que es la distancia de la vista del operador a la pantalla este dentro del ángulo de visión, como se muestra en la figura 59.

Figura 59

Análisis del ángulo de visión



Tomado como referencia el eje x, la suma de los ángulos para una recta es 180° . Entonces se tiene:

$$50^\circ + 50^\circ + 40^\circ + \alpha = 180^\circ \quad (3.9)$$

$$\alpha = 40^\circ$$

$$\gamma + 40^\circ > \theta > \alpha$$

$$80^\circ > 60,9^\circ > 40^\circ$$

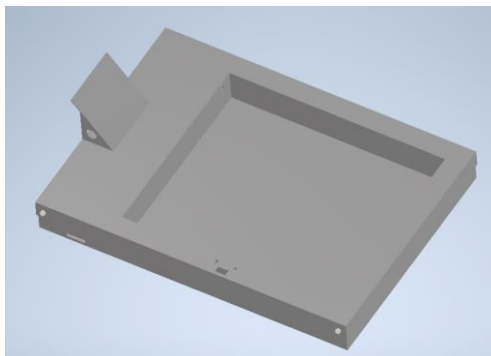
Finalmente se obtiene el resultado, si el ángulo de visión está dentro del rango de 80° a 40° se deduce que la ubicación de la pantalla es la correcta.

Se debe determinar la distancia de visión y el ángulo de visión para facilitar que el operador realice sus tareas y salvaguardar su salud, evitando así dolor muscular, según Ruiz (1997), como el diseño cumple con las normas se procede con el diseño CAD.

Diseño CAD para la Base. Con el software Autodesk Inventor se obtiene el diseño CAD de la base para el control de calidad.

Figura 60

Diseño CAD para la base



Existen varios materiales que se pueden emplear en la construcción de bases, entre las más comunes se encuentran el acero inoxidable, planchas galvanizadas y aluminio. Por varios motivos como el precio accesible, la facilidad de adquisición en el mercado y sugerencia por parte de la empresa INSTALCOM, se considera la plancha de acero inoxidable de 1,2 mm de espesor con las siguientes características y propiedades, se detallan en la Tabla 12.

Tabla 12

Características y propiedades del acero inoxidable

Unidades de las propiedades	Valor
Punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	1370 - 1400
Resistividad eléctrica ($\mu\Omega$)	70 – 78
Módulo elástico (<i>GPa</i>)	193
Difusividad térmica (mm^2/s)	720
Coefficiente de expansión térmica <i>de (20 a 100)$^{\circ}\text{C}$</i>	16 - 18

Soporte para la cámara Se propone utilizar impresión 3D en material ABS que resiste las condiciones mencionadas, las características y propiedades se muestran en la Tabla 13. Todo esto tomando en cuenta que la cámara tiene un peso mínimo, el entorno de trabajo está alejado de la máquina inyectora, el bajo precio de fabricación y la sugerencia de la empresa INSTALCOM.

Tabla 13

Características y propiedades del compuesto ABS

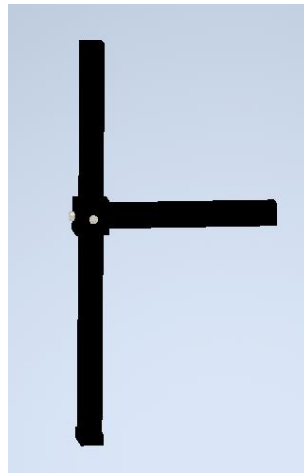
Unidades de las propiedades	Valor
Alargamiento de rotura (%)	45
Coefficiente de fricción	0.654
Densidad (g/cm^3)	1.07
Temperatura de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	200
Resistencia a la tracción (<i>MPa</i>)	41 – 45

La altura de la base y la longitud se dimensiona en base al alcance de la cámara, considerando movilidad en el eje y para su respectiva calibración.

Diseño CAD para el soporte de la cámara.

Figura 61

Diseño CAD para el soporte de la cámara

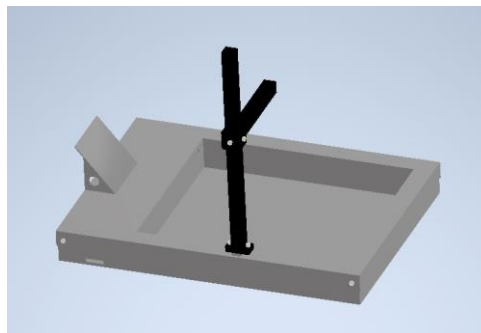


Ahora se realiza el ensamble completo de la estructura para el control de calidad obteniendo el resultado, como se muestra en la figura.

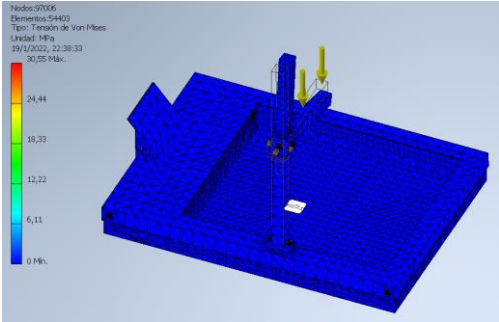
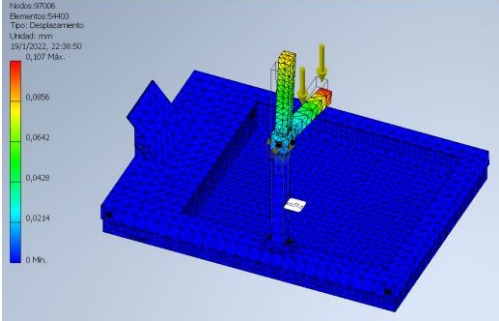
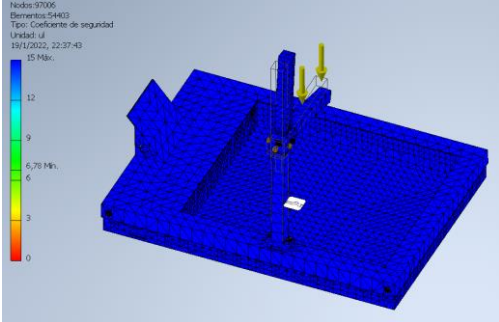
Diseño CAD para el Control de Calidad y Monitoreo del Producto.

Figura 62

Diseño CAD para el Control de Calidad y Monitoreo del Producto



Análisis estructural del diseño. Por seguridad de diseño se realiza el análisis estructural considerando la cámara Genius como única carga con un peso de 86g, obteniendo el siguiente resultado.

Descripción	Gráfico	Resultado
Tensión de Von Misses		$max = 30,55 \text{ MPa}$
Desplazamiento		$d. max = 0,107 \text{ mm}$
Coeficiente de seguridad		$N = 6,78$

Finalmente, se observa que el diseño es seguro porque tiene un coeficiente de seguridad de 6,78 y según el libro de Resistencia de Materiales de Robert L. Mott el

factor de diseño para cargas estáticas debe ser igual o mayor a 2 para que el diseño sea seguro, como se muestra en la figura 63.

Figura 63

Factor de diseño para cargas estáticas

Forma de carga	Factor de diseño	Esfuerzo cortante de diseño
Cargas estáticas	Use $N = 2$	$\tau_d = s_y/4$
Cargas repetidas	Use $N = 4$	$\tau_d = s_y/8$
Choque o impacto	Use $N = 6$	$\tau_d = s_y/12$

Nota. Seguridad de diseño para cargas estáticas. Tomado de Robert L. Mott, 2009

3.7 Diseño Eléctrico y de Control del Sistema

El diseño eléctrico y de control se realizará en base al PLC Coolmay serie EX2N-43H-16MR-4AD-2DA-V-A0-485P debido a que el controlador ya fue adquirido por la empresa INSTALCOM, solicitando que se haga uso y manejo del mismo para la automatización de la máquina inyectora, por tal motivo, es necesario analizar las características técnicas buscando en manuales sobre el PLC, para determinar si consta con los requerimientos necesarios y llevar a cabo el proyecto.

3.7.1 PLC Coolmay EX2N-43H-16MR-4AD-2DA-V-A0-485P

Según el manual técnico de la serie EX2N el PLC viene incluido HMI, se puede programar y monitorear en tiempo real por el software GX Works2, facilitando la corrección de errores en la programación y para el HMI se utiliza el software CoolMayHMI.

Características. A continuación, se muestra las características principales del HMI/PLC, según la regla de nomenclatura. (Coolmay, 2018)

Figura 64*Regla de nomenclatura*

EX2N 43H 16 M RT 4AD 2DA V A0 485P

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

- 1- EX2N: Serie del controlador
- 2- 43H: El HMI tiene 4.3"
- 3- I/O: Como el PLC dice 16 corresponde a 8DI/8DO
- 4- M: Módulo principal de controlador universal
- 5- Tipo DO: RT corresponde a relé y transistor
- 6- AI: 4 canales
- 7- AO: 2 canales
- 8- Tipo V: 0-10V, V5:0-5V
- 9- Tipo AO: A:0-20 mA, 4-20mA
- 10- 485P: Puerto de comunicación RS-485 para PLC opcional RS-232

En la Tabla 14 se detallan algunas especificaciones adicionales del PLC.

Tabla 14*Especificaciones técnicas del PLC Coolmay*

Características	Especificación
Dimensión	134*102*30mm
Dimensiones de la instalación	119*93mm
Consumo de energía	4-6W
Alta velocidad pulso	8 canales 10KHz
Software	Compatible con Mitsubishi GX Developer8.86 y WORKS 2
Voltaje de entrada	DC 24V

Las características del HMI se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15

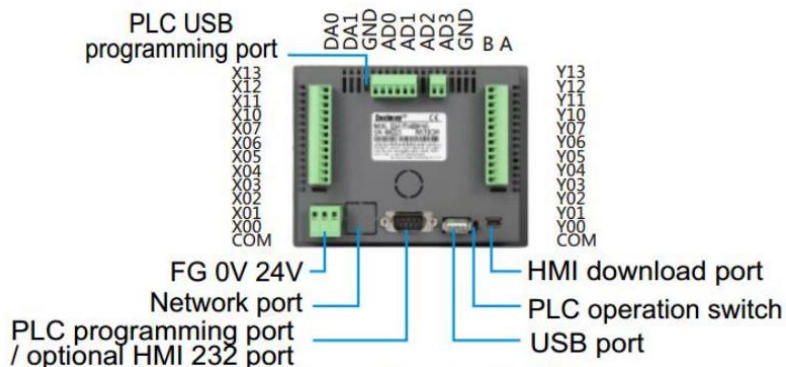
Especificaciones técnicas del HMI

Características	Especificación
Tamaño de la pantalla	97*56mm
Resolución (pixels)	480*272
RAM	32MB
ROM	128MB
Puerto COM	RS-232 opcional
Software	CoolMayHMI V5

Descripción del hardware. En la figura 65 se muestra la descripción de la estructura que tiene el PLC Coolmay EX2N.

Figura 65

Descripción del hardware



Nota. Estructura de conexión del PLC Coolmay. Tomado de Coolmay Automation Expert, 2018.

Lectura analógica. El PLC Coolmay lee los registros de cada analógico directamente, en la Tabla 16 se detalla los registros de valor que se deben utilizar en la programación.

Tabla 16*Registro analógico*

Lectura analógica	Función
AD0	D8030
AD1	D8031
AD2	D8032
AD3	D8033

3.7.2 Diseño del sistema eléctrico

Ahora se detallan las entradas y salidas analógicas/digitales que requiere la máquina inyectora para su correcto funcionamiento:

Tabla 17*Entradas digitales*

Entradas	Función
1	Pulsador abrir prensa
2	Pulsador cerrar prensa
3	Pulsado para purgar
4	Selector manual - automático
5	Sensor final de carrera arriba
6	Sensor final de carrera abajo

Tabla 18*Entradas analógicas*

Entradas	Función
1	Temperatura zona 1
2	Temperatura zona 2

Tabla 19*Salidas digitales*

Salidas	Función
1	Enciende temperatura zona 1
2	Enciende temperatura zona 2
3	Sube prensa
4	Baja prensa
5	Activar motor para inyección

Como resultado se tiene que la máquina inyectora para cumplir todo el proceso requiere de 6 entradas digitales, 2 entradas analógicas y 5 salidas digitales. La comparación de las características del PLC Coolmay EX2N y las necesarias para la máquina inyectora se detallan en la Tabla 20.

