



**Rediseño e implementación de mejoras en el sistema de pesaje y empaque
en tres líneas de proceso en una empresa procesadora de vegetales
congelados**

Lema Amores, Joselyn Pamela

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de: Ingeniera en
Electrónica, Automatización y Control

Ing. Ayala Taco, Jaime Paúl, PH.D.

16 de febrero de 2024



Plagiarism and AI Content Detection Report

J_LEMA_F.pdf

Scan details

Scan time: February 16th, 2024 at 21:14 UTC Total Pages: 77 Total Words: 19227

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	0%	3
Minor Changes	0%	3
Paraphrased	0.4%	73
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	0%	0
Human text	100%	19227

[Learn more](#)

🔍 Plagiarism Results: (3)

🌐 T-ESPE-058058.pdf?sequence=1&isAllowed=y

<https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/36505/t-espe-058058.pdf?sequence=1&isallo...>

Luis Tapia

1 Repotenciación del subsistema de control de caudal de la estación de procesos PS 2800 para los laboratorios de Instrumentación y Senso...



0.3%

🌐 Piramide de la automatización | Conoce sus 5 niveles

<https://sindustrial.com.mx/blog/piramide-de-automatizacion-que-es/>

crodriguez

Saltar al contenido ...

0.1%

🌐 13199

<https://ijai.iaescore.com/index.php/ijai/article/download/20872/13199>

IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI) Vol. 10, No. 3, September 2021, pp. 536-544 ISSN: 2252-8938, DOI: 10.11591/...

0.1%



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: “Rediseño e implementación de mejoras en el sistema de pesaje y empaque en tres líneas de proceso en una empresa procesadora de vegetales congelados” fue realizado por la señorita **Lema Amores Joselyn Pamela**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 16 de Febrero del 2024



Ayala Taco Jaime Paúl

C.C.: 1709434243



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Responsabilidad de Autoría

Yo **Lema Amores Joselyn Pamela**, con cédula de ciudadanía 1719096727, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Rediseño e implementación de mejoras en el sistema de pesaje y empaque en tres líneas de proceso en una empresa procesadora de vegetales congelados”** es de mi 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.

Sangolquí, 16 de Febrero del 2024

Lema Amores Joselyn Pamela

C.C.:1719096727



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Autorización de Publicación

Yo **Lema Amores Joselyn Pamela**, con cédula de ciudadanía n° 1719096727, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Rediseño e implementación de mejoras en el sistema de pesaje y empaque en tres líneas de proceso en una empresa procesadora de vegetales congelados”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 16 de Febrero del 2024

Lema Amores Joselyn Pamela

C.C.:1719096727

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis padres Víctor y Janeth que durante este camino han sido mi apoyo, mi impulso, mi guía y han estado junto a mi incondicionalmente en los momentos buenos y malos que se me han presentado en la vida, gracias por ser mi ejemplo y por enseñarme que con esfuerzo, respeto y dedicación puedo alcanzar los propósitos que me planteo, este resultado es el fruto de sus sacrificios.

A mis hermanas Belén y Naomi que son lo más valioso que tengo, gracias por su compañía y amor durante este trayecto profesional y personal.

A mi abuelita Lola por su cariño y ejemplo de superación y a mi abuelita Isabel que desde el cielo me cuida.

A mi familia por estar siempre pendiente de mi en todos los aspectos de mi vida y por su apoyo incondicional.

A todas las personas que día a día luchamos por nuestro bienestar emocional para lograr desarrollar una mejor versión de nosotros.

Joselyn Pamela Lema Amores

Agradecimiento

Agradezco primero a Dios, a la Virgen María y al Sagrado Corazón de Jesús por guiar mi vida.

Agradezco a mis padres, Víctor y Janeth, por enseñarme a valorar el lado humano de todas las personas y por permitirme ser mejor día a día, por corregirme cuando lo necesité y por apoyarme y acompañarme en todos los aspectos de mi vida, el éxito de esta parte de mi vida se la debo a ustedes.

Agradezco a mis hermanas Belén y Naomi por estar conmigo siempre y creer en mí.

Agradezco a mis amigos del área de operaciones y sistemas por permitirme desarrollar este proyecto de titulación, por su comprensión y apoyo en este proceso y por ayudarme a crecer laboralmente

Agradezco al Ingeniero Paúl Ayala por su guía para que este proyecto tenga éxito en su desarrollo.

A mis queridos amigos que formaron parte de este proceso universitario.

Agradezco a la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE por ser mi segundo hogar durante mi formación académica y a mis docentes por todas sus enseñanzas y consejos.

Joselyn Pamela Lema Amores

Índice de Contenido

Resumen.....	20
Abstract.....	21
Capítulo I. Introducción y motivación	22
Antecedentes	22
Justificación.....	24
Alcance del proyecto.....	25
Objetivos.....	26
<i>Objetivo General</i>	26
<i>Objetivos Específicos</i>	26
Descripción del proyecto.....	27
Capítulo II. Marco conceptual.....	29
Proceso de pesaje	32
<i>Balanzas multicabezales</i>	32
<i>Ciclo del pesaje y sistema de dosificación</i>	33
Proceso de empaque	35
Sellado por mordazas	37
<i>Ciclo empaque</i>	38
La automatización industrial y los pilares de la industria 4.0	39
<i>Pirámide de la automatización</i>	39
<i>La industria 4.0</i>	41

Protocolos de comunicación industriales	43
<i>Modbus TCP IP</i>	43
<i>Mapeo de datos</i>	43
<i>Arquitectura</i>	45
<i>Normativa ANSI- ISA 18.2</i>	47
<i>HMI de alto desempeño</i>	49
Capítulo III. Rediseño e implementación de hardware	51
Identificación de las líneas de proceso	51
Figura 7	51
<i>Layout de la línea de empaque</i>	52
<i>Modo de funcionamiento automático</i>	61
<i>Modo de funcionamiento manual</i>	62
<i>Variables del proceso</i>	62
<i>Diagrama de conexión PLC</i>	65
<i>Guía GEMMA</i>	66
<i>Graficet del proceso</i>	67
<i>Estructura de pantallas</i>	69
<i>Distribución de pantallas</i>	70
Algoritmos para automatizar el pesaje de una balanza multicabezal	73
<i>Estrategia 1 o subdivisión grupal 5</i>	74
<i>Estrategia 2 o subdivisión grupal 3</i>	75

	10
<i>Estrategia 3 o combinaciones madre e hijo</i>	76
<i>Estrategia 4 o pesaje independiente</i>	76
<i>Unidad de cálculo</i>	77
Análisis de las estrategias de control de las empacadoras automáticas	77
Configuración de los módulos de comunicación	79
Identificación de parámetros según el mapeo y variables de interés para conocer el estado del equipo (balanza multicabezal)	82
Capítulo IV. Procesamiento de la información	83
Arquitectura de red	83
Extracción de datos	84
Presentación de datos: Python/Django	88
Transformación de datos: Apache Beam	90
<i>Postgre Sql</i>	91
<i>Configuración de Big Query</i>	92
Capítulo V. Diseño del sistema SCADA	94
Principio y fundamentos del diseño	94
Diseño de la interfaz HMI	97
Configuración y diseño del sistema SCADA en Ignition	100
<i>Configuración de la plataforma</i>	100
<i>Diseño pantalla principal</i>	102
<i>Diseño de la pantalla de supervisión</i>	104
<i>Diseño de las pantallas de monitoreo del proceso</i>	108

	11
<i>Diseño de la pantalla de alarmas</i>	110
<i>Diseño de la pantalla históricos</i>	111
<i>Configuración de la base de datos</i>	113
<i>Simulación del diseño</i>	116
Capítulo VI. Pruebas y resultados	117
Pruebas de conectividad con las pesadoras automáticas.	117
Pruebas de conectividad del PLC y HMI	120
Resultados del equipo 1.....	122
<i>Pesaje manual</i>	122
<i>Obtención de los pesos por medio de la báscula</i>	123
Resultados del equipo 2.....	124
<i>Pesaje manual</i>	124
<i>Obtención de los pesos por medio de la báscula</i>	125
Resultados del equipo 3.....	126
<i>Pesaje manual</i>	126
<i>Obtención de los pesos por medio de la báscula</i>	127
Resultados de la usabilidad del HMI	128
Capítulo VII. Conclusiones y Recomendaciones	135
Conclusiones.....	135
Recomendaciones	137
Bibliografía	138

Apéndice	141
----------------	-----

Índice de Tablas

Tabla 1 Descripción de los componentes y equipos que forman parte de la línea de proceso .	29
Tabla 2 Descripción de los componentes y funciones principales de la empacadora multicabezal	33
Tabla 3 Descripción de los componentes y funciones principales de la empacadora automática	36
Tabla 4 Descripción de los componentes de la pirámide de la automatización	40
Tabla 5 Descripción del rango de direccionamiento de datos	44
Tabla 6 Descripción de los bloques de la normativa ANSI/ISA 18.2	47
Tabla 7 Descripción de las principales características de diseño de una HMI de alto rendimiento	49
Tabla 8 Descripción de los parámetros principales de los motores que forman parte de la línea de empaque	52
Tabla 9 Tabla de variables para programación del PLC del subsistema de control de caudal ..	62
Tabla 10 Descripción de los componentes de la pantalla principal.....	71
Tabla 11 Descripción de los componentes de la pantalla principal.....	72
Tabla 12 Descripción de los parámetros de un control PID	78
Tabla 13 Direcciones IP de los dispositivos conectados para la adquisición de la variable peso de las tres balanzas industriales	81
Tabla 14 Direcciones IP de los dispositivos conectados para la adquisición de la variable peso de las tres balanzas industriales	82
Tabla 15 Matriz de configuraciones para la conexión de la base de datos local.....	91
Tabla 16 Características de Big Query	92
Tabla 17 Matriz de las principales cláusulas de la normativa ANSI 101 para el diseño del SCADA.....	94
Tabla 18 Matriz de los principios de diseño de HMI de alto rendimiento	96

Tabla 19 Descripción de las pantallas que forman parte del sistema SCADA	99
Tabla 20 Descripción de los componentes de la pantalla principal.....	103
Tabla 21 Descripción de los componentes de la pantalla de visualización	105
Tabla 22 Descripción de los componentes de la navegación	107
Tabla 23 Descripción de los componentes de la pantalla de supervisión.....	108
Tabla 24 Descripción de los componentes de la pantalla de supervisión.....	110
Tabla 25 Descripción de los componentes de la pantalla de registros históricos.....	112

Índice de Figuras

Figura 1 Equipos de la línea de proceso de pesaje y empaque.....	29
Figura 2 Diagrama de flujo de la línea de empaque	31
Figura 3 Empacadora Multicabezal, ejemplar de catorce tolvas	32
Figura 4 Componentes principales de la pesadora multicabezal	33
Figura 5 Diagrama de flujo del sistema de pesaje típico de una pesadora automática	35
Figura 6 Esquema general de las partes de la empacadora automática	35
Figura 7 Componentes principales de la mordaza posterior de una empacadora automática ..	38
Figura 8 Diagrama de flujo del ciclo de empaque, parámetros y señales.....	38
Figura 9 Niveles de la pirámide de la automatización.....	40
Figura 10 Arquitectura típica de un sistema SCADA	45
Figura 11 Ciclo de vida en la gestión de alarmas para el desarrollo de un HMI	47
Figura 12 HMI tradicional Vs. Un HMI de alto rendimiento.....	49
Figura 13 Diagrama del Tablero eléctrico de la línea de empaque	54
Figura 14 Diagrama eléctrico de un arranque directo del motor para el elevador de buckets ..	57
Figura 15 Diagrama eléctrico de un arranque de un motor incluido variadores de velocidad ...	58
Figura 16 Descripción del variador de frecuencia.....	59
Figura 17 Estado actual del tablero de mando para el accionamiento de los motores involucrados en el proceso	60
Figura 18 Diagrama de conexión del PLC modelo S71200.....	65
Figura 19 Guía GEMMA del proceso de empaque para el control de los motores que forman parte de la línea	66
Figura 20 Graficet de seguridad cuando el proceso tiene conflicto en su trayectoria, G0	67
Figura 21 Graficet de modos de marca G1	68
Figura 22 Graficet durante la producción normal.....	68