Tabla 20*Comparación de entradas y salidas analógicas - digitales*

TIPO	PLC Coolmay EX2N	Máquina inyectora
Entradas digitales	8	6
Entradas analógicas	4	2
Salidas digitales	8	5

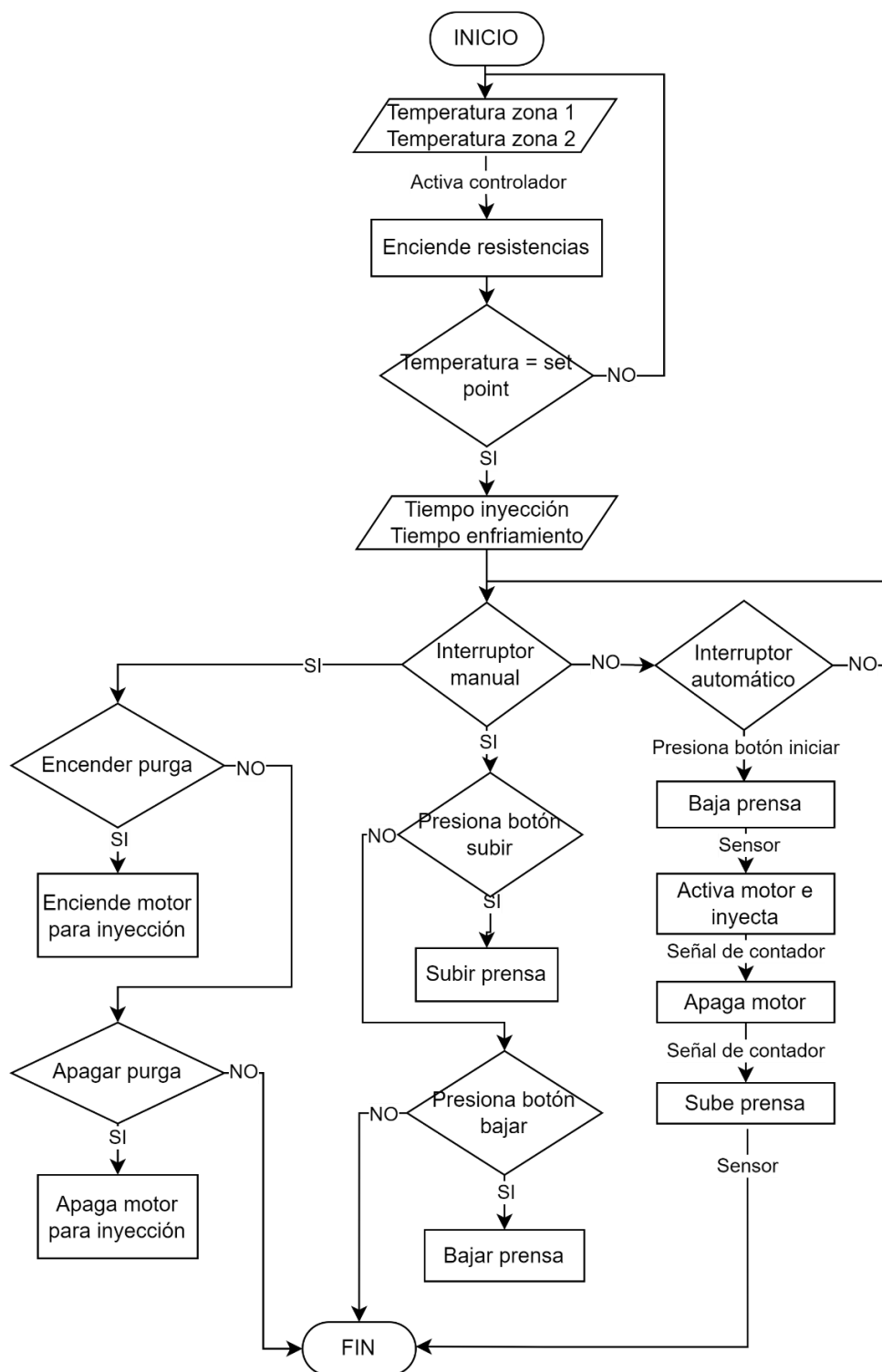
Como se observa en la Tabla 20 el número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales satisfacen con las requeridas para la maquina inyectora, entonces se acepta el PLC Coolmay EX2N.

Circuito Eléctrico. Tomando en cuenta las entradas y salidas detalladas anteriormente se realiza el circuito con la ayuda del software Cofaso, porque nos permite utilizar PLC de la marca Mitsubishi. El diagrama de control y de potencia se encuentra en los anexos.

Algoritmo de control eléctrico para la máquina. A continuación, se describe gráficamente el proceso que debe cumplir la máquina inyectora de plantas de calzado, como se muestra en la figura 66, todo con el objetivo de tener una idea clara antes de empezar a programar en el software GX Works2 y eliminar errores en la programación del controlador.

Figura 66

Algoritmo de control para la máquina



Entradas del PLC Coolmay EX2N.

Pulsador Abrir. S0 o S1: Pulsadores normalmente abiertos, están conectados a la entrada X0 del PLC, se puede presionar cualquiera de los dos pulsadores, pero no los dos a la vez y tiene como función subir la prensa si se encuentra en el modo manual.

Pulsador Cerrar. S0 y S1: Pulsadores normalmente abiertos, están acoplados a la entrada X1 del PLC, se tiene dos pulsadores alejados a 70cm el uno del otro, en el modo manual para que la prensa baje se debe presionar los dos pulsadores al mismo tiempo, o si está en modo automático la prensa baja siempre y cuando se presione los dos pulsadores, una vez que detecte el final de carrera se enciende una luz piloto en color verde y realiza todo el proceso hasta obtener las plantas de calzado.

Pulsador Purga. S2: Pulsador normalmente abierto, se encuentra conectado a la entrada X2 del Controlador, cuya función es activar el motor eléctrico para que gire el tornillo.

Selector. S3: Es un interruptor de dos posiciones, se encuentra conectado a la entrada X3 del PLC, la función es seleccionar si el proceso se realiza de forma manual o automática.

Sensor. S4: Final de carrera normalmente abierto, la señal de activación se encuentra acoplado a la entrada X4 del Controlador, la finalidad es detectar la posición de la prensa en subida mediante accionamiento mecánico. Si la prensa no está cerca del final de carrera y no se encuentra en movimiento no envía señal al controlador.

Sensor. S5: Final de carrera normalmente abierto, la señal de activación se encuentra acoplado a la entrada X5 del PLC, si la prensa esta abajo y el sensor detecta

envía una señal al Controlador. Si la prensa no está cerca del final de carrera y se encuentra inmóvil no envía señal al PLC.

AD0: Temperatura zona 1, con la entrada analógica AD0 se lee la lectura de la temperatura que existe en la zona 1 del cañón, mediante la dirección D8030 para mantener la temperatura a un Set Point establecido.

AD1: Temperatura zona 2, con la entrada analógica AD1 se lee la lectura de la temperatura que existe en la zona 2 del cañón, mediante la dirección D8031.

Salidas del PLC Coolmay EX2N.

Temperatura zona 1: La salida Y0 del PLC está conectado al contacto K3, cuya función es encender las resistencias y calentar la zona 1.

Temperatura zona 2: La salida Y1 del PLC está conectado al contacto K2, cada que la salida se active prendera las resistencias y calentara la zona 2 del cañón.

Bajar prensa: Se acopla la salida Y2 del controlador a la electroválvula, para bajar la prensa mediante el cilindro de doble efecto.

Subir prensa: Se conecta la salida Y5 del PLC a la electroválvula, la finalidad es para subir la prensa con la ayuda del cilindro hidráulico.

Motor para purga: La salida Y3 del PLC envía una señal y activa un contacto K1, como está conectado a la parte de potencia, activa un motor trifásico y gira el tornillo.

3.7.3 Selección de elementos de protección.

En la industria es necesario ubicar elementos de protección para las instalaciones, en la actualidad los más utilizados son los relés electromecánicos, relés

de estado sólido y relés digitales. Entonces la parte de potencia del circuito eléctrico se implementa a través de relés de estado sólido.

Selección del relé de estado sólido.

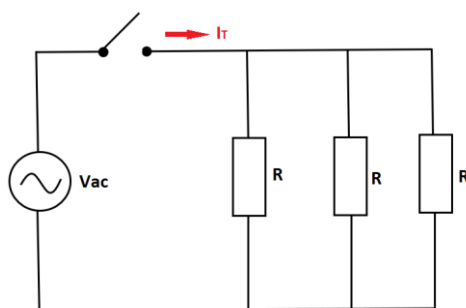
Para seleccionar de forma adecuada un relé de estado sólido se debe conocer el tipo de corriente con que trabaja la carga eléctrica, para este caso se trabaja con corriente alterna.

Una vez que se ha determinado el tipo de corriente, se requiere conocer la máxima capacidad de voltaje para el arranque de la carga eléctrica, el cual es de 240 voltios en corriente alterna, por lo que se buscará un relé capaz de soportar este valor como mínimo.

Posteriormente se procede a determinar la corriente máxima que consume la carga eléctrica en estado de funcionamiento, para lo cual se realizan los cálculos necesarios de acuerdo al diagrama eléctrico.

Figura 67

Esquema eléctrico de conexión de resistencias de calentamiento



De acuerdo a mediciones realizadas mediante el multímetro se conoce que la resistencia R tiene un valor de 80 ohmios y se sabe que el valor de V_{ac} es de 240 voltios, con los datos mencionados se procede a determinar la corriente máxima I_T .

Debido a que se tiene una conexión en paralelo la resistencia total es:

$$R = 3R_T \quad (3.10)$$

$$R_T = \frac{R}{3}$$

$$R_T = \frac{80\Omega}{3}$$

$$R_T = 26.6\Omega$$

Se aplica la ley de ohm para determinar la corriente total:

$$I_T = \frac{V_{ac}}{R_T} \quad (3.11)$$

$$I_T = \frac{240 \text{ v}}{26.6\Omega}$$

$$I_T = 9.02 \text{ A}$$

De acuerdo a los resultados obtenidos se busca un relé de estado sólido con las siguientes características:

Voltaje de carga nominal: mayor a 240 voltios

Corriente de carga nominal: mayor a 10 amperios

Se selecciona el relé de estado sólido MS-1DA4825, ya cumple con las características requeridas para la carga como se puede observar en su Datasheet.

Figura 68

Datasheet de un relé de estado sólido MS-1DA4825

MS-1DA

① ② ③

① Basic Model Name

MS-1DA: Maxwell 1 phase SSR (DC to AC type)

② Rated Load Voltage

48	480VAC
66	660VAC
120	1200VAC

③ Rated Load Current

10	10A
25	25A
40	40A
60	60A
80	80A
100	100A
120	120A

MS-1DA4825: single phase DC to AC SSR (25A load 480VAC)

Load Voltage	240V / 480V / 660V / 1200V
Control Voltage	3-32V DC
Control Current	3-25mA DC
On Voltage Drop	≤1.5V
Off-leakage Current	≤2mA
On-off Time	≤10mS
Dielectric Strength	2500V AC
Insulation Resistance	100MΩ/ 500VDC
Ambient Temperature	-30°C~+75°C
Mounting	Chassis mount
Indicator	LED
Weight	0.135kg

Standard Stock Range

CODE	DESCRIPTION	PRICE
MS-1DA4810	Solid State Relay DC Control 10A	€12.50
MS-1DA4825	Solid State Relay DC Control 25A	€13.50
MS-1DA4840	Solid State Relay DC Control 40A	€19.00
MS-1DA4860	Solid State Relay DC Control 60A	€29.50

Nota. Información técnica de relé de estado sólido. Tomado de THERMELEC, 2021.

Las características del relé de estado sólido seleccionado son:

Voltaje de carga nominal: mayor a 480 voltios

Corriente de carga nominal: mayor a 25 amperios

Lo que garantiza que se ha realizado una elección segura con un dispositivo ideal para el trabajo en las condiciones requeridas.

3.7.4 Sistema de control

Existe una variedad de controladores que se pueden aplicar a un sistema para controlar variables de presión, temperatura, posición, velocidad, flujo entre otras variables. El control ON – OFF es el más sencillo, pero también existen controles con sus acciones básicas como son proporcionales (P), integrales (I), derivativos (D) o con combinaciones como son: controlador proporcional integral (PI), proporcional derivativo (PD) o proporcional integral derivativo (PID), además se tiene control difuso y por redes neuronales.

Entonces es necesario analizar el comportamiento de los controladores para seleccionar el que cumpla con los requerimientos de la máquina inyectora de plantas de calzado.

El controlador ON-OFF es la forma más fácil de control de temperatura. El principio de funcionamiento es sencillo la salida se activa mientras la temperatura este por debajo del valor fijado, una vez que sobrepasa el punto de ajuste la salida se desactiva inmediatamente. El principal inconveniente es que es muy oscilatorio y genera un gran problema si se requiere usar este método para controlar la temperatura debido a que el proceso es lento y el error será demasiado grande.

Una manera de evitar este inconveniente es mediante el controlador proporcional (P), el principio de funcionamiento es variar la relación de tiempo al encender y tiempo al apagar para controlar la temperatura en intervalos cortos de tiempo. Esta acción se produce en una banda proporcional si la temperatura está por debajo y lejos del valor fijado la salida se enciende por más tiempo, este lapso va reduciendo conforme el valor deseado se aproxime al valor fijado, pero siempre existe un pequeño error que el sistema no puede compensar. Si la temperatura esta fuera de la banda proporcional el controlador actúa como que fuera un ON-OFF normal.

El controlador derivativo (D). La acción derivativa reacciona a que tan rápido cambia la entrada respecto al tiempo alterando la señal de salida, se utiliza para anticipar sobre impulsos, en otras palabras, actúa sobre la velocidad de cambio de error y no sobre el error, entonces nunca se utiliza solo sino combinado con un control PD o PID.

El controlador integral (I). La acción integral responde a un error acumulado en el tiempo, cambiando la señal de salida tanto como se necesite para eliminar

completamente el error. EL inconveniente del controlador es que la respuesta inicial es muy lenta y el controlador no empieza a ser efectivo hasta haber transcurrido un cierto tiempo, por lo que se utiliza combinado con un control PI o PID.

El controlador proporcional derivativo (PD). La principal característica del controlador PD es que aumenta la velocidad de respuesta del sistema de control. Al actuar conjuntamente con un controlador proporcional las características de un controlador derivativo, provocan una apreciable mejora de la velocidad de respuesta del sistema, aunque pierde precisión en la salida.

El controlador proporcional integral (PI). El resultado del controlador será la suma de las respuestas del control proporcional, que actuará de manera inmediata si hay una diferencia entre la entrada y la salida (error), y después de un tiempo considerable actuará el control integral que será el encargado de eliminar el error en estado estable.

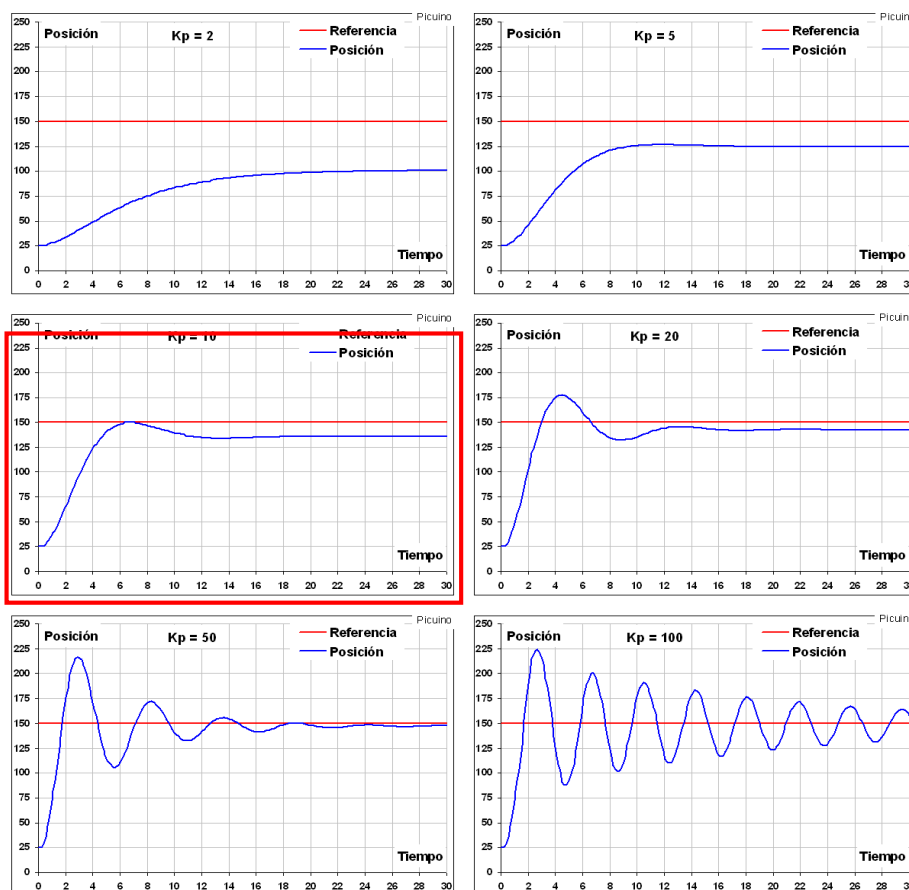
Finalmente, el controlador PID. Este controlador combina las ventajas que proporcionan cada controlador con sus acciones principales para ofrecer una respuesta rápida y una compensación de error inmediato en caso de perturbaciones, pero presenta el inconveniente de que el sistema es muy propenso a oscilar y es difícil de sintonizar comparado a los controladores anteriores.

Una vez que se analiza los posibles controladores que se pueden efectuar, se determina las necesidades de la máquina inyectora, no requiere que el sistema sea rápido y de preferencia que el control sea estable antes que sea preciso. Por lo que se considera una buena opción el controlador proporcional (P), debido a que el control proporcional permite controlar la variable temperatura que es difícil de tratar, además aunque la repuesta en estado transitorio es lenta permite obtener un estado estable

aceptable, esto se puede lograr con la constante proporcional si es demasiado alto producirá una inestabilidad indeseable, sin embargo si se reduce la acción proporcional, reducirá la velocidad de respuesta del sistema pero se obtendrá una respuesta de estado estable admisible, como se muestra en la figura 69. En lo posible se evitará el sobre impulso porque es preferible que el sistema suba lentamente al valor ajustado que sobrepase dicho valor y empiece a descender lo que ocasionaría que el sistema tarde aún más en estabilizarse.

Figura 69

Respuesta de control proporcional



Nota. Respuesta de un controlador proporcional por variación de la constante, de Carlos Pardo, 2022.

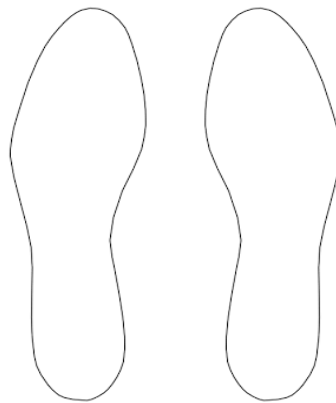
3.7.5 Algoritmo de Control de Calidad y Monitoreo.

La técnica de visión que se empleará en el control de calidad es mediante la definición de bordes para obtener un área específica y se realizará de dos formas.

Área de las plantas de calzado. En el primero método se requiere encontrar los contornos de una planta que se considere de buena calidad para determinar el área, como se muestra en la figura 70, y mediante comparaciones lógicas establecer si la planta es o no de buena calidad, tomando en cuenta que en la máquina inyectora se produce plantas de talla 36, 38 y 40.

Figura 70

Contornos de las plantas de calzado



Para ello se hace la adquisición del video en tiempo real y se transforma a escala de grises, como en la base solo se coloca las plantas de calzado, entonces se puede determinar inmediatamente los contornos de las plantas de calzado por pares mediante umbralización simple o con la operación `cv2.canny`, para mejorar la imagen también se puede utilizar dilatación y erosión.

Considerando que solo queremos los contornos de la parte externa se utiliza la umbralización simple con el parámetro `cv2.RETR_EXTERNAL` ya que recupera solo los contornos exteriores. Finalmente se define los contornos con `cv2.findContours` y se determina el área total de las plantas de calzados por pares tallas 36, 38 y 40. Ya con las áreas específicas se establece un rango de ± 2 y se procede hacer comparaciones con las plantas que se introduzcan en el sistema implementado de control de calidad.

Color de las plantas de calzado. La segunda técnica que se aplicará al control de calidad es mediante el color de las plantas de calzado, pueden ser blancas o cafés, se determinará la cantidad de color aceptable que tiene la planta mediante parámetros RGB, luego se definirán los bordes, se obtendrá el área de los bordes generados por el color y al final se comparará el área total de la planta con el área de color RGB en porcentajes.

Primero se visualiza las plantas de calzado en tiempo real para determinar los parámetros RGB del color aceptable, con los datos obtenidos se puede establecer un rango alto y bajo de parámetros RGB. El siguiente proceso es eliminar posibles ruidos internos y externos de las plantas de calzado, por lo que se propone transformaciones morfológicas de apertura y cierre, ya que este tipo de operaciones se basan en la forma de la imagen.

`cv2.MORPH_OPEN`. En la transformación morfológica de apertura se realiza un proceso de erosión “los píxeles cercanos a los límites se descartan en función del tamaño del núcleo” seguida de la dilatación” aumenta la región blanca en la imagen o el tamaño del objeto en primer plano”. Es útil para eliminar el ruido externo, como se muestra en la figura 71.

Figura 71

Transformación morfológica de apertura



Nota. Tomado de Transformación morfológica de apertura, de Opencv-Python Tutorials, 2016

`cv2.MORPH_CLOSE`. En la transformación morfológica de cierre primero se realiza una dilatación seguida de la erosión. Es útil para eliminar pequeños puntos negros en el objeto, como se muestra en la figura 72.

Figura 72

Transformación morfológica de cierre



Nota. Tomado de Transformación morfológica de apertura, de Opencv-Python Tutorials, 2016

Luego se determina la forma del color aceptable, se obtiene el área y se determina el centroide para mostrar un mensaje del estado de la planta, finalmente se

pretende comparar el área total obtenido en el primer método con la segunda técnica que es el área de color aceptable, aplicando una regla de 3 simple se relaciona que el área total es el 100% entonces cuanto le corresponde al área de color aceptable, si el área de color aceptable es mayor a 90% se determina como planta de buena calidad, de no ser el caso se determina planta de mala calidad.

Tkinter. Es un paquete de Python que se utiliza para desarrollar interfaz de usuario gráfica (GUI). Para el control de calidad se aprovecha sus facilidades debido que viene incluido en Python, muestra información de forma rápida, además se pueden administrar varias ventanas y existe una gran cantidad de información. Tiene arquitectura Tk, es decir proporciona comandos para personalizar las ventanas en la GUI.

El proceso de control de calidad de plantas de calzado es monitoreado de forma remota mediante una ampliación IoT, que permitirá obtener los valores relevantes como el porcentaje de la planta de calzado a analizar, el color y si es una planta de buena calidad o no, generados mediante técnicas de visión por computador y transferirlos a la web.

Monitoreo remoto en Firebase. es una plataforma en la nube para el desarrollo de aplicaciones web, una de las herramientas más destacadas es que cuenta con una base de datos en tiempo real, los datos se alojan en la nube y se puede disponer de la información en tiempo real sin necesidad de que el usuario realice alguna acción.

En la Raspberry pi se configura un usuario y se asigna una contraseña directamente desde cmd para permitir la instalación de las extensiones necesarias requeridas por Firebase. Luego se instala en la Raspberry pi el administrador de Firebase desde cmd con el comando `pip install firebase-admin`.

Posteriormente se debe generar una clave de conexión mediante un archivo JSON, que permite el intercambio de datos.