Figura 23 Estructura de la pantalla HMI	70
Figura 24 Estructura y distribución de la pantalla principal del HMI	70
Figura 25 Estructura y distribución de la pantalla de control del HMI	72
Figura 26 Componentes principales de la pesadora multicabezal	73
Figura 27 Componentes principales de la unidad de cálculo	77
Figura 28 Estructura y distribución de la pantalla de control del HMI	80
Figura 29 Configuración de la unidad de cálculo	80
Figura 30 Configuración de la IP del servidor 1	81
Figura 31 Arquitectura de red	83
Figura 32 Diagrama de flujo del proceso de extracción de datos mediante la librería Pymodbus	84
Figura 33 Verificación del módulo agregado al entorno de trabajo y la versión	85
Figura 34 Invocación de la librería pymodbus para la extracción de datos.....	85
Figura 35 Configuración del servidor y puerto para la comunicación por protocolo modbus	85
Figura 36 Configuración para la lectura de registro de entrada según las direcciones de almacenamiento.....	86
Figura 37 Decodificación e interpretación de la lectura de las variables que representa el estatus del equipo.....	86
Figura 38 Decodificación e interpretación de la lectura de las variables que representa el tipo de para o error	87
Figura 39 Decodificación de la variable peso y presentación de resultados de las variables estatus y tipo de para	88
Figura 40 Estructura en forma de tablas de la presentación de la información	88
Figura 41 Designación de path para cada reporte de la maquinaria.....	89
Figura 42 Reporte real del comportamiento de los pesos en la Balanza industrial de la línea dos del proceso de reempaque	89

Figura 43 Invocación de librerías para la transformación y conexión hacia la base de datos...	90
Figura 44 Configuración para la conexión con la base de datos Postgre SQL	91
Figura 45 Código referencial para que enviar información hacia Big Query	93
Figura 46 Visión general de un SCADA	97
Figura 47 Proceso de diseño del SCADA	98
Figura 48 Jerarquía de pantallas para el sistema SCADA	99
Figura 49 Registro en la Plataforma Ignition	100
Figura 50 Selección del tipo de comunicación y tipo de conexión	101
Figura 51 Identificación del proyecto.....	101
Figura 52 Configuraciones de la plataforma Ignition.....	102
Figura 53 Vista principal del proyecto	102
Figura 54 Identificación de la pantalla	104
Figura 55 Vista de las líneas de proceso	104
Figura 56 Indicadores del flujo del proceso.....	106
Figura 57 Navegación del sistema	106
Figura 58 Pantalla de monitoreo de las líneas de proceso.....	108
Figura 59 Pantalla de registro de alarmas	110
Figura 60 Pantalla de registro de datos históricos	111
Figura 61 Descarga de MySQL para la configuración de la base de datos	113
Figura 62 Acceso al MySQL para la configuración de la base de datos	113
Figura 63 Identificación de la base de datos.....	114
Figura 64 Selección de la plataforma para la base de datos.....	114
Figura 65 Configuración de la base de datos.....	115
Figura 66 Validación de la base de datos.....	115
Figura 67 Simulación de la ventana principal del proyecto.....	116
Figura 68 Configuración de la IP (servidor 1).....	117

Figura 69 Prueba de conectividad entre cliente y servidores	117
Figura 70 Pruebas de conexión entre el cliente (librería pymodbus) y el servidor (equipo)	118
Figura 71 Verificación del protocolo y trama de solicitud y respuesta	119
Figura 72 Adquisición de la variable y verificación del estatus del equipo	119
Figura 73 Simulación online con el PLC.....	120
Figura 74 Simulación y carga del HMI.....	121
Figura 75 Tendencia de los pesos de la balanza industrial 1, antes de la implementación del protocolo modbus para la extracción de la variable pesos	122
Figura 76 Tendencia de los pesos de la balanza industrial 1, extrayendo los datos directos de la máquina.	123
Figura 77 Tendencia de los pesos de la balanza industrial 2, antes de la implementación del protocolo modbus para la extracción de la variable pesos	124
Figura 78 Tendencia de los pesos de la balanza industrial 2, extrayendo los datos directos de la máquina.....	125
Figura 79 Tendencia de los pesos de la balanza industrial 3, antes de la implementación del protocolo modbus para la extracción de la variable pesos	126
Figura 80 Tendencia de los pesos de la balanza industrial 1, extrayendo los datos directos de la máquina	127
Figura 81 Representación gráfica de la respuesta referente a la interacción del HMI	128
Figura 82 Representación gráfica de la respuesta referente a los inconvenientes a nivel operativo del modo de marcha automático	129
Figura 83 Representación gráfica de la respuesta referente la coherencia y representación del proceso en la pantalla principal.	130
Figura 84 Representación gráfica de la respuesta referente al cuan intuitiva es la navegación entre pantallas del HMI.....	131

- Figura 85** Representación gráfica de la respuesta referente al inicio del proceso al colocar las velocidades en las cintas..... 131
- Figura 86** Tiempo de para en los procesos de pesaje y empaque en las tres líneas 132
- Figura 87** Tiempo de para en los procesos de pesaje y empaque en las tres líneas 133

Resumen

En el presente proyecto de titulación tiene la finalidad de realizar el rediseño e implementación de mejoras en el sistema de pesaje y empaque en una empresa procesadora de vegetales congelados, en el desarrollo del proyecto se realizó la actualización de los tableros de mando para el accionamiento de equipos auxiliares que forman parte la línea, se diseñó el HMI bajo los requisitos del cliente, así como el análisis de las estrategias de control de los equipos principales del proceso. Para la adquisición de la variable peso que es el eje principal de este proyecto se realizó la arquitectura de red para la extracción y presentación de información por medio del protocolo Modbus TCP IP, se empleó las librerías de Python, para la transformación se utilizó Apache Beam y las bases de datos locales y almacenamiento en la nube por BigQuery, para lograr tener una visión del flujo del proceso se realizó el diseño de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos con alto desempeño basado en las cláusulas y normativas ANSI ISA 101 , con la finalidad de que el operador cuando se realice la implementación identifique cómo está el trayecto del proceso en las tres líneas y el desempeño de las variables de interés peso y temperatura, considerando altos estándares como actualmente las industrias han implementado en sus procesos de supervisión, control y monitoreo. Finalmente se realizó la recolección de información en las pruebas de funcionamiento donde se analizó como los pesos finales obtenidos de la maquina versus los valores finales cuando se realiza una verificación manual han mejorado a partir del desarrollo del proyecto, se comparó como han mejorados los tiempos de para y el índice de satisfacción de los operadores al implementar estas mejoras.

Palabras clave: Modbus TCP IP, supervisión, control, adquisición de datos

Abstract

The purpose of this degree project is to redesign and implement improvements in the weighing and packaging system in a frozen vegetable processing company. During the development of the project, the control panels for the operation of auxiliary equipment that are part of the line were updated, the HMI was designed under the customer's requirements, as well as the analysis of the control strategies of the main equipment of the process. For the acquisition of the weight variable, which is the main axis of this project, the network architecture was designed for the extraction and presentation of information by means of the modbus TCP IP protocol, Python libraries were used, Apache Beam was used for the transformation and the local databases and cloud storage by BigQuery, to achieve a vision of the process flow, the design of a high performance with supervisory, control and data acquisition system based on ANSI ISA 101 clauses and regulations was carried out, with the purpose that the operator when the implementation is carried out identifies how is the process path in the three lines and the performance of the variables of interest weight and temperature, considering high standards as currently industries have implemented in their supervision, control and monitoring processes. Finally, information was collected in the operation tests where it was analyzed how the final weights obtained from the machine versus the final values when a manual verification is performed have improved since the development of the project, and it was compared how the times for and the satisfaction index of the operators have improved by implementing these improvements.

Key words: Modbus TCP IP, supervisory, control, data acquisition.

Capítulo I. Introducción y motivación

Antecedentes

La Industria 4.0, denominada como la cuarta revolución industrial, aboga por la interconexión de los sistemas físicos industriales con el ámbito digital, obligando a las industrias a iniciar con un proceso de migración tecnológica. Este contexto sirve como un precedente para que las empresas comprendan esta transformación.

La automatización de procesos cada vez tiene más acogida en las industrias ecuatorianas, por que permiten mejorar la eficiencia precisión y calidad de sus productos en toda la cadena de trazabilidad, por medio de desarrollos de SCADAs que permiten el control y monitoreo de los procesos productivos (Vinicio, 2010). En Ecuador varias empresas han empezado esta etapa de actualización y migración asociadas con la Industria 4.0.

Ecofroz es una empresa ecuatoriana que se dedica a la exportación de vegetales congelados, para lograr exportar este producto y que llegue a las mesas de los consumidores finales, tiene una transformación de la materia prima:

- Antes de ingresar al proceso la materia prima es revisada desinfectada y clasificada para asegurar la calidad del producto
- Pasa al corte y floreteo según el calibre de presentación
- Ingresa al primer tamizado para descartar producto que no esté acorde al calibre requerido
- El producto es blanqueado y posteriormente es congelado por el método de refrigeración rápida individual IQF
- Antes de empacar el producto pasa por el proceso de glaseo para evitar la oxidación del producto y mantener las propiedades nutricionales

La empresa en mención está adoptando los principios de la industria 4.0 en todos los procesos. Actualmente Ecofroz cuenta con tres líneas de proceso, este proyecto se centrará en el subproceso de pesaje y empaque, con la finalidad de la búsqueda de la mejora continua, a continuación, se describen los problemas en común de las tres líneas:

- Para el mando de los equipos auxiliares (bandas transportadoras, elevadores de buckets, mesas giratorias y Shakers) el operador acciona por medio de un tablero compuesto por pulsados y selectores.
- Las basculas industriales, actualmente no permiten extraer información en tiempo real del pesaje que se está realizando, por lo tanto, no hay valores estimados de pérdidas o sobrepesos que rebasen la tolerancia permitida, lo que genera pérdidas de producto.
- Actualización de los tableros de control con enfoque a la estandarización según la normativa IEC 614391-2, que garantiza la fabricación, diseño y confiabilidad para equipos de baja tensión.
- Verificación de los lazos de control en la temperatura de la empacadora, revisión de los componentes electrónicos y mecánicos

Considerando los antecedentes que tienen las líneas de pesaje y empaque, este proyecto plantea un estudio y aplicación de mejoras que permitan mejorar la productividad, obtener información en tiempo real y diseñar un SCADA, bajo la filosofía de alta rendimiento.

Estos pilares permitirán que la empresa sea tecnológicamente más competitiva y que este más cerca del objetivo de la digitalización y el alcance hacia la industria 4.0, para tener líneas de proceso con mayor eficiencia y contrarrestar los errores que pueden presentarse en las maquinarias que se ven reflejadas en paras innecesarias provocando pérdidas económicas y de recursos.

- El producto es empacado dependiendo del calibre, destino, presentación y tiempo de empaque, la planta cuenta con tres líneas.

Justificación

La evolución y productividad de la industria va de la mano con el avance tecnológico desarrollado en un país, por esta razón gran parte de la industria ecuatoriana se encuentra rezagada a nivel tecnológico pues implica muchos retos, a nivel tecnológico y organizacional.

Actualmente la empresa Ecofroz ha iniciado la etapa de migración hacia la industria 4.0, por lo tanto, este proyecto se enfocó en el proceso de pesaje y empaque de vegetales congelado, bajo el criterio de mejora continua a nivel físico y de comunicación siendo estos los primeros pasos para una integración tecnológica.

Mejoras a nivel físico, la implementación y revisión de sensores, actuadores, PLCs y otros dispositivos permite dar un paso en la migración pues es esencial para recopilar datos en tiempo real, mejorar la infraestructura física permite la integración de tecnologías digitales en la planta de manera eficiente, la adopción de nuevas tecnologías y la implementación de sistemas modulares permite realizar cambios de manera eficiente en la producción o tener una perspectiva de crecimiento.

Mejoras a nivel de comunicación y conectividad: uno de los pilares es la interconexión de dispositivos y sistemas en una red industrial, lo que obliga a realizar mejoras físicas con la finalidad de obtener una red robusta que permita una comunicación efectiva de equipos y componentes, para posteriormente realizar la instalación de sistemas de almacenamiento y procesamiento de datos en este caso la variable peso que permitirá realizar un seguimiento de las pérdidas por empaque.

Diseño y simulación de un SCADA, como parte del proyecto se propondrá para la visualización y monitoreo del proceso un sistema bajo la normativa ANSI IASA 101, para lograr integrar la información de las tres líneas de proceso en tiempo real.

La empresa al implementar mejoras en base a estos pilares tiene la oportunidad de mejorar tecnológicamente permitiendo la combinación de las tecnologías de la información y comunicación industrial entre equipos y sistemas de control en relación a los niveles de campo control y supervisión.

Alcance del proyecto

Un paso previo para poder diseñar un sistema SCADA y alcanzar los objetivos de una industria 4.0 para realizar la adquisición, monitoreo y control del proceso es importante adaptar toda la maquinaria y equipos que se ven involucrados en el proceso de pesaje y empaque de las tres líneas de producción en la empresa Ecofroz. Por lo tanto, el alcance general de este proyecto consiste en rediseñar e implementar mejoras en el sistema de pesaje y empaque en tres líneas de proceso, se ha subdividido por etapas para alcanzar los objetivos planteados.