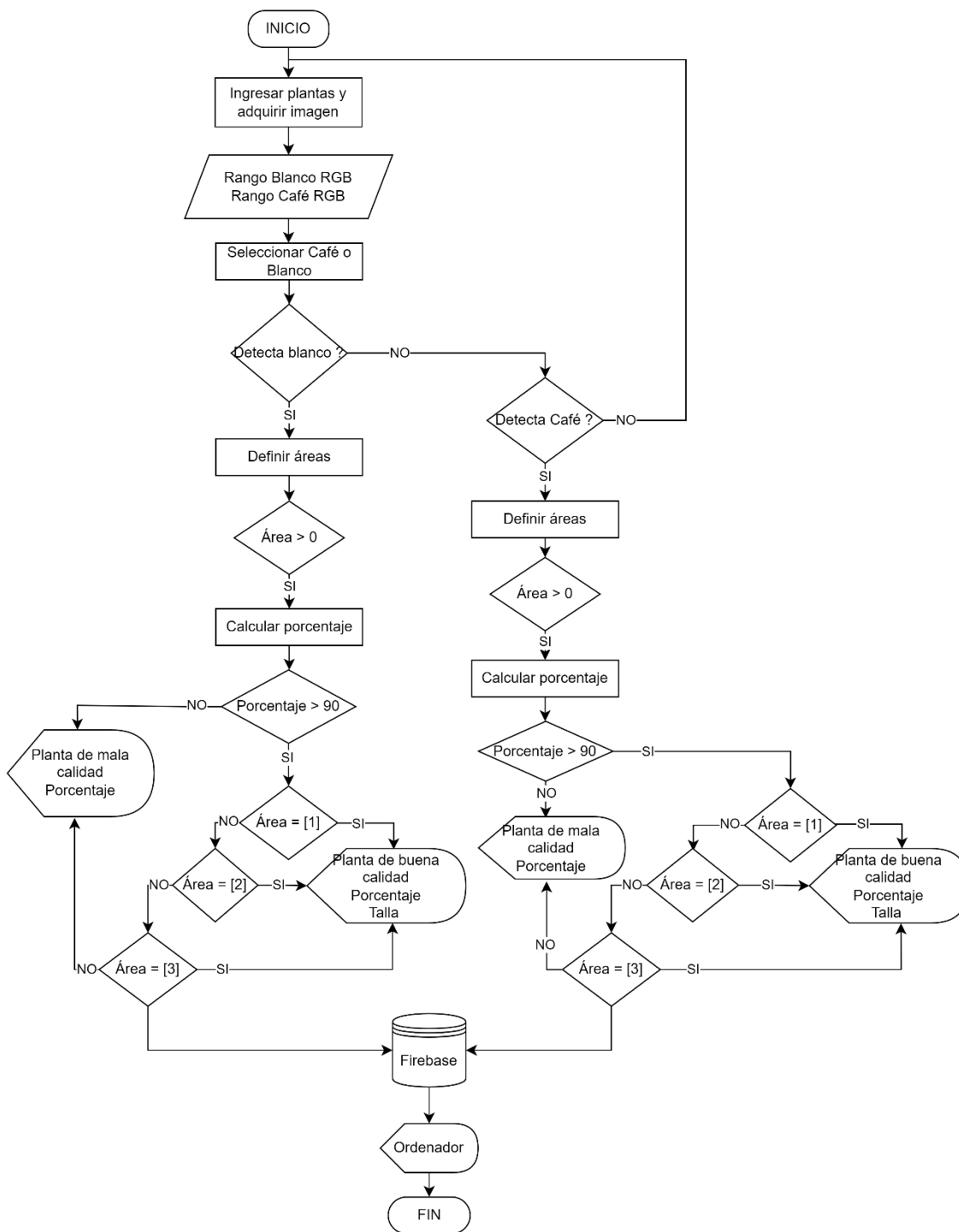
Después se asigna la clave de conexión en las credenciales en el código del programa Python. Además de eso, en la etapa de conexión se debe asignar el URL proporcionado para la base específica a ocupar.

Para montar el servidor desde una computadora con sistema Windows es necesario contar con NodeJs, que permite establecer varias conexiones a la vez. Luego de haber establecido conexión se asigna el envío de datos hacia la base mediante el método Post, para enviar información a la base de datos.

Diagrama de Control de Calidad y Monitoreo. Ahora se realiza el diagrama para el control de calidad tomando como base el porcentaje de color que contenga la planta, se tiene como base el color blanco y café que serán producidas en la máquina, como se muestra en la figura 73. El lenguaje de programación que se utilizará es Python.

Figura 73

Algoritmo de control para Supervisión de Calidad y Monitoreo



Capítulo IV

4 Implementación, pruebas y resultados

En este capítulo se pone en evidencia la implementación de cada una de las mejoras realizadas en la máquina inyectora de plantas de calzado, tanto en su parte mecánica, eléctrica y de control, así como la integración del control de calidad por visión por computador y el monitoreo de la producción mediante IoT, posteriormente se realizan pruebas del proceso de producción, de la calidad del producto final y del monitoreo remoto implementado con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento en la fabricación de plantas de calzado de buena calidad.

Se realizó una revisión general de los componentes y unidades de la máquina inyectora de plantas de calzado, encontrándose varios problemas cuya solución se detalla a continuación.

4.1 Limpieza y restitución de cilindro de inyección

El cilindro de inyección presentó serias obstrucciones con material totalmente quemado como consecuencia de fallas en el control de temperatura producidas previamente a la repotenciación de la máquina inyectora de plantas de calzado, para dar solución al inconveniente mencionado se desmontó por completo la unidad de alimentación conformada por la tolva y otros varios componentes de soporte y sujeción de la misma, posteriormente se procedió a remover una gran cantidad de material solidificado que obstaculizaba el paso de material limpio a las siguientes etapas del proceso de producción.

Para la remoción de todo ese material solidificado fue necesario golpear con la punta de un cincel en el material hasta que se desprenda.

Figura 74

Obstrucción en cilindro de inyección con material quemado

**Figura 75**

Limpieza en cilindro de inyección de material quemado



4.2 Regeneración de componentes mecánicos deteriorados por óxido

Se procedió a remover la gran cantidad de óxido encontrada en varios componentes mecánicos, lijando de forma total todas las partes corroídas y aplicando pintura anticorrosiva en cada una de ellas para evitar que los componentes mencionados se vuelvan a deteriorar.

Para evitar que se vuelva a generar corrosión en los componentes regenerados se decidió aplicar pintura anticorrosiva en las zonas afectadas, considerando sus propiedades para proteger metales de deterioro por humedad, oxidación y exposición a químicos de uso industrial.

Figura 76

Componentes mecánicos corroídos



Figura 77

Componentes mecánicos libres de corrosión



4.3 Regeneración de tapa de cilindro de inyección

Dentro del cilindro de inyección se generan altas temperaturas de entre 150 y 170 grados centígrados, por lo que el mismo se encuentra cubierto por una tapa de gran tamaño rodeada de fibra de vidrio y aluminio como aislante térmico para proporcionar seguridad al operario, dicha protección térmica se encontró totalmente deteriorada con la cubierta de aluminio destrozada lo que entre otras cosas pudo generar cortocircuitos con las resistencias de calentamiento.

Debido a que se encontraron restos de aluminio quemados en la tapa se determinó que una de las causas para que la máquina haya fallado en el pasado fue un cortocircuito generado por el contacto entre el aluminio y los bornes de las resistencias, razón por la cual se encontraron componentes eléctricos inservibles como relés de estado sólido.

Figura 78

Cubierta de la tapa del cilindro de inyección deteriorada



Se restauró la protección térmica en la tapa del cilindro de inyección removiendo por completo la antigua capa de aluminio y fibra de vidrio y colocando nuevas capas de protección de la siguiente manera.

Se colocó una capa inferior de fibra de vidrio la cual actúa como aislante térmico y evita posibles quemaduras del operario provocadas por las altas temperaturas del cilindro, se colocó una capa intermedia de aluminio y una capa externa de fibra de vidrio para evitar posibles contactos entre el aluminio y los bornes de las resistencias de calentamiento, evitando así posibles cortocircuitos.

Figura 79

Cubierta de la tapa del cilindro de inyección restaurada



4.4 Reinserción de componentes eléctricos inservibles

En la máquina se observó que faltaban ciertos componentes eléctricos como resistencias de calentamiento, así como también se encontraron componentes eléctricos inservibles, los cuales se procedió a reemplazar.

4.4.1 Inserción de resistencias faltantes

El cilindro de inyección se encuentra rodeado por resistencias de calentamiento en forma de abrazadera, las resistencias se encuentran divididas en dos secciones denominadas cola para la sección cercana a la tolva de Alimentación y punta para el extremo cercano al molde.

En la sección de la punta se observó la carencia de las resistencias de calentamiento correspondientes, las mismas que fueron debidamente solicitadas a la empresa la cual se encargó de su adquisición para ser colocadas en el lugar correspondiente.

Figura 80

Zona del cilindro de inyección sin resistencias



Las resistencias se colocaron en la sección denominada punta alrededor del cilindro de inyección, se sujetaron con pernos y tuercas de manera adecuada y se conectaron a la red eléctrica en paralelo con las demás resistencias.

Figura 81

Reinserción de resistencias en la punta del cilindro de inyección



4.4.2 Reemplazo de relés de estado sólido inservibles

Se hicieron pruebas del funcionamiento de cada uno de los componentes eléctricos en la caja de control, para ello se enviaron señales de activación directamente a las bobinas de contactores, guardamotor y relé de estado sólido, encontrándose varios elementos en buenas condiciones a excepción de un relé de estado sólido encargado del control de activación y desactivación en el conjunto de resistencias de la parte de la cola del cilindro de inyección.

Los factores considerados en la selección del relé de estado sólido se detallan en el capítulo 3, además de que se tomó la precaución de medir el amperaje máximo que tendrá que soportar mediante una pinza amperimétrica, determinándose que la máxima corriente a soportar es de 9 amperios, ya que el relé de estado sólido Maxwell MS-1DA4825 soporta hasta 25 amperios se procedió a su reemplazo de forma segura.

Figura 82

Reemplazo de relé de estado sólido defectuoso



4.5 Implementación de controlador lógico programable

Se incorporó un controlador lógico programable de la marca Mitsubishi cuya característica principal es incluir una pantalla HMI en un solo dispositivo, en lugar del antiguo controlador Logo, el cambio se lo realizó debido a la necesidad de contar con

una interfaz hombre-máquina que permita introducir de forma fácil y precisa los valores de tiempo y temperatura de trabajo deseados, lo cual no se podía realizar de forma apropiada mediante el controlador Logo debido a que no cuenta con una interfaz.

4.5.1 Remoción de módulo Logo

Previamente a la remoción del módulo Logo se procedió a determinar todas las entradas y salidas de la máquina inyectora, una vez que se reconocieron las mismas se procedió a etiquetar el cableado de acuerdo a sus correspondientes entradas y salidas, se desconectó el cableado y se procedió a remover el Logo, posteriormente se procedió a remover la caja de soporte del antiguo controlador, dejando así todo en orden para la implementación del nuevo controlador.

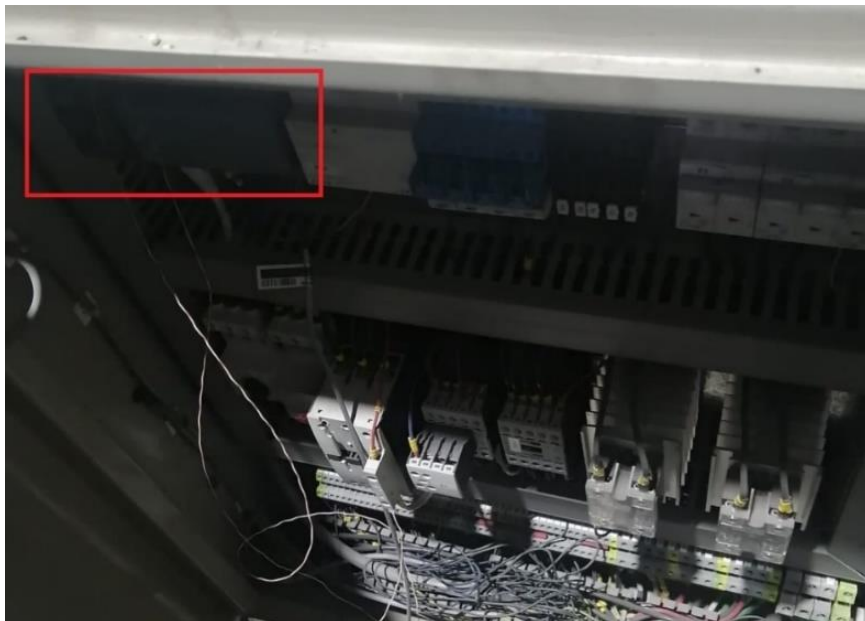
Figura 83

Pantalla TDE de controlador Logo



Figura 84

Caja de control con módulo Logo antes de ser removido

**Figura 85**

Caja de control sin módulo Logo



4.5.2 Cableado para el nuevo controlador

Después de que se removido el módulo Logo de la caja de control y la pantalla TDE junto con los módulos controladores de temperatura localizados en la parte frontal de la máquina se realizó un nuevo cableado necesario para el nuevo PLC.

Figura 86

Cableado para el nuevo controlador



Debido a que el controlador Mitsubishi todo en uno está totalmente integrado en un solo dispositivo y se lo colocó en la parte frontal de la inyectora a una altura prudente para su manipulación por parte del operario, hubo la necesidad de extender el cableado con todas las entradas y salidas desde la caja de control hacia el frente de la máquina.

4.5.3 Instalación del nuevo controlador lógico programable

Una vez realizado el cableado necesario se procede a colocar el nuevo controlador lógico programable, para lo cual se colocó una caja dentro de la cual se pueda ubicar el cableado de manera adecuada y que a su vez permita sostener de

manera segura el PLC, la caja se ubicó de manera firme en la estructura de la inyectora mediante pernos, con la caja en su posición se procedió a fijar el PLC a la misma mediante los seguros que el mismo incorpora, posteriormente se conectaron los cables correspondientes a cada una de las entradas y salidas, así como a la fuente de alimentación de 24 voltios.

Figura 87

Instalación de PLC Mitsubishi todo en uno



4.5.4 Implementación de control proporcional para temperatura

En el proceso de producción de plantas de calzado la primera etapa y una de las más importantes es el control de temperatura, para ello y debido a las prestaciones del PLC utilizado se determinó que la mejor opción es el control proporcional.

Por lo general los reguladores proporcionales (P) presentan una respuesta con un cierto error remanente, que el sistema no puede compensar (López, 2018).

El error remanente presentado por el control proporcional es muy pequeño con una buena parametrización de la constante proporcional, por lo que se lo considera adecuado para el proceso de control de temperatura.

Se aplica el concepto de control proporcional en el cual la salida será igual al valor del error multiplicado por una constante de proporcionalidad, siendo el error igual al valor deseado menos el valor actual.

$$m(t) = Kp * e(t) \quad (4.1)$$

Como punto inicial se conectaron las termocuplas tipo K a módulos de acondicionamiento mediante una tarjeta embebida que permite obtener una señal analógica adecuada para ser censada por las entradas del controlador lógico programable.

Se seleccionó el módulo acondicionador para termocuplas MAX6675 ya que permite leer termocuplas en rangos de 0 a 1023 grados centígrados, el módulo realiza internamente la compensación de la junta fría para compensar los efectos de la temperatura ambiente en la medida, además de linealizar la respuesta por medio de un conversor analógico a digital, tiene una buena resolución de 25 °C y un rango de uso de 3 a 5.5 voltios (TRANSMISOR PARA TERMOCUPLA K MAX6675, 2018).

Se capturó el valor en las entradas analógicas para cada una de las termocuplas en las variables D8030 y D8031 respectivamente y se almacenó dichas cantidades en las variables D0 y D20. Posteriormente se realizó la conversión del valor analógico a temperatura dividiendo los valores de las entradas para una constante, los valores de temperaturas reales se los almacenó en las variables D10 y D30 respectivamente.

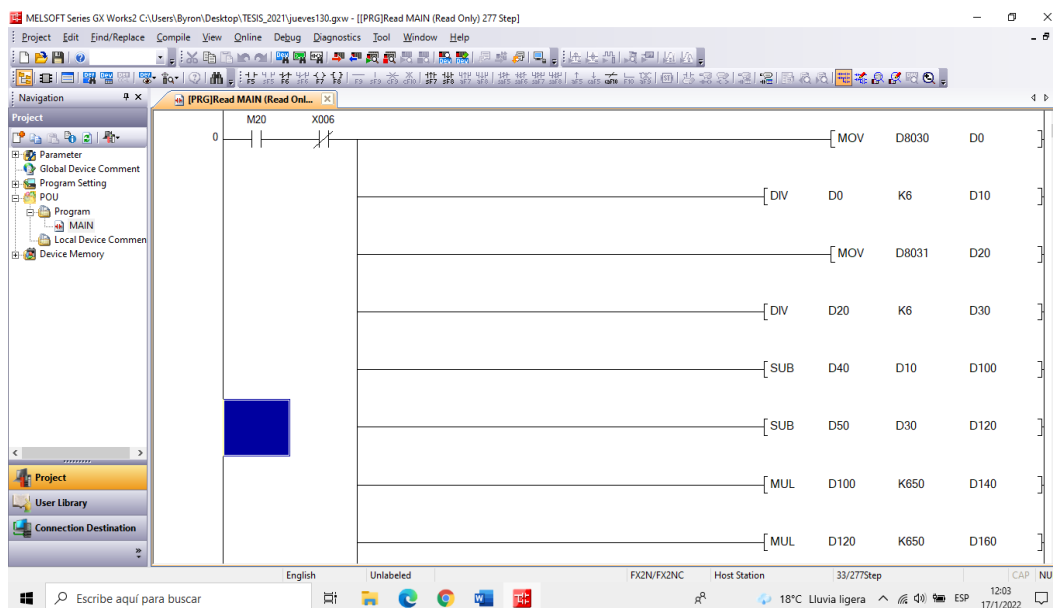
Se declararon las variables D40 y D50 como valor deseado para las temperaturas en la punta y la cola respectivamente. Se obtuvo el valor del error

restando los valores deseados de las temperaturas actuales y se almacenó dichos valores en las variables D100 y D120 respectivamente. Finalmente se obtuvo el valor de salida del controlador proporcional multiplicando los valores de error por la constante de proporcionalidad y se almacenó dichos valores en las variables D140 y D160 respectivamente.

Para el ajuste de la constante de proporcionalidad se tomaron en consideración los siguientes criterios mencionados por López (2018), mientras el valor de la constante sea muy elevado habrá mayor actuación ante el error, obteniendo una evolución más rápida del sistema pero con sobre impulsos considerables que podrían no llegar a estabilizarse o tener estabilidad con el tiempo, para un valor de constante muy bajo el sistema podría nunca llegar a la consigna, habiendo error de forma permanente, tomando en cuenta dichas consideraciones se trabajó con una constante proporcional de 650, con la que se consiguió una respuesta apropiada para el proceso.

Figura 88

Configuración de salidas proporcionales

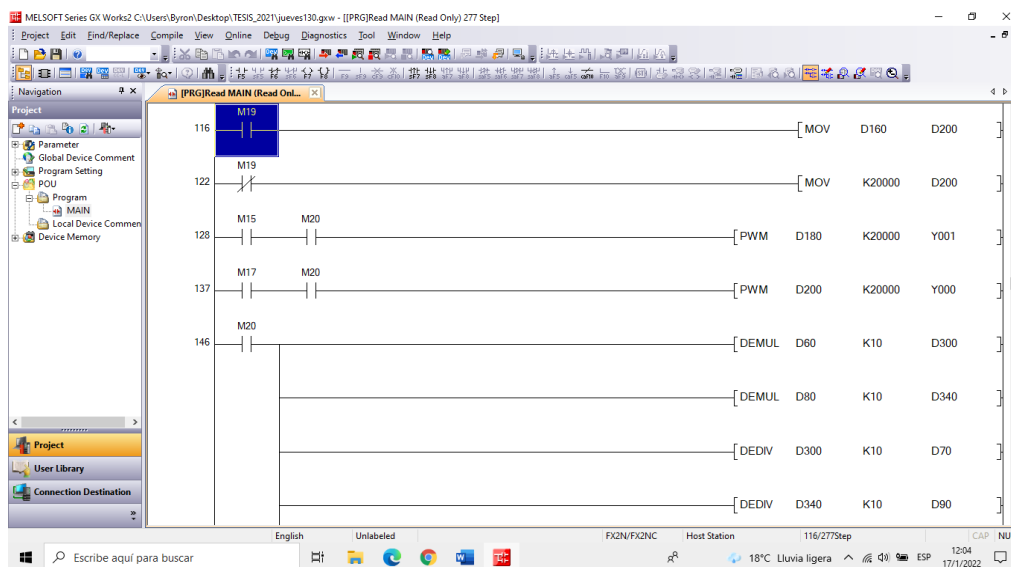


Una vez configurado el valor de salida proporcional, se guardó el dato mencionado en las variables D180 y D200, para utilizarse posteriormente.

Se emplearon dos salidas PWM para el control de encendido y apagado de las resistencias en función del control de temperatura, para ello se colocó el bloque PWM proporcionado por GX Works 2, en su configuración se colocó el valor de salida proporcional como tiempo en alto de la señal PWM, el período total y la salida a ser activada, para el caso las salidas Y000 y Y001.

Figura 89

Configuración del control proporcional



4.5.5 Implementación de control secuencial

La siguiente etapa del control del proceso de producción de plantas de calzado mediante el controlador lógico programable fue la activación de salidas digitales, para lo cual se implementaron dos modos de operación, manual y automático.

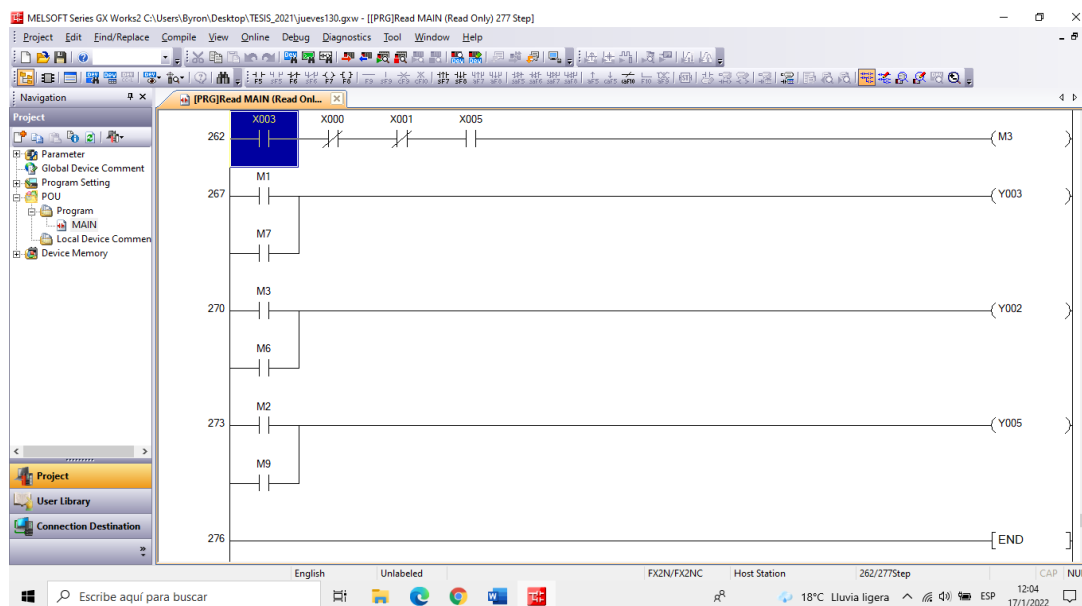
El modo de operación manual consiste únicamente en la activación de los actuadores según el operario presiona los pulsadores apropiados, este modo de

funcionamiento es importante porque permite purgar material al final de la jornada de trabajo y calibrar el montaje de los moldes en la unidad de cierre.

El modo de operación automático se lo realizó estrictamente bajo las indicaciones de los operarios según su experiencia, de acuerdo a lo cual se implementó la siguiente secuencia, el molde baja siempre y cuando se encuentren presionados los 2 pulsantes de los extremos de la máquina, esto como medida de seguridad para evitar que el molde se cierre de forma accidental pudiendo causar lesiones al operario, una vez que el sensor que determina que el molde se encuentra en la posición baja es activado comienza la etapa de inyección, misma que durará el tiempo ingresado en la interfaz por el operario, una vez culminada la etapa de inyección habrá un tiempo de espera también ingresado por el operario en el cual el material se solidifica adoptando su forma final, una vez se concluye esta etapa el molde se abre y está listo para realizar el proceso nuevamente.