En la primera etapa se realizará el estudio y análisis de los equipos de campo para obtener el levantamiento del proceso, el diagrama de flujo del funcionamiento en las línea de proceso, el objetivo es identificar las maquinarias involucradas y los principales inconvenientes que presentan durante la producción que generan paras de proceso, también se desarrollará el diagrama P&ID para identificar las conexiones físicas de los sensores y actuadores, además se obtendrán las variables de interés como peso, temperaturas y tiempo de empaque.

La segunda etapa se desarrollara la comunicación entre cliente y servidor, es decir se diseñara las conexiones entre equipo con la finalidad de implementar el protocolo de comunicación modbus para la extracción de información de las balanzas, también se implementará las mejoras en las líneas de proceso para el accionamiento de los equipos

auxiliares (bandas transportadoras, dosificadores de producto, elevadores, entre otros) por medio de pantallas HMI, se realizara un rediseño de los tableros de distribución.

Adicionalmente se realizará el cambio de modelo de PLC del equipo de la línea de proceso 1 debido a la discontinuidad y se seleccionará un nuevo modelo según las necesidades del equipo.

En la tercera etapa se desarrollará mediante modbus la presentación de la información para la captura de información y datos por medio del sistema integrado administrativo SIA (ERP propio de la empresa), se realizará un análisis de los sistemas de control para mejorar la eficiencia del pesaje de las balanzas industriales y las mejoras en el sistema de temperaturas de las empacadoras.

En la cuarta etapa se realizará la simulación del sistema SCADA para la supervisión y adquisición de datos del proceso con el objeto de obtener la información de los procesos y la obtención de datos en tiempo real, en esta etapa se pretende realizar la simulación debido a que la implementación se ejecutará según las necesidades de la empresa

Finalmente, en la cuarta etapa se realizarán las pruebas de funcionamiento se desarrollarán los planes de mantenimiento la cual permitirá ser la guía para mantener las mejoras que se realizaran en las líneas de proceso.

Objetivos

Objetivo General

Rediseñar e implementar mejoras en el sistema de pesaje y empaque en tres líneas de proceso en una empresa procesadora de vegetales congelados.

Objetivos Específicos

- Analizar el proceso de pesaje y empaque para realizar el levantamiento de la información sobre pérdidas de producción, equipos y necesidades del sistema.

- Automatizar el proceso de pesaje mediante algoritmos por medio de la técnica de pesajes por combinación para garantizar el peso adecuado por presentación
- Analizar las estrategias de control para mantener las condiciones de temperatura de las empacadoras industrial para garantizar las condiciones de sellado de la funda.
- Diseñar una interfaz gráfica para el sistema SCADA con normativas ANSI ISA y alto desempeño que permita el control y monitoreo de las líneas uno, dos y tres de pesaje y empaque

Descripción del proyecto

En el presente trabajo de titulación se desarrolla el rediseño e implantación de mejoras en pesaje y empaque en tres líneas de proceso en una empresa procesadora de vegetales, este proyecto se describirá se desarrollará en cinco capítulos.

Capítulo I. Se engloban los antecedentes, justificación y alcance del trabajo de titulación, para describir la problemática y los objetivos que se trazaron para solventar las necesidades identificadas que abordara este proyecto

Capítulo II. En el marco conceptual se resumirá los principios y fundamentos de la industria 4.0 y la automatización, se describirá los principales protocolos de comunicación, así como una síntesis de los procesos de pesaje y empaque y sus respectivos sistemas de control, finalmente se realizará una síntesis de las normativas para el desarrollo de un sistema SCADA con alto performance.

Capítulo III. En este capítulo se desarrollará el proyecto pues se describirá las mejoras ejecutadas en las líneas de proceso, la implantación de equipos para colocar en línea a las maquinarias involucradas, se realizará las configuraciones para obtener los datos de pesaje mediante el protocolo Modbus, se describirán los criterios de selección de un PLC para mejorar el proceso de la línea uno de empaque.

Capítulo IV. En este capítulo se realizará el procesamiento de la información para la presentación de los datos de la variable peso obtenidos de las balanzas, para la transformación se realizará mediante apache Beam, la presentación de los datos por medio de Django y finalmente para el almacenamiento de los datos en la nube por medio de BigQuery este capítulo describirá como se presentará la información al sistema integrado SIA (ERP propio de la empresa).

Capítulo V. En este capítulo se diseñará el sistema SCADA, se describirá las pantallas del diseño, se presentará las variables de interés, así como las configuraciones y programación de usuarios según los niveles de acceso del proceso.

Capítulo VI. En el sexto capítulo se realizará el análisis de resultados considerando las pruebas de comunicación del protocolo de comunicación implantado para la obtención de la información y las pruebas de funcionalidad del sistema SCADA.

Capítulo VII. Finalmente se describirán las conclusiones y recomendaciones adquiridas durante el desarrollo del trabajo de titulación en base a los objetivos planteado y las mejoras para trabajos futuros que se lograron identificar tomando como base este proyecto.

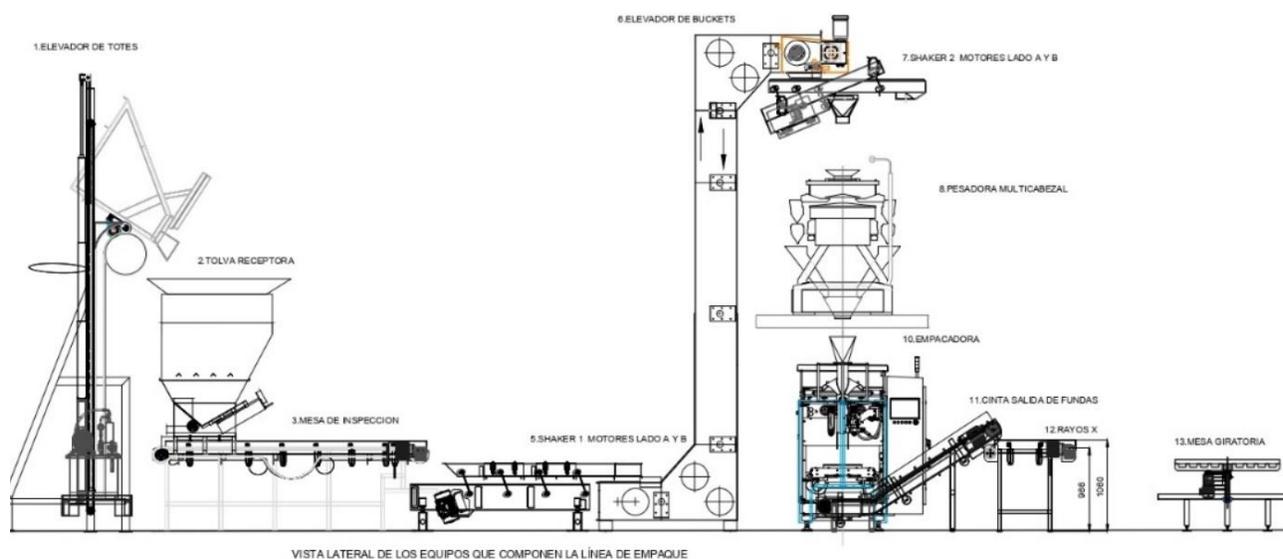
Capítulo II. Marco conceptual

Línea de pesaje y empaque

Una línea de pesaje y empaque está constituido por varios equipos, los principales son las máquina pesadora multicabezal y la empacadora automática de fundas, adicionalmente se compone de un conjunto de bandas y elevadores para el transporte del producto y para eliminar producto que no cumpla los estándares de la calidad se utiliza cintas shakers, finalmente para verificar que no existan objetos anómalos dentro de los empaques se verifica a través de una máquina rayos X, en la Figura 1 se define un layout general de los componentes del proceso.

Figura 1

Equipos de la línea de proceso de pesaje y empaque



Nota. Vista lateral y definición de los componentes del proceso de pesaje y empaque para vegetales congelados en una línea de proceso, donde se desarrollará el proyecto.

Tabla 1

Descripción de los componentes y equipos que forman parte de la línea de proceso

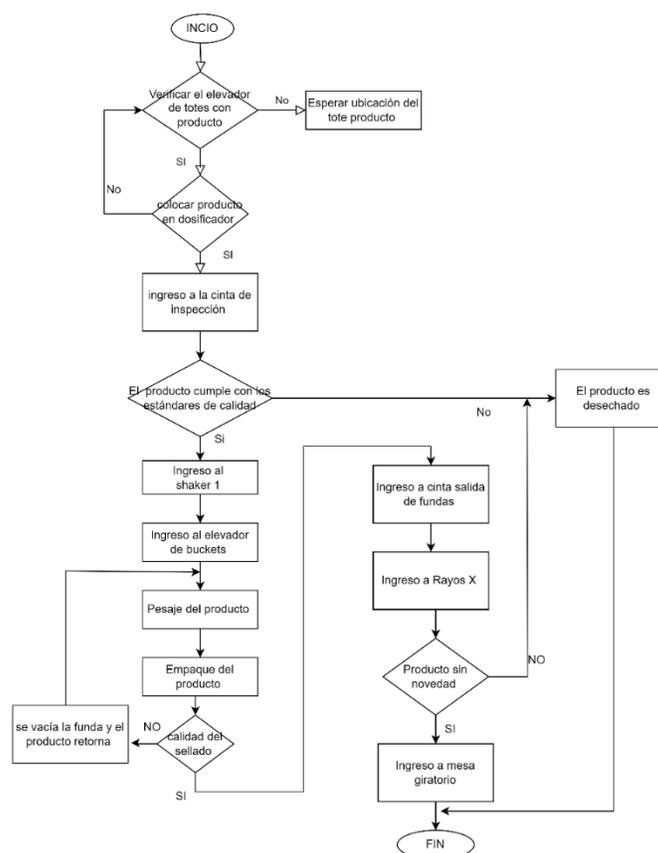
COMPONENTES	DESCRIPCIÓN
Elevador de totes	En este equipo inicia el proceso, por medio de la ayuda de un montacargas, ubican al producto para que pueda ser dosificado.
Tolva receptora	En este equipo inicia la dosificación del producto, que será trasladado posteriormente por la cinta de inspección
Cinta de inspección	En esta primera cinta se traslada el producto y se verifica la calidad, verifica visualmente el producto y retira en el caso de que no cumpla con los estándares de: color, tamaño o presente alguna anomalía
Cinta Shaker 1	Esta cinta tiene como objetivo retirar las migas del producto que se generaron el trayecto y hacer un primer tamizado del producto que no esté acorde al calibre (tamaño)
Elevador de buckets	Este equipo tiene la finalidad de transportar el producto hacia el shaker 2 por medio de buckets
Cinta Shaker 2	Es el segundo filtro para retirar la miga generada al elevar el producto, con el fin de garantizar el calibre de pesaje
Pesadora multicabezal	Por medio de la pesadora se realiza la sumatoria del peso por medio de las tovas de pesaje
Empacadora	La empacadora almacena el producto según la presentación y tipo de empaque, según el peso y cliente
Cinta Salida de fundas	Esta cinta traslada el producto ya empacado hacia los rayos x

Rayos X	Este equipo garantiza que el producto no tenga impurezas como: papel, madera entre otros, que puedan afectar la garantía del producto
Mesa giratoria	Es el equipo donde finaliza la línea de empaque, al caer el producto sellado y empackado el operador lo toma y lo coloca en las cajas según el lote.

A continuación, se presenta la secuencia de las maquinarias según las maquinarias y acontecimientos que se pueden derivar en el trayecto de la línea de empaque y pesaje

Figura 2

Diagrama de flujo de la línea de empaque



Nota. Diagrama de flujo del proceso de pesaje y empaque en una línea de procesos

Proceso de pesaje

Balanzas multicabezales

Este tipo de maquinarias fueron diseñados para realizar la sumatoria exacta de los pesos con un mínimo de 4 combinaciones considerando que este tipo de maquinaria tiene un mínimo de ocho y un máximo de dieciséis cabezales como se observa en la Figura 3, que llenan de manera aleatoria cada tolva, el tipo de control es por medio de microprocesadores que se encuentran ubicado en cada tolva e interaccionan con la unidad de cálculo principal que se encarga de seleccionar las combinaciones para el pesaje final, este ciclo es repetitivo

Figura 3

Empacadora Multicabezal, ejemplar de catorce tolvas



Nota. Obtenido de Manual de pesadora Multicablezal CCW-RVE-2**W manual de instrucciones (Ishida Co, 2015)

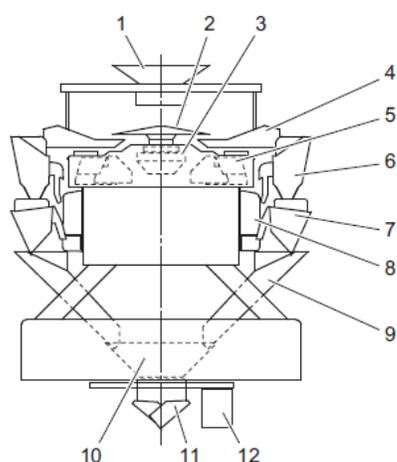
Esta balanza utiliza vibraciones para movilizar el producto solido evitando la descomposición de este.