Figura 90

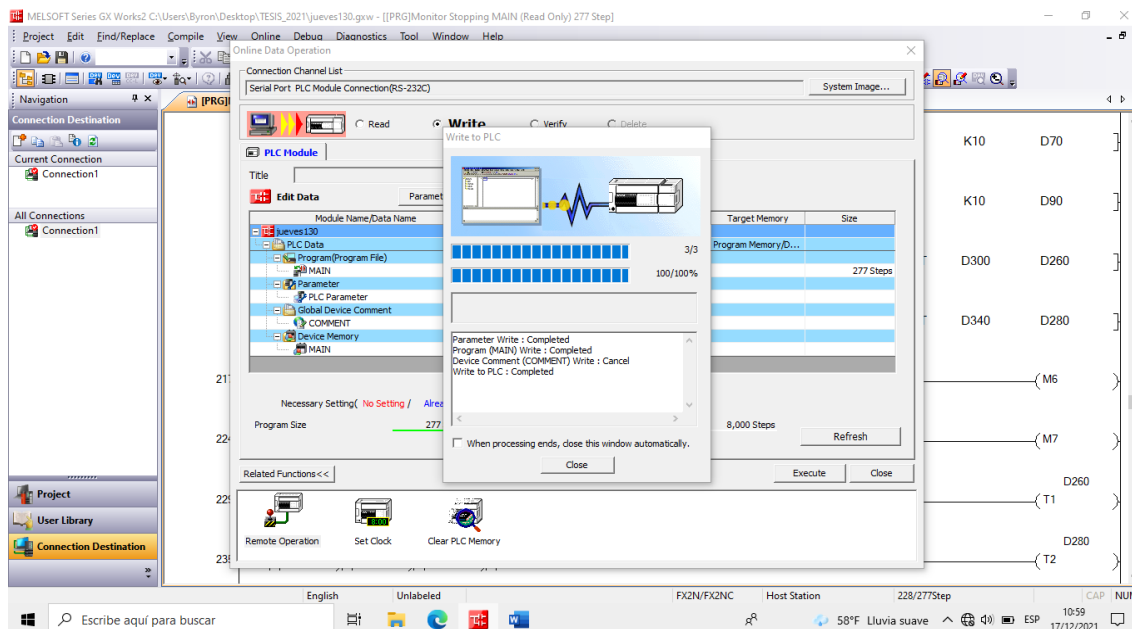
Programación Ladder implementada



Una vez realizada la programación completa en el programa GX Works 2 se cargó el programa en el controlador lógico programable quedando listo para la realización de las pruebas pertinentes.

Figura 91

Carga de la programación Ladder al PLC Mitsubishi



4.5.6 Implementación de la interfaz de usuario

Se realizó un interfaz humano máquina que permita al operario ingresar las variables pertinentes en el controlador.

Se utilizó el software Coolmay HMI que permite crear pantallas para el operario de forma sencilla para controladores de la marca Mitsubishi.

Para la implementación de la interfaz se siguieron las instrucciones precisas del operario de la máquina quien solicitó dos pantallas para el ingreso de parámetros.

Para el diseño de la pantalla HMI se escribieron y dibujaron todas las características necesarias, las cuales se trataron con los operarios de manera apropiada, realizándose un bosquejo de lo que se quería lograr, no se consideró relevante colocar gráficos en la pantalla, los datos colocados fueron únicamente los más necesarios.

El diseño del HMI se lo describe de la siguiente manera, en la pantalla denominada zonas se ingresan los valores deseados de temperaturas para la punta y para la cola de la máquina inyectora, y se tienen los respectivos indicadores de temperatura actual para cada zona, frente a cada indicador de temperatura se tienen leds que indican cuando se ha alcanzado una temperatura que permitirá iniciar el trabajo. En la pantalla denominada tiempos se ingresan el valor del tiempo de duración de inyección y el tiempo de enfriamiento, ambos con la posibilidad de ingresar un número decimal para mayor precisión.

Figura 92

Implementación de interfaz de usuario



4.6 Implementación de control de calidad

Se implementó el control de calidad del producto final mediante técnicas de visión por computador, para lo cual se empleó una tarjeta Raspberry como procesador,

una cámara digital como sensor de imágenes y se construyó una caja empleada para crear el entorno apropiado para el procesamiento de imágenes.

El control de calidad se lo realizó en función de las fallas más comunes en el producto final expuestas por el operario, que consisten en la variación de la tonalidad de la planta debido a temperaturas y plantas incompletas en su contorno debido al corto tiempo de inyección de material.

Se empleó la librería Tkinter para la creación de una interfaz de usuario que permita la visualización de datos relevantes de forma fácil, que permita una interacción adecuada del operario con el sistema de control de calidad.

Figura 93

Interfaz de usuario implementado



4.6.1 Construcción de caja de iluminación

Para lograr un entorno adecuado para la realización del control de calidad, en el que se eliminen sombras y cambios de iluminación que interfieran con los resultados del proceso se construyó una caja de iluminación que permite aislar la escena, colocando en su interior las plantas a ser examinadas.

La caja está construida de acero inoxidable debido al ambiente de alta corrosión que se presenta en un ambiente industrial.

Figura 94

Caja construida de acero inoxidable



El código de programación en Python implementado para el control de calidad se encuentra en los anexos.

Figura 95

Caja de iluminación para el control de calidad



4.7 Implementación de IoT para el control de calidad

Se creó una aplicación web mediante la plataforma Firebase en la que se muestran los resultados obtenidos del control de calidad, los datos mostrados son el porcentaje de calidad determinado y un indicador que muestra si se trata de una planta de buena o de mala calidad, ya que son los datos más relevantes de acuerdo al operario que le permitirán decidir si el producto es apto para su comercialización o si por el contrario debe ser reciclado para ser molido, mezclado con otro material de tono oscuro para ser reutilizado en la producción de nuevas plantas.

Figura 96

Aplicación web para monitoreo remoto del control de calidad



4.8 Pruebas y resultados

Durante las pruebas realizadas se examinó el correcto funcionamiento del proceso de producción de las plantas de calzado en cada una de sus etapas, tales como la etapa de control de temperatura en la que se examinó que los valores de trabajo se mantengan dentro del rango establecido por el operario, en el proceso de

inyección se observó que la secuencia se cumpla correctamente, con los tiempos de inyección y de enfriamiento adecuados, así como el tiempo promedio de producción.

Para las pruebas del control de calidad se consideraron dos parámetros de pruebas diferentes, el primero para determinar el correcto funcionamiento del proceso de control de calidad al colocar plantas defectuosas de manera intencionada y verificar que el resultado indicado en el controlador concuerde con lo esperado, una vez corroborado que el funcionamiento del control de calidad es apropiado, se inicia con el segundo parámetro de pruebas que consiste en determinar la calidad de la producción en general tanto para plantas blancas como para plantas cafés.

4.8.1 Pruebas del control de temperatura

Se realizaron dos tipos de pruebas para el proceso de control de temperatura, la primera consiste en verificar si el tiempo que tarda en alcanzar el valor deseado es aceptable y la segunda para verificar si el controlador mantiene la temperatura en los rangos de funcionamiento apropiados.

Prueba de tiempos. Para determinar qué tan aceptable es el tiempo que tarda el controlador en alcanzar el valor deseado se pidió al operario de la máquina inyectora de plantas de calzado que mida el tiempo a partir de que coloca el valor deseado hasta que el valor real de la temperatura alcanza el mismo durante diez días, en la Tabla 21 se muestran los resultados obtenidos.

La temperatura de trabajo colocada es de 155 grados centígrados para la cola y 165 grados centígrados para la punta, valores empleados para la producción de plantas blancas, como se indicó en el capítulo 3.

Figura 97

Set Point colocado para prueba de tiempos

**Tabla 21**

Pruebas de tiempo de asentamiento en control proporcional

Día	Tiempo de asentamiento (en minutos)	
	Cola del cilindro de inyección	Punta del cilindro de inyección
1	9.30	10.35
2	9.25	10.14
3	9.50	10.22
4	9.45	10.15
5	9.10	10.20
6	9.15	10.18
7	9.10	10.34
8	9.14	10.45
9	9.24	10.23
10	9.35	10.15
Promedio	9.25	10.24

Los resultados de las pruebas realizadas indican que en promedio el tiempo de asentamiento del control de temperatura en la cola del cilindro de inyección es de 9 minutos con 25 segundos, mientras que en la punta del cilindro es de 10 minutos con 24

segundos, lo que de acuerdo al criterio del operario es bastante aceptable siendo el tiempo aproximado que tardan en llegar a la temperatura deseada otras máquinas de inyección.

Prueba de rangos de funcionamiento. Se verificó que el control de temperatura se mantiene estable con un error de ± 2 grados centígrados lo que es bastante aceptable para la producción.

Figura 98

Error de ± 2 en el control de temperatura



Para verificar la capacidad del control de temperatura para mantener la temperatura de trabajo aceptable mientras la máquina se encuentra en producción se tomaron muestras de temperatura durante diez ciclos de trabajo en producción de plantas blancas con una temperatura de trabajo de 155 grados centígrados en la cola y 165 grados centígrados en la punta, con lo que se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 22*Pruebas de error en control de temperatura*

Temperatura (en grados centígrados)		
Núm. De Prueba	Cola del cilindro de inyección	Punta del cilindro de inyección
1	154	164
2	156	165
3	155	165
4	156	166
5	157	165
6	154	167
7	155	165
8	155	164
9	156	165
10	155	166
Error absoluto	0.7	0.6

Como se puede observar en los resultados obtenidos el error en el proceso de control de calidad para ambas zonas del cilindro de inyección es de ± 2 grados centígrados, lo que representa una condición excelente de trabajo para la producción de plantas de calzado.

Los resultados de la Tabla 22 permitieron calcular el valor del error promedio que se obtiene en todas las pruebas como la diferencia entre el valor de las temperaturas obtenido en las pruebas y el valor deseado.

El error absoluto obtenido es de 0.7 grados centígrados para la cola del cilindro de inyección y de 0.6 grados para la punta del mismo, lo que demuestra que el controlador proporcional mantiene la temperatura de trabajo muy próxima a la requerida.

4.8.2 Pruebas de control secuencial

Para verificar que el proceso secuencial de producción funciona correctamente se realizaron diez pruebas iniciales en las que la secuencia se cumplió correctamente, además se verificó el tiempo de producción para cada par de plantas cuando se trabaja con un tiempo de inyección de 7.3 segundos y un tiempo de enfriamiento de 28 segundos. Los tiempos de trabajo se ingresaron de acuerdo a la experiencia del operario y están en función de la talla de la planta, en las pruebas realizadas se emplearon los modelos de mayor producción, cabe mencionar que no se puede establecer un modelo matemático que determine el tiempo necesario para la inyección, debido a que el material utilizado se obtiene de diferentes proveedores y no se comporta exactamente de la misma manera.

Tabla 23

Pruebas de duración de un ciclo de producción

Núm. De Prueba	Tiempo de producción (en segundos)
1	41.2
2	41.4
3	41
4	41.3
5	41.2
6	41.3
7	41
8	41.4
9	41.2
10	41.1
Promedio	41.21

Como se puede observar en los resultados obtenidos el tiempo promedio de duración de un ciclo de trabajo para la producción de un par de plantas de calzado es

de 41.21 segundos, cabe aclarar que se considera únicamente el tiempo a partir del cierre del molde hasta la apertura del mismo, sin tomar en cuenta el tiempo de extracción del producto final que depende del operario.

Los resultados obtenidos fueron aprobados por el operario de la máquina quien de acuerdo a su experiencia manifiesta que es un tiempo aceptable de producción.

Se compararon además los resultados obtenidos en las pruebas con el tiempo de trabajo de una máquina similar de la empresa la cual presenta una duración promedio de un ciclo de trabajo de 43 segundos, lo que demuestra que los resultados obtenidos son muy positivos.

4.8.3 Pruebas de luminosidad en el control de calidad

Se determinó que el ambiente de una fábrica de plantas de calzado no es el adecuado en cuanto a iluminación para el procesamiento de imágenes con visión artificial, el ir y venir constante de trabajadores provoca sombras que intervienen con la escena a analizar.

El problema de iluminación anteriormente mencionado fue solventado de manera sencilla mediante la caja de iluminación construida, ya que se eliminó por completo la interferencia de sombras en la escena con lo cual se pudo continuar con las siguientes pruebas del control de calidad de manera apropiada.

4.8.4 Control de calidad ante fallas por decoloración

Antes de proceder a determinar la calidad en la producción de plantas de calzado se realizaron las pruebas pertinentes para confirmar que el sistema de control de calidad funciona de manera correcta, para lo cual se hicieron pruebas con plantas defectuosas de manera intencionada, con el objetivo de verificar que efectivamente sean detectadas como plantas de mala calidad.

Figura 99

Comparativa entre planta de mala y buena calidad por el color

**Figura 100**

Detección de planta de buena calidad



Figura 101

Detección de planta de mala calidad



Se probaron de manera aleatoria plantas de buena y mala calidad de colores blanco y café, para lo cual se sobrecalentaron de manera intencionada dos muestras de cada color para obtener defectos en su color.

Se registraron los resultados proporcionados por el control de calidad, a continuación, se muestran los resultados de las pruebas realizadas.

Tabla 24

Pruebas de funcionamiento de control de calidad

Núm. de Prueba	Pruebas con plantas blancas			Pruebas con plantas cafés		
	Resultado esperado	Resultado obtenido	Porcentaje de calidad	Resultado esperado	Resultado obtenido	% de calidad
1	Buena calidad	Buena calidad	94%	Buena calidad	Buena calidad	95%
2	Mala Calidad	Mala Calidad	86%	Mala Calidad	Mala Calidad	81%
3	Mala Calidad	Mala Calidad	87%	Buena calidad	Buena calidad	93%
4	Buena calidad	Buena calidad	95%	Buena calidad	Buena calidad	94%
5	Buena calidad	Buena calidad	97%	Mala Calidad	Mala Calidad	86%

Porcentaje de aciertos: 100%

Como se puede observar en la Tabla 24, se obtuvo el 100% de efectividad en los resultados esperados del control de calidad, lo que demuestra que es totalmente confiable utilizar este método de control para verificar la calidad de la producción.

4.8.5 Control de calidad ante fallas por contorno incompleto

El control de calidad por visión artificial permite también detectar plantas de mala calidad por contornos incompletos, indiferentemente del color de la planta se obtendrá un aviso si la planta no está completa.

Figura 102

Detección de planta de mala calidad por contorno incompleto



Se fabricaron muestras incompletas de manera intencional reduciendo el tiempo de inyección, con la finalidad de corroborar el correcto funcionamiento del control de calidad por contorno incompleto.

Se colocaron de manera aleatoria plantas completas e incompletas en el sistema de control de calidad para realizar pruebas, a continuación, se muestran los resultados.

Tabla 25

Pruebas de detección de fallas por contorno incompleto

Núm. de Prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
----------------	--------------------	--------------------

1	Buena calidad	Buena calidad
2	Mala calidad	Mala calidad
3	Buena calidad	Buena calidad
4	Mala calidad	Mala calidad
5	Buena calidad	Buena calidad
6	Buena calidad	Buena calidad
7	Mala calidad	Mala calidad
8	Mala calidad	Mala calidad
9	Buena calidad	Buena calidad
10	Buena calidad	Buena calidad
Porcentaje de aciertos: 100%		

Las pruebas mostradas en la Tabla 25 tuvieron el 100% de efectividad en cuanto a resultados, lo que demuestra que el análisis de calidad realizado en el producto es totalmente confiable.

4.8.6 Pruebas en la calidad de la producción de plantas de calzado

Con la máquina en funcionamiento se tomaron muestras de la producción tanto para plantas blancas como para plantas cafés para determinar su calidad previamente a su comercialización.

Se realizaron 10 pruebas para cada color de plantas, un porcentaje de calidad superior al 90% determina que la planta está en condiciones de ser comercializada, mientras que si el porcentaje es inferior al valor mencionado la planta no cuenta con las condiciones adecuadas para su venta.

Los resultados obtenidos con las muestras blancas se encuentran en la Tabla 26.

Tabla 26*Pruebas de calidad en plantas blancas*

Pruebas con muestras blancas		
Núm. de Prueba	Resultado obtenido	Porcentaje de calidad
1	Buena calidad	97%
2	Buena calidad	94%
3	Buena calidad	94%
4	Buena calidad	96%
5	Buena calidad	97%
6	Buena calidad	95%
7	Buena calidad	93%
8	Buena calidad	97%
9	Buena calidad	96%
10	Buena calidad	94%
Porcentaje de plantas de buena calidad:		100%
Porcentaje de calidad:		95.3%

En las pruebas realizadas no se obtuvieron plantas blancas defectuosas, lo cual es un indicador de que tanto el control de temperatura como el control secuencial están trabajando de manera adecuada, produciendo plantas de buena calidad listas para su comercialización.

En caso de existir plantas defectuosas en la producción se pueden tomar medidas correctivas de forma temprana, ya que un color inadecuado en el producto es indicador de que se está trabajando con un valor de temperatura superior al adecuado, permitiendo al operario actuar de forma instantánea reduciendo dicho parámetro en el HMI del proceso.

Las pruebas realizadas con plantas cafés se detallan a continuación en la Tabla 27.

Tabla 27*Pruebas de calidad en plantas cafés*

Pruebas con muestras cafés		
Núm. de Prueba	Resultado obtenido	Porcentaje de calidad
1	Mala calidad	84%
2	Buena calidad	94%
3	Buena calidad	94%
4	Buena calidad	96%
5	Buena calidad	97%
6	Buena calidad	95%
7	Buena calidad	93%
8	Buena calidad	97%
9	Buena calidad	96%
10	Buena calidad	94%
Porcentaje de plantas de buena calidad:		90%
Porcentaje de calidad:		94%

Como se puede observar en la Tabla 27, el primer par de plantas producidas fue defectuoso debido a una decoloración causada por un rango de trabajo de temperatura mayor del requerido, para corregir el problema mencionado se redujo el Set Point de temperatura en la cola de 170 °C a 165 °C y en la punta se mantuvo un valor de 175 °C, lo que corrigió el problema de forma inmediata, evitando pérdidas económicas para la empresa, debido a que el material de plantas quemadas no se puede reutilizar.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 27, las siguientes plantas producidas tuvieron buena calidad.

El control de calidad en las plantas de calzado permitió la detección temprana de problemas relacionados con temperatura permitiendo al operario corregirlos rápidamente para evitar pérdidas de tiempo y dinero al producir plantas defectuosas.

4.8.7 Pruebas de monitoreo remoto de control de calidad mediante IoT

Se comprobó que el monitoreo remoto del control de calidad mediante IoT muestra exactamente los mismos resultados obtenidos en la inspección de plantas en tiempo real.

Los datos empleados para la comunicación con Firebase fueron los porcentajes de calidad tanto para plantas blancas como para plantas cafés, que permiten determinar si las plantas fabricadas son aceptables o no, de esta manera la página web realizada mostrará al usuario únicamente la información fundamental en cuanto a la calidad de la producción, en las pruebas realizadas se demostró que todos los datos coinciden tanto en la interface de usuario montada en la empresa como en la aplicación web.

Figura 103

Monitoreo remoto del control de calidad mediante IoT



4.9 Validación de Hipótesis

La hipótesis planteada del sistema fue:

La automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado mediante la repotenciación de la máquina inyectora, la integración de control de calidad a través de visión por computador e IoT para el monitoreo del proceso de producción permitirá

mejorar el proceso de producción y la calidad del producto final en la empresa INSTALCOM.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se observa que se ha mejorado el proceso de producción de plantas de calzado mediante un control de temperatura confiable que evita la aparición de fallas por exceso de temperatura, además de que el tiempo de producción es corto, de acuerdo a la Tabla 23, permitiendo producir una buena cantidad de plantas de calzado.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 26 y Tabla 27 se demuestra que se tiene un sistema seguro de detección temprana de fallas las cuales al ser corregidas rápidamente permiten la producción de plantas de calzado de muy buena calidad.

Se muestra a continuación los cálculos pertinentes para la validación de la hipótesis planteada.

4.9.1 Validación de pares producidos por hora

Se emplea la técnica T-Student para validar la hipótesis, debido a que se tiene una distribución normal con pocos datos. Para lo cual se aplica la fórmula:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} \quad (4.2)$$

Siendo:

- \bar{X} = Media de la muestra
- μ = Valor objetivo
- S = Desviación estándar
- n = Tamaño de muestra

Además, se usarán los valores de:

- Nc = Nivel de confianza
- Ns = Nivel de significancia

El parámetro que se consideró para demostrar que se ha mejorado el proceso de producción de plantas de calzado es la cantidad de plantas producidas, teniéndose como mínimo 50 pares por hora, para lo cual es necesario que el ciclo de producción para un par tarde menos de 50 segundos, por lo tanto, se plantean la hipótesis nula H_0 y la hipótesis alternativa H_1 de la siguiente manera:

H_0 : La automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado mediante la repotenciación de la máquina inyectora reduce el tiempo de producción de un par de plantas de calzado en la empresa INSTALCOM.

$$H_0 = \mu < 50 \text{ s}$$

H_1 : La automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado mediante la repotenciación de la máquina inyectora NO reduce el tiempo de producción de un par de plantas de calzado en la empresa INSTALCOM.

$$H_1 = \mu \geq 50 \text{ s}$$

Siendo.

t_p = Tiempo de fabricación de un par de plantas de calzado.

Se emplean los datos de la Tabla 23 como muestra del tiempo de duración de un ciclo de trabajo, se escoge un nivel de confianza del 90%, con lo que se tiene:

- $n = 10$
- $Nc = 90\%$

- $Ns = 10\%$

Se ingresan los valores de la Tabla 23 para obtener los valores de desviación estándar y media de la muestra:

$$\bar{X} = 41.5$$

$$S = 1.269$$

Se requieren los grados de libertad y el nivel de significancia para obtener t_α de acuerdo a la tabla de distribución T, los grados de libertad se obtienen de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$gl = n - 1 = 9$$

De acuerdo a la tabla de distribución T, el valor de t_α es 1,3277

Los datos obtenidos son reemplazados en la fórmula T-Student de la ecuación (4.2).

$$T = \frac{41.5 - 50}{1.269/\sqrt{10}} = -21.18$$

El método T-Student indica que se debe cumplir la siguiente condición:

$$T < t_\alpha$$

$$-21.18 < 1.3277$$

Lo que permite aceptar la hipótesis nula que indica que la automatización del proceso de manufactura de plantas de calzado mediante la repotenciación de la máquina inyectora reduce el tiempo de producción de un par de plantas de calzado.

4.9.2 Validación de la calidad de pares producidos

Para la validación de la hipótesis en cuanto a la calidad de unidades producidas, se aplica la técnica T-Student, cuya fórmula y parámetros ya se han descrito:

Para comprobar que efectivamente se logró mejorar la calidad en el producto final se demostró que el porcentaje de calidad de las plantas de calzado producidas supera el 90%, con lo cual la hipótesis nula H_0 y la hipótesis alternativa H_1 quedan planteadas de la siguiente manera:

H_0 : La integración de control de calidad a través de visión por computador e IoT para el monitoreo del proceso de producción permite mejorar la calidad del producto final en la empresa INSTALCOM.

$$H_0 = \mu \geq 90 \%$$

H_1 : La integración de control de calidad a través de visión por computador e IoT para el monitoreo del proceso de producción NO permite mejorar la calidad del producto final en la empresa INSTALCOM.

$$H_1 = \mu < 90 \%$$

Se emplean los datos de las Tabla 26 y 27 como muestra del porcentaje de calidad obtenido para 20 muestras producidas, se escoge un nivel de confianza del 90%, con lo que se tiene:

- $n = 20$
- $Nc = 90\%$
- $Ns = 10\%$

Se ingresan los valores de las Tablas 26 y 27 para obtener los valores de desviación estándar y media de la muestra:

$$\bar{X} = 94.65$$

$$S = 2.870$$

Se obtienen los grados de libertad y el nivel de significancia para obtener t_α de acuerdo a la tabla de distribución T.

$$gl = 20 - 1 = 19$$

De acuerdo a la tabla de distribución T, el valor de t_α es 1.729

Los datos obtenidos son reemplazados en la fórmula T-Student de la ecuación (4.2).

$$T = \frac{94.65 - 90}{2.870 / \sqrt{20}} = 7.24$$

Se verifica que se cumple la siguiente condición:

$$T > t_\alpha$$

$$7.24 > 1.729$$

Por lo que se acepta la hipótesis nula que indica que la integración de control de calidad a través de visión por computador e IoT para el monitoreo del proceso de producción permite mejorar la calidad del producto final en la empresa INSTALCOM.

4.10 Análisis de Costos

En la Tabla 28 se expone un análisis económico de los gastos realizados en la repotenciación de la máquina inyectora de plantas de calzado y se muestra el costo total que adquiere después de la culminación del proyecto.

En el apartado Gastos Varios se consideran elementos como lijas, pernos, cables, pegamento entre otros.