Ciclo del pesaje y sistema de dosificación

Para conocer el ciclo de pesaje y sistema de dosificación es necesario identificar los componentes principales y funciones de la pesadora multicabezal como se observa en la Figura 4.

Figura 4

Componentes principales de la pesadora multicabezal



Nota. Identificación de los componentes principales de la pesadora automática multicabezal (Ishida Co, 2015)

Tabla 2

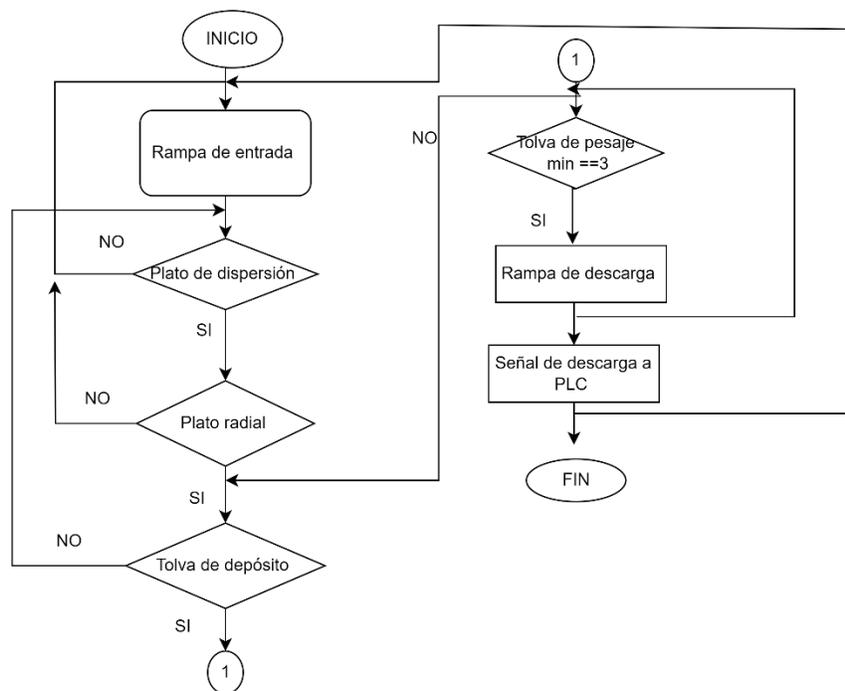
Descripción de los componentes y funciones principales de la empacadora multicabezal

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN
1. Depósito de ingreso	Punto de ingreso del producto, permite que el producto se dirija al plato de dispersión
2. Plato de dispersión	Suministra el producto que ingreso hacia los platos radiales

3. Canal de dispersión principal	Genera vibraciones al plato de dispersión tiene un enlace principal son el sensor de pesaje que esta interconectado con la empacadora y con los elementos auxiliares previos como: mesa de inspección, shaker 1 (primer filtro) elevador de buckets y shaker 2, previo al ingreso del producto a la balanza
4. Plato radial	Suministra producto hacia las catorce tolvas principales o de deposito
5. Canal radial	Se encarga de generar vibraciones en los platos radiales para que el producto pueda ser dirigido a las tolvas
6. Tolva de deposito	Provisionalmente ingresa el producto, la apertura y cierre depende de las tolvas de pesaje y las combinaciones que se van a realizar
7. Tolva de pesaje	Se encarga del pesaje del producto suministrado por medio de la celda de carga, su apertura y cierre depende las combinaciones para la sumatoria del producto a empacar (mínimo 4 combinaciones)- cada tolva soporta un máximo de 400 gr
8. Cabezal motriz de pesaje	Permite la apertura y cierre de las tolvas (accionamiento), está compuesto por dos servomotores para la tolva de depósito y para la de pesaje
9. Rampa recolectora	Recoge el producto que ya fue pesado según las combinaciones y suministra a la rampa de descarga
10. Rampa de descarga	Permite el paso hacia los siguientes equipos (empacadora o detector de caída libre)

Figura 5

Diagrama de flujo del sistema de pesaje típico de una pesadora automática



Nota. Diagrama de flujo de la descripción del proceso que realiza la máquina pesadora multicabezal en un proceso sin anomalías y con la estrategia de pesaje de tres subgrupos

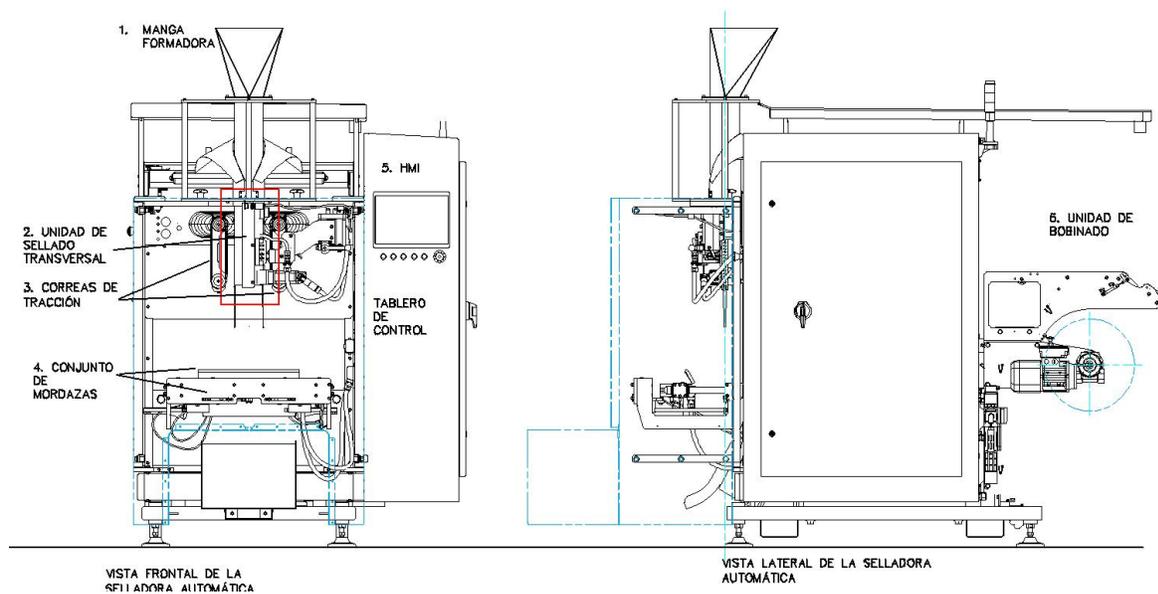
Proceso de empaque

Máquina empacadora de fundas

Esta máquina se encarga de formar la funda para el empaque del producto y sellarla de forma vertical por medio de la transferencia de calor a una niquelina y de manera horizontal por la presión de mordazas que internamente tienen resistencias de alta densidad, en la Figura 6 se describen los principales componentes del equipo.

Figura 6

Esquema general de las partes de la empacadora automática



Nota. Componentes principales de la empacadora automática, vista frontal y lateral (System, 2021)

Tabla 3

Descripción de los componentes y funciones principales de la empacadora automática

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN
1. Manga formadora	Este componente es el encargado de formar el film en una funda según las dimensiones necesarias para el empaque continuo, previamente el film es trasladado por rodillos móviles que evitan que la funda presente arrugas y dañen la presentación durante el empaque.
2. Unidad de sellado transversal	La función principal es formar el sellado vertical en los extremos del film la temperatura depende del tipo de material que se esté utilizando para la presentación del empaque, está constituida por resistencias de alta densidad o platina

3. Correas de tracción	Permite el desplazamiento del film por la manga formadora durante el sellado vertical y asegura la continuidad durante el empaque
4. Conjunto de mordazas	La función principal es asegurar el sellado de la funda de manera horizontal, constituida por una mordaza posterior y una frontal, termina de formar la funda y posteriormente la corta, internamente tiene una niquelina o resistencias de alta densidad que a altas temperatura sella la funda para terminar el empaque.
5. HMI- Tablero de control	Es la interfaz hombre maquina donde se colocan los parámetros como: temperatura de sellado, presión, golpes por minuto, entre otros, en el tablero de control se ubica el PLC que comanda el funcionamiento de la empacadora
6. Unidad de bobinado	Se coloca el rollo del film que permitirá formar las fundas para el empackado, a esta unidad se le adiciona una impresora de termo transferencia dependiendo la presentación con la finalidad de colocar un código de barras con el lote, esta unidad tiene un mando neumático para acondicionar el rollo y garantizar la continuidad del empaque

Sellado por mordazas

Este tipo de sellados a altas temperaturas se realiza por medio de un mecanismo hueco que ejerce presión al film mediante un conductor de calor tipo cartucho o resistencias eléctricas que se encuentre al interior o exterior de las mordazas, como se observa en la Figura 7, para la

verificación de la temperatura para el monitoreo se coloca un termo par al interior del mecanismo (Orellana y Balladares, 2018).

Figura 7

Componentes principales de la mordaza posterior de una empacadora automática



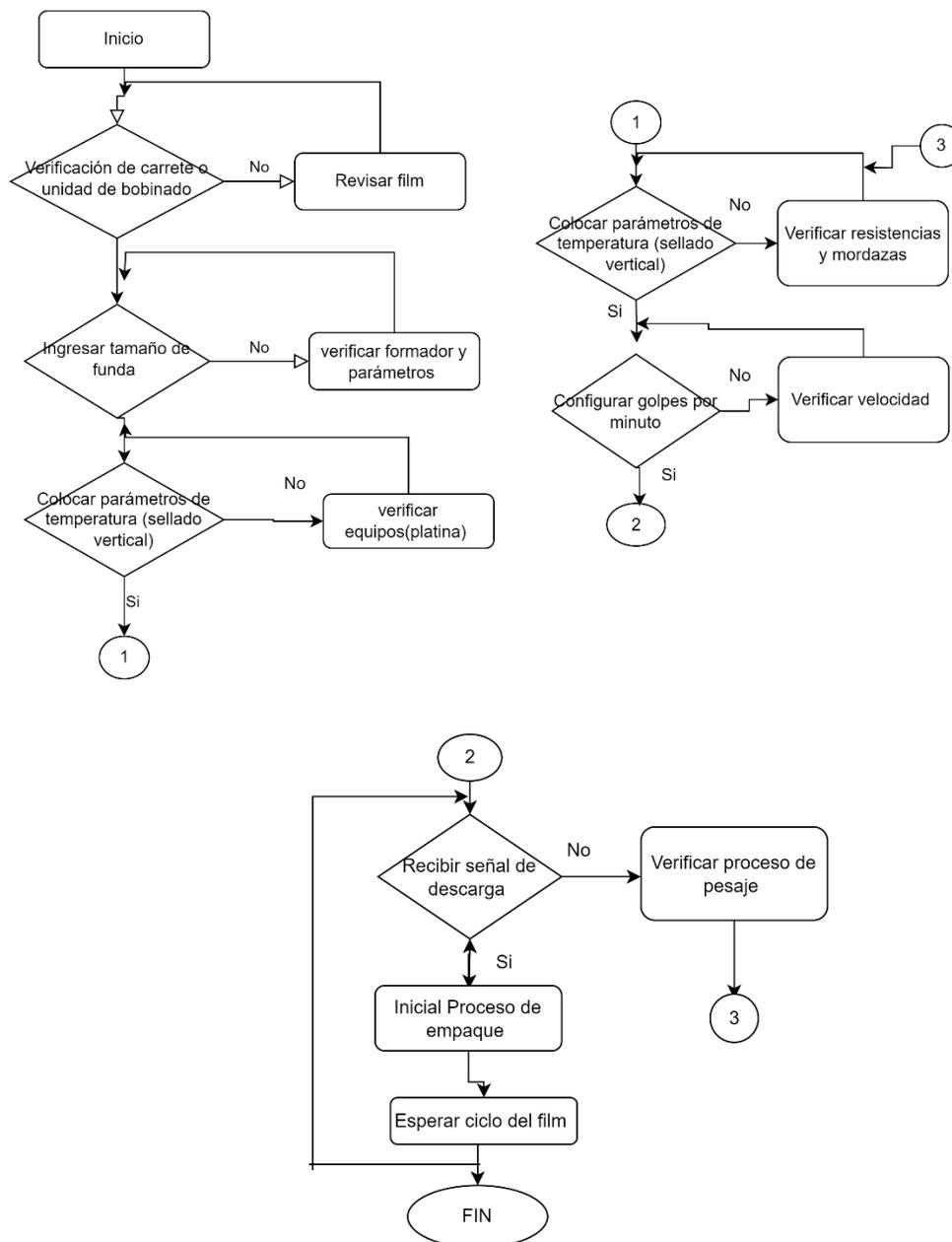
Nota. Mordaza posterior de una empacadora automática vertical, sin la sonda RTD de 100 Ω (Corporation, 2023)

Ciclo empaque

En el siguiente diagrama de flujo se explica de manera general el proceso de empaque y la dependencia de la señal de descarga que envía la pesadora automática hacia el controlador de la empacadora para continuar con el ciclo de pesaje – empaque del producto.