Tabla 28

Análisis económico del proyecto

LISTA DE COSTOS DE LA MÁQUINA INYECTORA REPOTENCIADA				
#	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO U	TOTAL
1	PLC Mitsubishi Coolmay todo en uno, EX2N-43H-16MR-4AD-2DA-V-A0-485P	1	200	200
2	Cable conversor de USB a RS232	1	10	10
3	Bote de pintura anticorrosiva	3	15	45
4	Rollo de fibra aislante con aluminio	1	12	12
5	Resistencia de calentamiento	2	50	100
6	Relé de estado sólido	1	12	12
7	Raspberry Pi 3 Modelo B	1	120	120
8	Pantalla táctil para Raspberry de 7 pulgadas	1	100	100
9	Cámara digital Genius 320 x	1	40	40
10	Caja de acero inoxidable	1	160	160
11	Impresiones en 3D, para soporte de cámara digital	3	5	15
12	Luces Led de color blanco	4	1	4
13	Fuente de 24 V en corriente continua	1	40	40
14	Regulador de voltaje a 12 voltios	1	1	1
15	Gastos Varios	1	100	100
16	Máquina inyectora de calzado obsoleta	1	8500	8500
SUBTOTAL=				9459
Diseño e implementación del control automático mediante PLC				500
Diseño e implementación del sistema de control de calidad mediante visión artificial y monitoreo remoto mediante IoT				500
TOTAL=				10459

Como se puede observar en la Tabla 28, la máquina inyectora de plantas de calzado adquiere un valor económico de 10459 dólares, el siguiente es un análisis comparativo con otras máquinas similares.

Tabla 29*Comparación 1 Entre Máquinas Inyectoras de plantas de calzado*

Máquina	Inyectora de plantas de calzado INSTALCOM	Máquina rotativa automática de PVC, Wenzhou Deyu Machinery Modelo 1124B
Control automático	SI	SI
Control de calidad	SI	NO
Monitoreo remoto	SI	NO
Estaciones de trabajo	1	10
Colores de trabajo	1	1
Origen	Ecuador	China
Precio	10459	30000

Tabla 30*Comparación 2 entre máquinas inyectoras de plantas de calzado*

Máquina	Inyectora de plantas de calzado INSTALCOM	Máquina de inyección de PVC, Wuchuan Shunda Machinery Factory, Modelo SD-43L225S-PB
Control automático	SI	SI
Control de calidad	SI	NO
Monitoreo remoto	SI	NO
Cantidad de estaciones	1	1
Colores de trabajo	1	3
Origen	Ecuador	China
Precio	10459	23500

De acuerdo a la información presentada en las Tablas 29 y 30, la máquina inyectora de plantas de calzado de la empresa INSTALCOM, una vez repotenciada cumple con características importantes y requeridas por el patrocinador que no poseen otras existentes en el mercado, además de tener un precio relativamente bajo a comparación de otros modelos.

Capítulo v

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Se automatizó el proceso de manufactura de plantas de calzado, mediante la repotenciación de una máquina inyectora, la integración de control de calidad a través de visión por computador e IoT para el monitoreo del proceso de producción, en la empresa INSTALCOM ubicada en la ciudad de Ambato.
- Mediante las pruebas realizadas se concluye que: la máquina inyectora tiene la capacidad de producir un par de plantas de calzado en 41.5 segundos, a esto se adiciona un tiempo estimado de 12 segundos para que el operario retire las plantas de calzado se obtiene un lapso total de 53 segundos, produciendo 68 pares de plantas por hora y satisfaciendo las necesidades de producción.
- Se obtiene un error absoluto de 5.35 % respecto de una planta de 100% de calidad, garantizándose que la producción supera el 90% de calidad y es apta para su comercialización.
- Se obtuvo un 100% de aciertos en las pruebas de funcionamiento del control de calidad, lo que permite determinar que el sistema es eficaz.
- El control de calidad implementado permite la detección temprana de errores en el producto mediante los cuales se puede tomar acción inmediata antes de que se desarrolle toda la producción.
- El HMI implementado permite observar que la temperatura de trabajo y el tiempo de inyección sean apropiados para el proceso, además de ser amigable con el operador.

- El control proporcional seleccionado demostró ser adecuado para el proceso, manteniendo la temperatura de trabajo cerca del valor de Set Point durante todo el proceso de producción.
- Se realizó la selección de componentes en base a un análisis cuantitativo, permitiendo determinar la mejor alternativa bajo criterios específicos siendo de gran ayuda para que el proyecto sea exitoso.
- La técnica de visión por computador empleada en el control de calidad fue la definición de bordes y se realizó mediante el área total y por el color aceptable de las plantas de calzado. Los métodos que se utilizaron fueron umbralización simple y transformaciones morfológicas de apertura y cierre con un kernel de 20 x 20 para eliminar ruidos externos e internos. La técnica aplicada resultó adecuada porque permitió analizar las características fundamentales que determinan la buena o mala calidad de una planta de calzado.
- El sistema de monitorización remota implementado muestra en tiempo real la inspección de calidad realizada en las plantas de calzado, permitiendo que el resto del personal, jefe de producción y propietario de la maquinaria se mantengan al tanto de la calidad en la producción.
- El desarrollo de este proyecto al implementar un sistema de control de visión y monitorización remota permite que la empresa se integre a industria 4.0

5.2 Recomendaciones

- El manejo de la máquina inyectora se debe realizar únicamente con personas que tengan experiencia en este tipo de maquinaria por los riesgos que presenta, tal es el caso del proceso de inyección, ya que cuando hay material quemado dentro del cañón este puede producir explosiones.
- Para realizar mejoras a la máquina inyectora se debe tomar en cuenta consideraciones, puntos de vista, criterios y sugerencias de los operarios y personas que conozcan el funcionamiento de la máquina inyectora.
- Se recomienda fijar correctamente el molde superior e inferior ya que el material se puede desbordar evitando que el molde se llene por completo, entonces el producto no obtendría la forma deseada.
- Se recomienda hacer mantenimiento a la unidad de inyección y retirar todo el material que este dentro del cañón para evitar que se cristalice y se adhiera a las paredes del cilindro generando fallas en el control de temperatura por fricción.
- Colocar las plantas de calzado por pares y dentro del rango visible de la cámara para obtener un buen control de calidad, ya que la técnica de visión aplicada al control es mediante áreas y si no detecta el área total de las plantas puede mostrar mensajes erróneos.
- Es recomendable guiarse en los planos de circuitos eléctricos entregados a la empresa INSTALCOM para realizar un mantenimiento continuo del sistema de control.
- Evitar el giro del tornillo sin fin cuando el material aún se encuentra en estado sólido, ya que puede obstruir el paso en la boquilla de inyección, provocando que se detenga la producción y se requiera de mantenimiento para la respectiva limpieza, ocasionando pérdidas económicas y de tiempo para la empresa.

Bibliografía

- "*INYECCION DE MATERIALES PLASTICOS I*". (2011, 13 de junio). Recuperado el 19 de enero de 2022, de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-i.html>
- "*Las partes de una máquina inyectora*". (2007, 20 de marzo). Recuperado el 20 de enero de 2022, de <https://www.quiminet.com/articulos/las-partes-de-una-maquina-inyectora-18874.htm>
- "*Los fundamentos de los sensores de proximidad: Su selección y uso en la automatización industrial*". (2021, 21 de marzo). Recuperado el 20 de enero de 2022, de <https://www.digikey.com/es/articles/the-fundamentals-of-proximity-sensors-selection-and-use-industrial-automation>
- "*Python: qué es y por qué deberías aprender a utilizarlo*". (2021, 9 de abril). Recuperado el 13 de enero de 2022, de <https://www.becas-santander.com/es/blog/python-que-es.html>
- "*Qué Es El Moldeo Por Inyección De Plástico*". (2017, 9 de enero). Recuperado el 19 de enero de 2022, de <https://www.privarsa.com.mx/moldeo-por-inyeccion-de-plastico/>
- Bcnvision, G. (2017, 11 de abril). *EL BLOG DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL SECTOR INDUSTRIAL*. Recuperado de <https://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/iluminacion-vision-artificial2/>
- Bolton, W. (2013). *Mecatrónica Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Cabezón Gutiérrez, S. (2014). Control de calidad en la producción Industrial. (*Tesis de grado*). Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales, Valladolid.
- Coolmay, A. (2018, 28 de noviembre). *Coolmay Automation Expert*. Recuperado de <http://www.coolmay.com/webdown/EX2N%20HMI%20PLC%20All-in-One%20User%20Manual.pdf>
- Creus Solé, A. (2007). *Neumática e hidráulica*. México: Marcombo.
- Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Delgado, R. (2015, 2 de diciembre). *Conexión y arranque de los motores trifásico*. Recuperado el 25 de enero de 2022, de <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/conexion-arranque-motores-trifasico/>
- ELECTRONICS, L. (2017). *LOGIC ELECTRONICS*. Recuperado de http://www.logicelectronics.net/INGENIERIA_TECNOLOGIA_iluminacion.html

- Gasca Ordoñez, A. C., Bautista, F. A., Quintero, M. A., & Gómez Urrego, A. (2012, 15 de septiembre). *Controles Electricos*. Recuperado de <http://procesos2automatizacionyneumatica.blogspot.com/2012/09/controles-electricos.html>
- González Marcos , A., Martínez de Pisón Ascacibar , F. J., Pernía Espinoza, A. V., Alba Elías , F., Castejón Limas , M., Ordieres Meré , J., & Vergara González , E. (2006). *TÉCNICAS Y ALGORITMOS BÁSICOS*. Logroño: Universidad de La Rioja.
- Hernandez Gaviño, R. (2010). *Introducción a los sistemas de control* . México: Pearson Education.
- Intronica. (2020, 1 de septiembre). *¿Qué es un relé de estado sólido?* Recuperado de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3691&ni=que-es-un-rele-de-estado-solido>
- López Mora, S. (2020, 17 de mayo). *Firestore: qué es, para qué sirve, funcionalidades y ventajas*. Recuperado el 13 de enero de 2022, de <https://www.digital55.com/desarrollo-tecnologia/que-es-firebase-funcionalidades-ventajas-conclusiones/>
- López, L. (2018, 22 de diciembre). *Controlador proporcional P*. Recuperado el 26 de enero de 2022, de <https://sites.google.com/a/lhusurbil.eus/horno/regulaci/controlador-proporcional-p>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Education.
- Perdomo, S. (2020, 8 de julio). *Qué es y para qué sirve Autodesk Inventor en diseño de producto*. Recuperado el 15 de enero de 2022, de <https://www.deustoformacion.com/blog/disenio-arquitectonico/que-es-para-que-sirve-autodesk-inventor-diseno-producto>
- Pérez Valdés, D. (2007, 26 de octubre). *¿Qué son las bases de datos?* Recuperado el 13 de enero de 2022, de <http://www.maestrosdelweb.com/que-son-las-bases-de-datos/>
- Picón-Ruiz, A., Bereciartua-Pérez, A., Gutiérrez-Olabarría, J. Á., & Pérez-Larrazabal, J. (2009). La visión artificial en el control de calidad. Desarrollo de un escáner láser tridimensional rotativo. *Dyna*, 733-742. Recuperado de <https://www.revistadyna.com/busqueda/la-vision-artificial-en-control-de-calidad-desarrollo-de-un-escaner-laser-tridimensional-rotativo>
- Rodríguez de, E. (2018, 18 de septiembre). *De cero a maker: todo lo necesario para empezar con Raspberry Pi*. Recuperado el 13 de enero de 2022, de <https://www.xataka.com/makers/cero-maker-todo-necesario-para-empezar-raspberry-pi>

- Rodríguez Fernández, J., Cerdá Filiu, L. M., & Sánchez-Horneros, R. B. (2014). *Automatismos industriales*. Asturias: Paraninfo.
- Rubio Ruiz, Á. (1997). Manual de normas técnicas para el diseño ergonómico de puestos con pantallas de visualización (2ª Edición). *Guía Técnica sobre puestos con pantallas de visualización de datos*, 1-12.
- Salvador, G. (2017, marzo). *La visión artificial en*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5921224>
- TRANSMISOR PARA TERMOCUPLA K MAX6675*. (2018, 30 de abril). Recuperado el 27 de enero de 2022, de <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/331-transmisor-para-termocupla-k-max6675.html>
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México, D.F.: McGRAWHILLEducation.
- Urquiza, S. (2005). *ESTUDIO Y DISEÑO DE LA SUSTITUCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UNA MÁQUINA INYECTORA POR UN PLC*. Obtenido de UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO : https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/393/3/Tesis_t171ec.pdf
- Valois, M. A. (2018, 22 de mayo). *Qué es internet de las cosas y cómo funciona*. Recuperado el 27 de enero de 2022, de <https://www.hostgator.mx/blog/internet-de-las-cosas/>
- Villajulca, J. C. (2020, 1 de octubre). *Diseño Eléctrico con Cofaso y Optimización de Procesos*. Recuperado el 15 de enero de 2022, de <https://instrumentacionycontrol.net/disenio-electrico-con-cofaso-y-optimizacion-de-procesos/>
- Zambrano, R. (s.f.). Estación de control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura integrado por computador.

ANEXOS