Figura 8

Diagrama de flujo del ciclo de empaque, parámetros y señales.



Nota. Diagrama de flujo del proceso de empaque considerando condiciones ideales

La automatización industrial y los pilares de la industria 4.0

Pirámide de la automatización

La automatización se considera a la incorporación de sistemas y tecnologías para mejorar la eficiencia, la precisión y productividad incluyendo el uso de sensores, actuadores,

controladores lógicos programables PLC y otros dispositivos para realizar tareas repetitivas confiables (Zapata et al., 2021)..

La pirámide de la automatización abarca e integra diversas tecnologías principalmente la mecánica, electricidad, electrónica, telecomunicaciones, entre otras, a continuación, se presenta los niveles de esta pirámide que cada vez son más visibles a nivel industrial (Esmeraldas, 2019)

La pirámide de la automatización abarca e integra diversas tecnologías principalmente la mecánica, electricidad, electrónica, telecomunicaciones, entre otras, a continuación, se presenta los niveles de esta pirámide que cada vez son más visibles a nivel industrial (Esmeraldas, 2019)

Figura 9

Niveles de la pirámide de la automatización



Nota. Jerarquía de la pirámide de automatización, comúnmente implementadas a nivel industrial (Esmeraldas, 2019)

Tabla 4

Descripción de los componentes de la pirámide de la automatización

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN
-------------	-------------

Nivel de campo	En este nivel se encuentra los componentes instrumentales como sensores, actuadores y otros dispositivos de campo
Nivel de control	Este nivel es el encargado de la supervisión y control de los procesos, interactúa directamente con el nivel de campo y recibe información para emitir comandos u ordenes comandado principalmente por el PLC, esta interacción permite que el proceso tenga un flujo adecuado
Nivel de supervisión o SCADA	En este nivel se puede supervisar y monitorear el proceso y los componentes involucrados, se recopila información de los niveles inferiores, integra sistemas de visualización.
Nivel de gestión o MES	Este nivel se enfoca a la gestión de la planta que permite una planificación o toma de decisiones involucradas con el proceso y su viabilidad u otros aspectos estratégicos donde se gestionan los recursos y tendencias.
Nivel corporativo o ERP	Es el nivel superior de la pirámide se enfoca al nivel empresarial y a la toma de decisiones respecto a la inteligencia empresarial

La industria 4.0

Tiene el enfoque de fortalecer la competitividad industrial, mediante la integración de tecnologías principalmente en los niveles de campo, se centra en la adquisición de información en tiempo real y en el internet de las cosas que permiten mejorar la productividad a nivel industrial basándose en seis pilares (Ynzunza et al., 2017)

- **Interoperabilidad:** en la industria 4.0 se refiere a la capacidad de los sistemas, dispositivos y aplicaciones para intercambiar y utilizar información de manera efectiva y

eficiente, en el entorno industrial los estándares abiertos y protocolos de comunicación son esenciales para lograr la interoperabilidad.

- **Visualización:** permite tener una visión a los operadores e involucrados dentro de los procesos una mejor comprensión pues representa gráficamente a la interacción de los equipos y sistemas en tiempo real y permite la identificación rápida de problemas o tendencias.
- **Descentralización:** hace referencia a la toma de decisiones alineados a los componentes físicos que involucran a la productividad o capacidad de autoorganizarse basados en los objetivos estratégicos industriales.
- **Orientación al servicio:** es la flexibilidad y adaptabilidad en la producción, cuando una empresa cambia de producción según la necesidad de los clientes la maquinaria y el personal involucrado debe tener la capacidad de respuesta eficiente incluido el modelo de negocios.
- **Manejo de la información:** la recopilación y análisis de datos en tiempo real, permite tomar decisiones a nivel operativo para mejorar la eficiencia y productividad, permitiendo el análisis de grandes volúmenes de información.
- **Modularidad:** implica el diseño de sistemas industriales independientes pero que a la vez tengan la capacidad de integrarse con otros subsistemas sin afectar al conjunto completo, son flexibles y adaptables al cambio, además facilitan el plan de mantenimiento industrial al no ser complejos y reemplazables, evitando tiempos de para que afecten a la productividad.

En resumen, la industria 4.0 es la integración de tecnologías a nivel físico para la obtención de información en tiempo real que permitan mejorar la eficiencia y productividad de las organizaciones industriales (Guzman, 2023).

Protocolos de comunicación industriales

Modbus es un protocolo de comunicación que intercambia respuestas y peticiones, los datos son organizados en tramas, este protocolo dependiendo de la arquitectura basa su nivel organizacional en un único maestro y varios esclavos hasta 247 en la misma red, cada esclavo posee una dirección única es por eso que los enlaces no tienen desviaciones o pérdidas de información, los modos de comunicación pueden ser RTU, ASCII y TCP IP dependiendo la aplicación y los puertos de comunicación a emplear, por la simplicidad es uno de los protocolos más utilizados a nivel industrial, este es un protocolo donde un dispositivo solicita y luego espera una respuesta, dependiendo el tiempo de interacción, típicamente los maestros pueden ser HMI, PLC, PC o sensores (National & Instruments, 2023).

Modbus TCP IP

Es uno de los protocolos más utilizados a nivel industrial para la transmisión de datos entre dispositivos a través de una red TCP/ IP, a continuación, se describe las características principales (Marrone, 2023).

- El modelo de comunicación o arquitectura típica es cliente – servidor, donde el cliente solicita o envía datos a otro dispositivo servidor y este responde solicitudes.
- Esta variante de protocolo Modbus utiliza los puertos estándar 502 para comunicación no segura y 802 para Modbus TCP – SEC.
- Los mensajes están estructurados en paquetes de datos que contienen información sobre la dirección del dispositivo esclavo, el tipo de función y el número de registro y datos asociados

Mapeo de datos

Es la asignación de datos o prefijos para cada dirección o variable específica del dispositivo que va a utilizar el protocolo, hay dos principales el mapeo de registros de entrada que únicamente almacenan datos que no se pueden modificar por el cliente por ejemplo la

lectura de un sensor, estados de los dispositivos o información en general y el mapeo de registros de salida donde se almacena información que puede ser escrita o modificada por el cliente por ejemplo el ajuste o configuración de un equipo (National y Instruments, 2023).

Tabla 5

Descripción del rango de direccionamiento de datos

PREFIJO	DESCRIPCIÓN
0	Bobinas
1	Entradas discretas
3	Registros de entrada
4	Registros de tendencia

Nota. prefijos para identificación de direccionamiento en el protocolo Modbus TCP / IP (National & Instruments, 2023)

Sistema SCADA

El control con supervisión y adquisición de datos (SCADA) se puede definir como un sistema de software y hardware que se rige a los siguientes criterios de diseño:

- Supervisión de la información en tiempo real: proporciona información instantánea sobre el proceso que se está controlando y el entorno de desarrollo.
- Adquisición de datos (monitoreo): utiliza extraer información de los elementos del nivel de campo como sensores, actuadores, entre otros.
- Interfaz Hombre- Maquina (HMI): interfaz gráfica que permite al operador controlar el proceso por medio de acciones y toma de decisiones.
- Control remoto: permite identificar al operador el estatus del proceso desde cualquier ubicación.

- Historial y almacenamiento de datos: facilita el análisis de un gran volumen de datos y las tendencias de productividad de interés de la planta.
- Alarmas y notificaciones: facilita la identificación de situaciones anómalas que afectan directamente a la productividad en tiempo real
- Escalabilidad: pueden adaptarse para supervisar sistemas modulares integrables que pueden llegar a ser muy complejos.
- Seguridad: incluye medidas que permitan proteger los datos y garantizar la confiabilidad de la información (Rodríguez, 2012).

Arquitectura

Es el conjunto de componentes que permites constituir un sstema de control y adquision de datos, se rige en los siguientes bloques como se observa en la Figura 10, software de adquisicion de datos, sistema de mando y sistema de interconexion (Jurado y Puma, 2006) .

Figura 10

Arquitectura típica de un sistema SCADA



Bloques principales del sistema (Rodríguez, 2012)

Estos sistemas permiten al usuario acceder a los procesos por medio de una herramienta de supervisión y control en tiempo real que permite el análisis de la información, el almacenamiento de datos para determinar el estado del proceso y la interacción de los componentes de campo, control y protocolos de comunicación (Barrero, 2022).

Generalmente la arquitectura de un sistema SCADA este compuesto del siguiente desarrollo:

- Configuración: hace referencia a la parametrización del sistema, su función principal es la distribución de los elementos de y dispositivos de campo, definición de comunicación y protocolos y el establecimiento de límites de alarmas
- Interfaz gráfica: es la representación visual del proceso para los operadores y supervisores, la función principal es la presentación del proceso y los datos en tiempo real, visualizar los dispositivos y las alarmas que se puedan generar en el trayecto de la producción.
- Tendencias: muestra la evolución de los datos a lo largo del tiempo mediante una representación gráfica de los datos históricos para la facilidad de análisis y tomar decisiones basadas en el rendimiento
- Alarmas y eventos: este componente permite monitorear y notificar sobre condiciones anómalas que se presentan en el transcurso del proceso, generalmente su función es presentar alertas en situaciones críticas y un registro de eventos.
- Registro y archivo: implica la recopilación y almacenamiento de datos para análisis, el registro de la información es en tiempo real que facilitan la generación de informes.
- Control del proceso: este componente permite a los operadores realizar acciones de control sobre el sistema, cambio de estados operativos, modo de funcionamiento y ajustes de consignas.

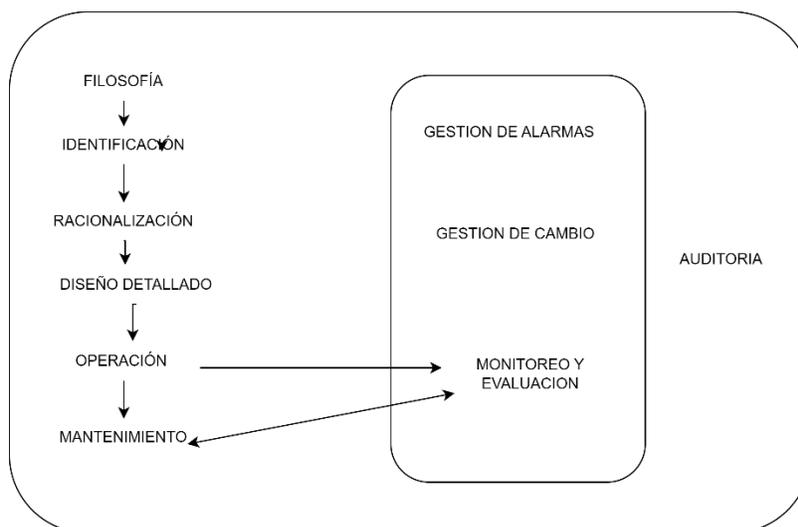
Al integrar estos componentes el resultado es una plataforma completa de supervisión y control en tiempo real. La configuración inicial establece parámetros y la comunicación del sistema, por medio de la interfaz se supervisa el proceso y las tendencias establece una perspectiva del comportamiento del proceso, lo que permite tener indicadores de eficiencia, seguridad y capacidad de toma de decisiones.

Normativa ANSI- ISA 18.2

Esta normativa se rige al manejo y gestión de alarmas, con la finalidad de mejorar la seguridad de procesos industriales, su enfoque se rige en la seguridad industrial del operador, garantizando la viabilidad del proceso (Automation, 2016), esta normativa es modelada en base a un ciclo de vida, es cual está compuesto de los elementos que se observan en la siguiente figura 11.

Figura 11

Ciclo de vida en la gestión de alarmas para el desarrollo de un HMI



Nota. Bloques principales para la gestión de alarmas basado en la normativa ANSI/ ISA 18.2

Tabla 6 Descripción de los bloques de la normativa ANSI/ISA 18.2

BLOQUE	DESCRIPCIÓN
Filosofía	Define la filosofía general y los principios subyacentes que guiarán la gestión de las alarmas en el sistema
Identificación	Incluye la identificación de las condiciones de operación que justifican la generación de una alarma

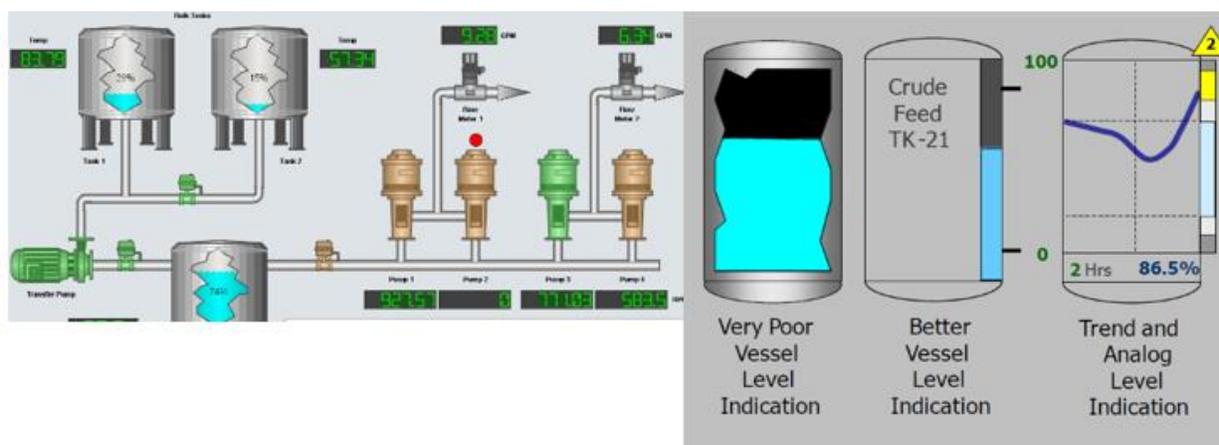
Racionalización	Evalúa y reduce la cantidad de alarmas para evitar la sobrecarga de información y mejorar la eficiencia operativa
Diseño detallado	Implica la planificación y el diseño desarrollado del sistema de alarmas, incluyendo la interfaz HMI
Implementación	Se refiere a la configuración y puesta en marcha del sistema de alarmas según el diseño planteado
Operación	Involucra la operación diaria del sistema de alarmas y la respuesta a las situaciones críticas
Mantenimiento	Aborda la gestión y mantenimiento continuo del sistema de alarmas para garantizar su efectividad y funcionamiento óptimo
Monitoreo y evaluación	Supervisa constantemente el rendimiento del sistema de alarmas y evalúa su eficiencia en condiciones operativas reales
Gestión de cambio	Define procesos para gestionar cambios en el sistema de alarmas asegurando que sean controlados y documentados adecuadamente.
Auditoria	Realiza auditorias periódicas para garantizar el cumplimiento continuo con los estándares y la eficacia del sistema de alarmas.

HMI de alto desempeño

Hace referencia a una interfaz gráfica con una interfaz más amigable en comparación a la tradicional, como se observa en la Figura 12 y con mejor interacción con el sistema, a continuación, se describe las principales características relacionadas a este tipo de diseño.

Figura 12

HMI tradicional Vs. Un HMI de alto rendimiento



Nota. Diferencias visuales entre el diseño de un HMI tradicional y una de alto rendimiento

Tabla 7 Descripción de las principales características de diseño de una HMI de alto rendimiento

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Rendimiento grafico	Desarrolla una visión más clara del proceso de manera detallada, permite transiciones y animaciones fluidas para observar cambios de manera intuitiva en los datos.
Ergonomía y usabilidad	Coloca de manera lógica la información, con colores neutros que no cansen la visión del operador considerando las ocho horas de trabajo

Rendimiento y tiempo real	Muestra datos en tiempo real y actualiza la información eficientemente, responde instantáneamente a las peticiones del usuario.
Personalización	Permite configurar y personalizar según las necesidades de cada operador o según los requisitos
Conectividad y compatibilidad	Compatible con diversos protocolos de comunicación utilizando entornos industriales e integra sistemas de control con los dispositivos existentes en planta desde el nivel de campo.
Gestión de alarmas	Muestra alarmas de manera detectable y clara para una respuesta rápida, proporciona herramientas para la gestión efectiva de alarmas.
Tecnologías avanzadas	Incorpora tecnologías avanzadas para mejorar la visualización y toma de decisiones, permite el acceso y control desde dispositivos móviles cuando sea necesario y desde cualquier lugar de manera remota.
Seguridad	Implementa medidas de seguridad para garantizar que solo usuarios autorizados tengan acceso a funciones críticas, registra las actividades del operador y eventos importantes para fines de auditoría
Análisis y reportes	Ofrece herramientas para analizar datos históricos y tendencias para facilitar la creación de informes sobre el rendimiento de la planta o proceso.
Escalabilidad	Puede adaptarse a sistemas de diferentes tamaños o modulares donde aumenta la complejidad.

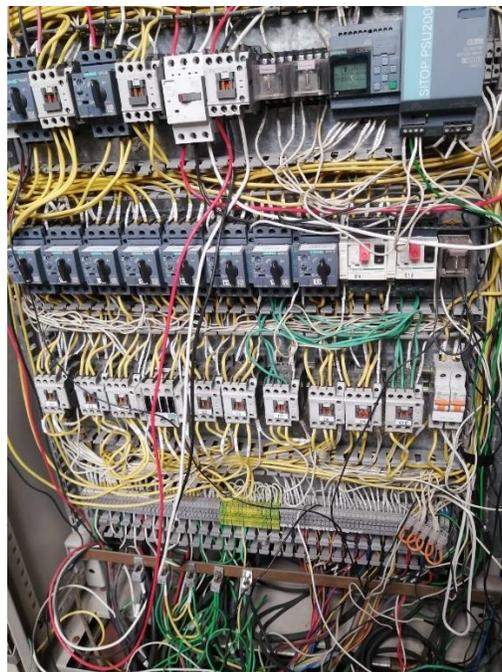
Capítulo III. Rediseño e implementación de hardware

Identificación de las líneas de proceso

El objetivo principal de este proyecto es buscar la mejora continua en los procesos, a continuación, se describe el enfoque y mejora de diseños de dos tableros, el primero es de fuerza y control, como se observa en la siguiente figura.

Figura 7

Tablero de control y fuerza, de las líneas de proceso



Nota. Tablero de control, comandado por un LOGO Siemens

El tablero de la figura 7, realiza el mando de los motores de las cintas que forman parte del proceso, y dependen de las señales de pesaje y descarga de la pesadora multicabezal, los modos de marcha son en automático y manual.

- Motor del dosificador
- Motor de la cinta de inspección
- Motor A y B de cinta vibradora o shaker 1 (zaranda ubicada a nivel de piso)

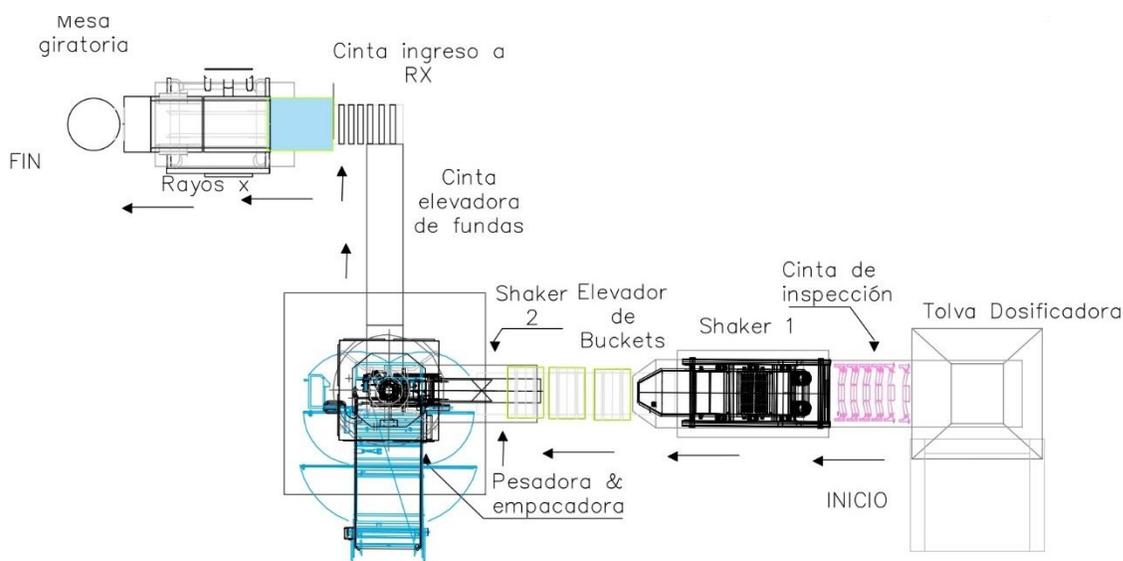
- Motor del elevador de buckets
- Motor A y B de la cinta vibradora o shaker 2
- Motor de la cinta de salida de fundas
- Motor de la cinta de ingreso a la máquina de ryos x
- Motor de la mesa giratoria

Debido a la ubicación inadecuada y el potencial peligro por el sobrecalentamiento del lugar donde se instaló este tablero, se decidió hacer una reubicación y nuevo diseño, por lo tanto, se dio de baja a los componentes.

En la figura 8 se observa los componentes de la línea de empaque desde una vista superior, se identifica a los componentes y el flujo del proceso

Figura 8

Layout de la línea de empaque



A continuación, se detallan los parámetros de los motores que forman parte de la línea de proceso, además el dimensionamiento del cable que se va a utilizar para la nueva distribución.

Tabla 8

Descripción de los parámetros principales de los motores que forman parte de la línea de empaque

COMPONENTE	POTENCIA	TENSION	CALIBRE	CAIDA	CORRIENTE
	kW	VAC	DEL	DE	NOMINAL A
			CABLE	TENSION	
Motor 1 dosificador	1.5	460	12 AWG	2 %	2.79 A
Motor 2 cinta de inspección	1.5	460	12 AWG	2 %	2.79 A
Motor 3 2y 4 shaker 1	1.5	460	12 AWG	2 %	2.79 A
Motor 5 elevador de buckets	1.5	460	12 AWG	2 %	2.79 A
Motor 5 y 7 shaker 2	1.5	460	12 AWG	2 %	2.79 A
Motor 8 cinta salida de fundas	1.5	460	12 AWG	2 %	2.79 A
Motor 9 cinta de ingreso a rx	1.5	460	12 AWG	2 %	2.79 A
Motor 10 mesa giratoria	1.5	460	12 AWG	2 %	2.79 A

Nota. todos los motores mencionados son unificados para todos los procesos, todas las líneas de empaque tienen la misma cantidad de motores con la potencia correspondiente como se indica en la tabla

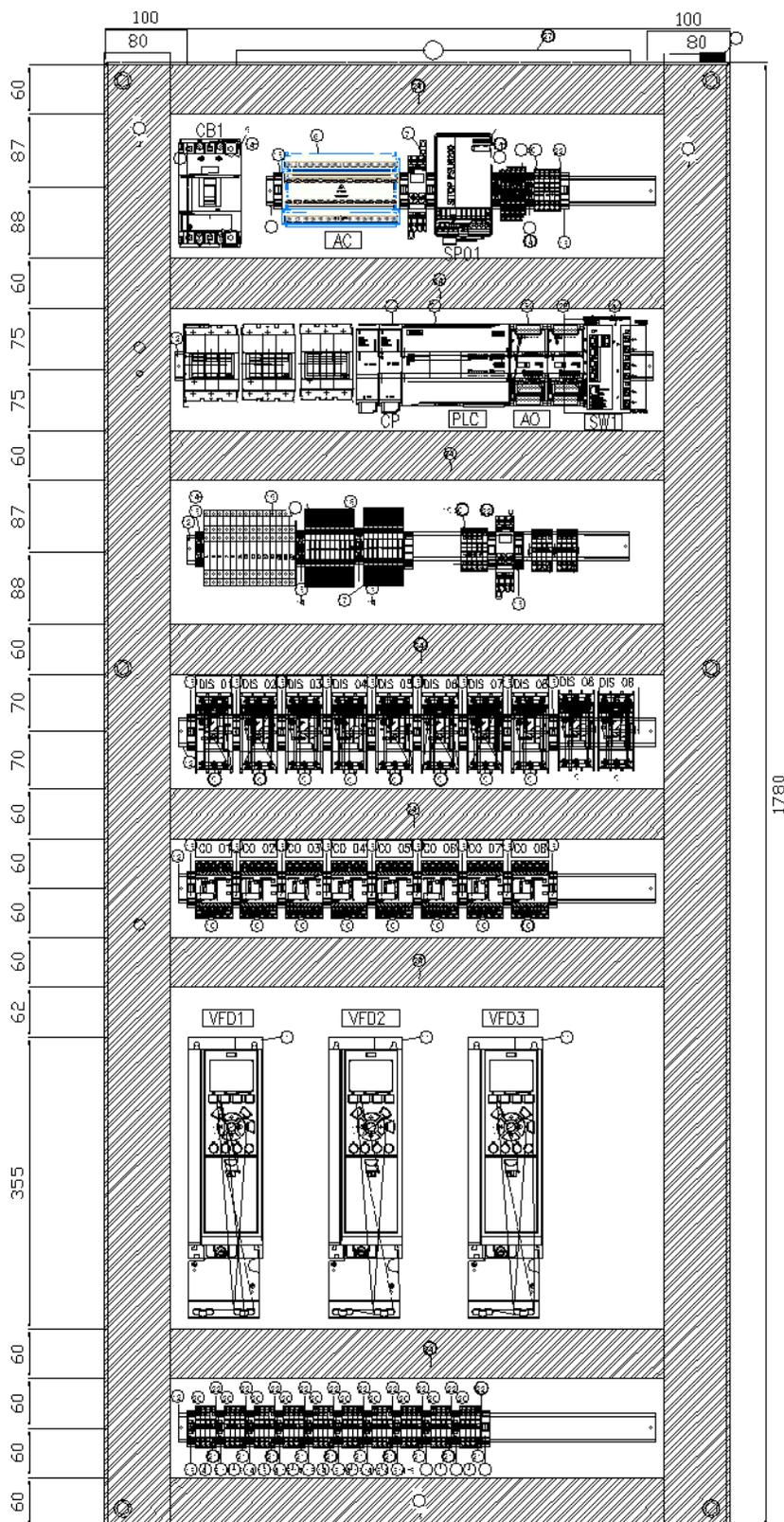
Diseño del nuevo tablero de fuerza y control

A continuación, se describirá los componentes del nuevo tablero eléctrica tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se reemplazará el módulo lógico del logo Siemens por un PLC s71200
- Se colocará variadores de frecuencia para los motores de las cintas: inspección, salida de fundas, cinta de ingreso de rayos x.
- Se implementará una pantalla HMI para el accionamiento de los motores que conforman la línea de empaque
- El tipo de comunicación será por Profinet, se agregará relés de seguridad y un breaker principal y para asegurar las entradas hacia el PLC se agregarán fusibles.
- La base para la selección de los componentes se realizó dependiendo de la potencia de los motores, los voltajes y amperajes

Figura 13

Diagrama del Tablero eléctrico de la línea de empaque



Nota. El diagrama con la descripción a detalle del número de partes se adjunta en el apéndice A

En la siguiente tabla se detalla el número de parte y la descripción de cada componente del tablero de fuerza y control diseñado según los parámetros de los motores.

Tabla 6

Descripción de los componentes del tablero de distribución, número de parte y fabricante

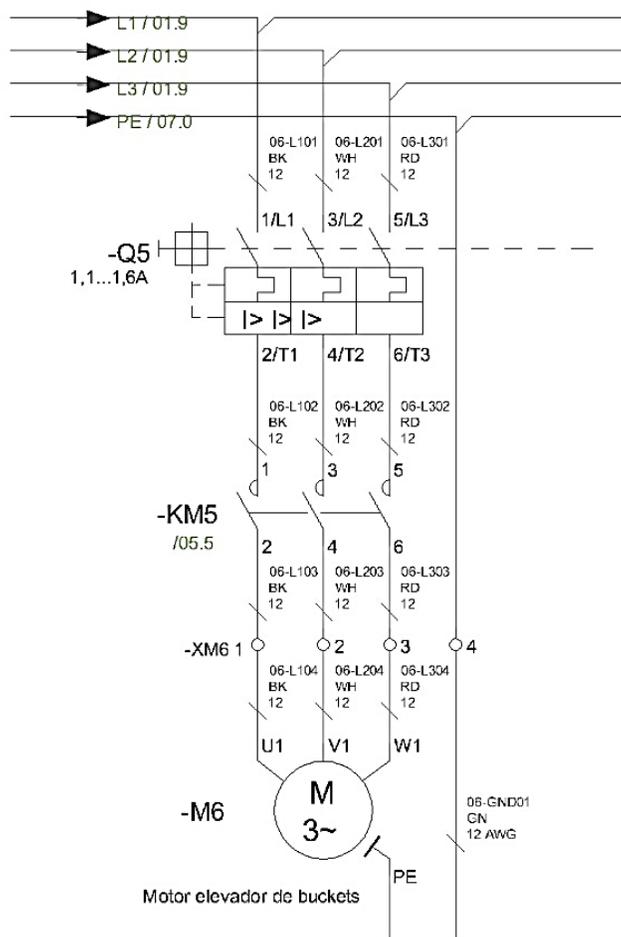
ITEM	NÚMERO DE PARTE	FABRICANTE – ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	6GK7243-1BX30-0XE0	SIEMENS - CP 1243-1 Procesador de comunicaciones	Permite la comunicación con el PLC S7 – 1200, por medio de ethernet, tipo de seguridad: VPN y Firewall
2	6ES7215-1AG40-0XB0	SIMENS - PLC S7-1200	Tipo de CPU 1215C DC/DC/DC contiene dos puertos profinet con 14 DI 24 VCC, 10 DO 24VCC 0.5 A
3	6ES7232-4HD32-0XB0	SIMENS Módulo de salidas analógicas	Salidas analógicas 4 AO de 0 a 20 mA
4	6GK5205-3BB00-2AB2	SIEMENS – Switch	Contiene puertos RJ45 para comunicaciones PROFINET y 3 puertos tipo MM FO ST
5	3VM1140-3EE32-0AA0	SIEMENS – Disyuntor	Disyuntor tipo 3VM1 In = 40 A, corte clase N protección de sore carga de 28 A – 40 A
7	3UG4615-1CR20	SIEMENS – Relé de tensión	Relé de protección a falla digital de tensión tipo trifásica, fallo a fase de 160 a 690 V

8	6EP3436- 8SB00-0AY0	SIEMENS – Fuente de alimentación	Fuente de alimentación regulable de entrada de 400 a 500 V a 3AC, salida 24VDC a 20 A
9	3RV2011- 1HA10	SIEMENS Interruptor automático	Guarda motor clase 10 disparador por sobrecarga de 5,5 A – 8A
10	3RT2015- 1BB41	SIEMENS – Contactor de potencia	Contacto de potencia de 3 a 7 A y con un contactor NA
11	131B0078	DANFOSS Variador de frecuencia	Convertidor de frecuencia de 2.2 kW / 3 HP, alimentación de 380 a 500 VAC
12	1492-JDG3FB	ALLEN BRADLEY	Terminal Block, porta fusible tipo bisagra
13	1492-JD3FB	ALLEN BRADLEY	Barrera final para tornillo tipo TB
14	6ES7222- 1BF32-0XB0	SIEMENS Modulo de salidas digitales	Módulo expensor de 8 DO alimentación de 24 VDC

Para el arranque de los motores: dosificador de producto, cinta vibradora o shaker 1 (zaranda ubicada a nivel de piso) lado A y B, elevador de buckets, cinta vibradora o shaker 2 lado A y B y mesa giratoria el tipo de arranque es directo, por la potencia y corriente, a continuación, se describe el esquema eléctrico.

Figura 14

Diagrama eléctrico de un arranque directo del motor para el elevador de buckets

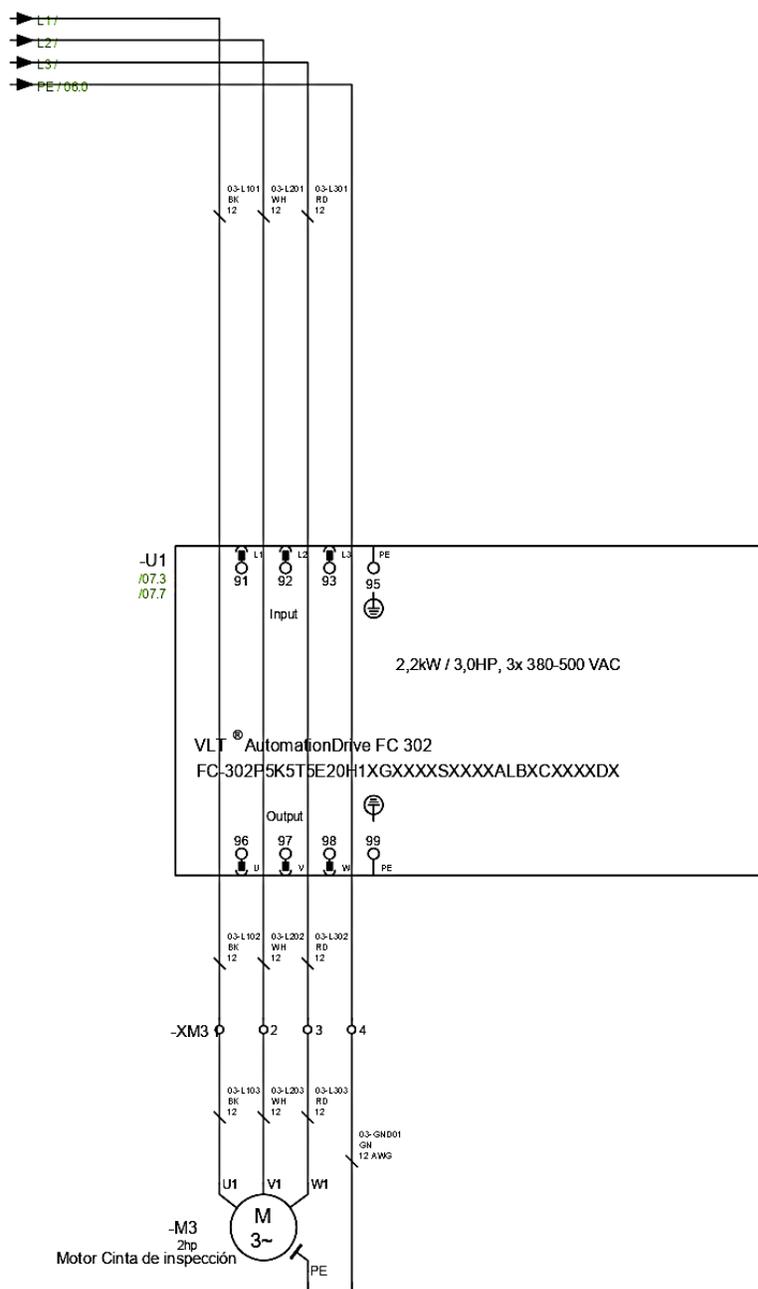


Nota. El esquema de todos los motores con arranque directo se adjuntó en el apéndice B.

Como requisito en las líneas de proceso para variar la velocidad por medio de un set point (SP) en el HMI de los motores según el calibre del producto a empacar es necesaria la implementación de variadores de frecuencia para los siguientes motores: cinta de inspección, cinta salida de fundas y cinta de ingreso a Rayos X.

Figura 15

Diagrama eléctrico de un arranque de un motor incluido variadores de velocidad



Nota. Conexión de los variadores de frecuencia con los motores correspondientes, el diagrama completo de la conexión de las cintas y mesa giratoria se encuentra en el Apéndice C.

En la tabla 7 se detalla las especificaciones de los variadores de frecuencia

Figura 16

Descripción del variador de frecuencia



Especificaciones

Potencia: 2.2 kW trifásico

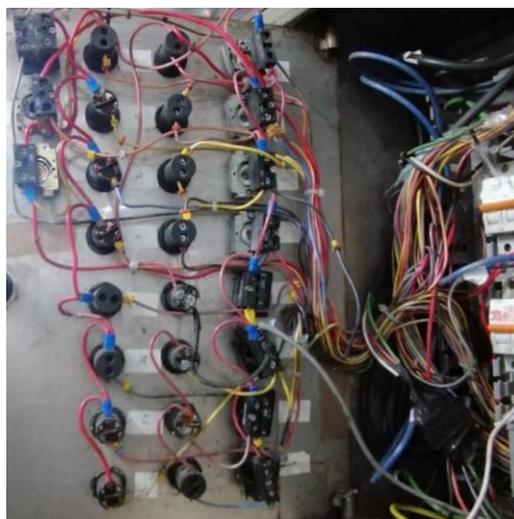
Voltaje: 380 a 500 V

Tipo de protección: IP20

Para el mando de los motores actualmente se lo realiza por medio de selectores y el funcionamiento por medio de luces indicadoras, como se observa a continuación

Figura 17

Estado actual del tablero de mando para el accionamiento de los motores involucrados en el proceso



Nota. Componentes internos y externos del tablero de mando para el control de los motores en la línea de proceso (antiguo)

Modos de funcionamiento

Durante la producción normal el operador tiene la opción de seleccionar dos modos de marcha, manual y automático, según la Figura 12, para el modo de marcha automático la secuencia está programada en el Logo SIEMENS y para el modo manual el operador debía colocar en el selector el modo de marcha y activar y desactivar los motores de igual manera por medio de los selectores, por medio de las luces indicadoras (verde y rojo) se observaba el estado de funcionamiento activado o desactivado.

Modo de funcionamiento automático

Para el funcionamiento en modo automático se considera la siguiente secuencia:

1. Seleccionar el modo automático
2. Se activa la señal carga proporcionada por la pesadora multicabezal
3. Se activan la dosificadora y la banda de inspección (según la velocidad asignada)
4. Se activa el shaker 1 lado A y B o banda de vibración
5. Se activa el elevador de buckets
6. Se activa el shaker 2 lado A y B o banda de vibración 2
7. Se activa la señal de descarga proporcionada de la pesadora multicabezal hacia la empacadora automática.
8. Se activan la banda de salida de fundas, la banda de ingreso a Rx y la mesa giratoria (según la velocidad asignada).
9. Cuando se termina el proceso y se desactiva la señal de carga se apagan los motores en la siguiente secuencia: banda de inspección, shaker 2, elevador de buckets y shaker
10. Al desactivarse la señal de descarga se apagan simultáneamente las bandas de salida de fundas, ingreso a Rx y mesa giratoria.

Modo de funcionamiento manual

Este modo de funcionamiento permite la independencia de control de la activación o desactivación de los motores involucrados en el proceso, el operador debe seleccionar por medio del selector este modo de marcha y observa por las luces indicadoras el estado de cada motor.

Paro de emergencia: Independientemente del modo de funcionamiento el paro de emergencia permite suspender el proceso debido cuando se presenta una situación anómala, para reanudar el proceso se desactiva el paro de emergencia y se reanuda el funcionamiento dependiendo el modo de marcha.

Consideraciones para el diseño del tablero de accionamiento de los motores

Variables del proceso

Para la selección de las entradas y salidas del PLC se debe realizar un listado de variables, en la tabla que se presenta a continuación se describe cada una y se le asigna el direccionamiento correspondiente.

Tabla 9

Tabla de variables para programación del PLC del subsistema de control de caudal

Nombre	Descripción	Dirección	Tipo
M01_Mesa_Giratoria	Señal de retroalimentación de los contactores en caso de que se genere un fallo en el motor de la mesa giratoria	I0.0	DI
M02_Shaker_1	Señal de retroalimentación de los contactores en caso de que se	I0.1	DI

	genere un fallo en el motor del shaker 1, lado A		
M03_Shaker_2	Señal de retroalimentación de los contactores en caso de que se genere un fallo en el motor del shaker 1, lado B	I0.2	DI
M04_Elevador	Señal de retroalimentación de los contactores en caso de que se genere un fallo en el motor del elevador de buckets	I0.3	DI
M05_Shaker2_A	Señal de retroalimentación de los contactores en caso de que se genere un fallo en el motor del shaker 2, lado A	I0.4	DI
M06_Shaker2_B	Señal de retroalimentación de los contactores en caso de que se genere un fallo en el motor del shaker 2, lado B	I0.5	DI
M07_Dosificador	Señal de retroalimentación de los contactores en caso de que se genere un fallo en el motor del dosificador	I0.7	DI
Paro de Emergencia	Pulsador de paro de emergencia, en caso de que proceso presente condiciones anómalas	I1.4	DI

Estado_reset	Pulsador que permite regresar al estado inicial en el caso de que el proceso haya presentado condiciones anómalas	I1.5	DI
Señal_Balanza	Señal principal que permite el encendido de los motores en modo automático	I10.1	DI
KM01_M_G	Señal para accionar el actuador (motor) de la mesa giratoria	Q0.0	DO
KM02_Shaker_1_A	Señal para accionar el actuador (motor) del shaker 1, lado A	Q0.1	DO
KM03_Shaker_1_B	Señal para accionar el actuador (motor) del shaker 1, lado B	Q0.2	DO
KM04_Elevador	Señal para accionar el actuador (motor) del elevador de buckets	Q0.3	DO
KM05_Shaker_2_A	Señal para accionar el actuador (motor) del shaker 2 lado A	Q0.4	DO
KM06_Shaker_2_B	Señal para accionar el actuador (motor) del shaker 2 lado B	Q0.5	DO
KM07_Dosificador	Señal para accionar el actuador (motor) del dosificador	Q0.6	DO
Drive_1	Señal proporcionada por el driver para el SP y variar la frecuencia 1	IW78	AI
Drive_2	Señal proporcionada por el driver para el SP y variar la frecuencia 2	IW80	AI

Drive_3

Señal proporcionada por el driver

IW82

AI

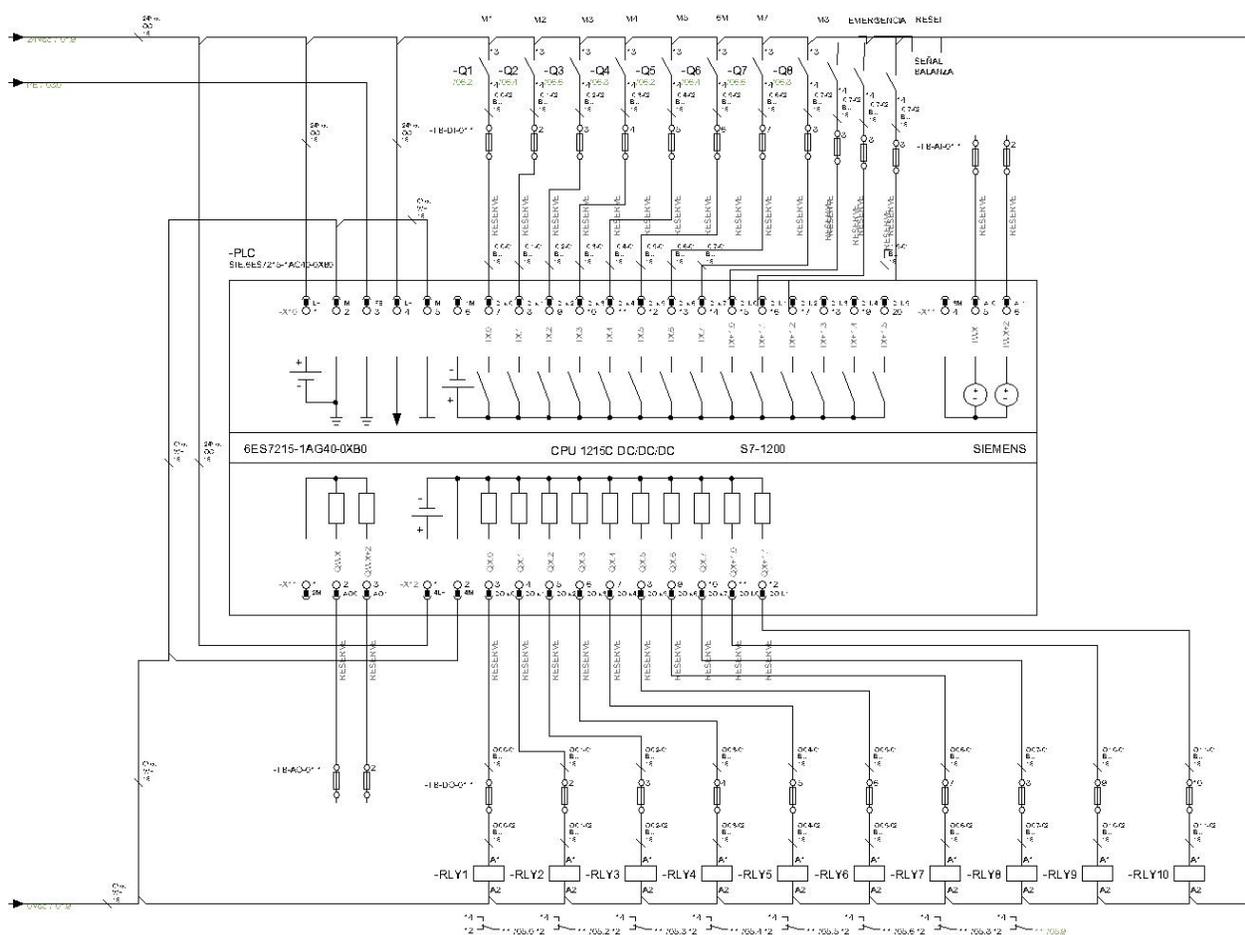
para el SP y variar la frecuencia 3

Diagrama de conexión PLC

Según la descripción de la tabla 8, que pertenecen a las conexiones de entrada y salida para el proceso de empaque considerando los actuadores, drivers y señales de los contactores en caso de falla se estableció el diagrama de conexiones con el PLC S71200, como se observa en la siguiente figura.

Figura 18

Diagrama de conexión del PLC modelo S71200



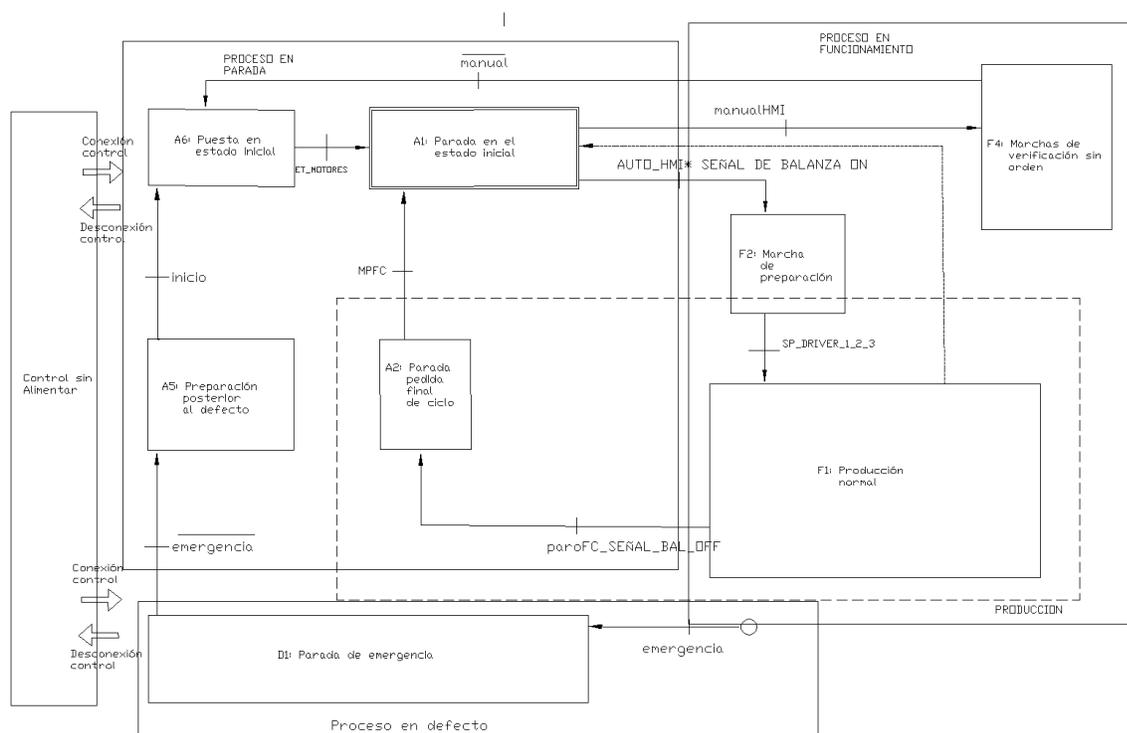
Nota. El diagrama de conexiones del PLC (entradas y salidas), el esquema a detalle se adjunta en el apéndice D.

Guía GEMMA

La guía GEMMA es la representación de los posibles estados del proceso, se divide en subsistemas según las necesidades para el flujo normal del proceso durante la producción, se considera los paros de emergencia por eventualidades o defectos y finalmente el restablecimiento de los equipos después de un fallo, a continuación, se detalla el proceso por medio de la guía GEMMA (Ponsa y Ramon, 2005).

Figura 19

Guía GEMMA del proceso de empaque para el control de los motores que forman parte de la línea



Nota. La guía Gemma que representa los modos de funcionamiento de la línea de empaque para el control de los actuadores según el modo de marcha y aplicación.

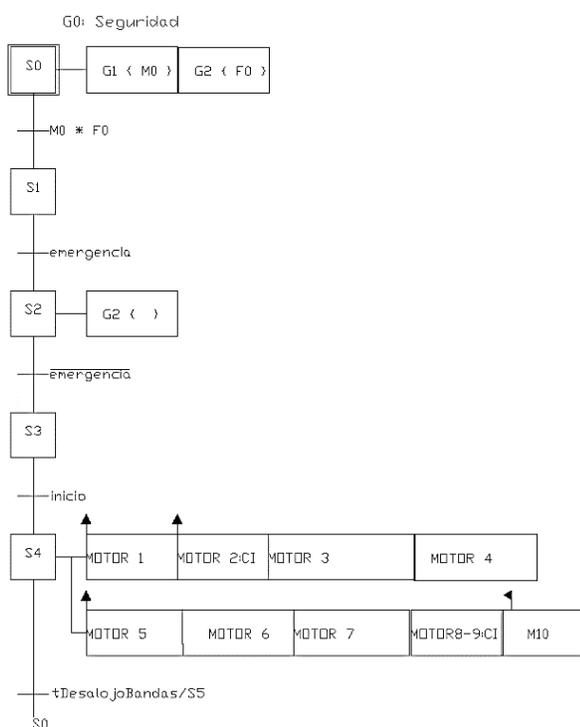
Grafcet del proceso

Se realizo el diagrama GRAFCET para el desarrollo de la programación y el control del proceso de empaque, considerando el set point (SP) para los drivers de los motores de las cintas de inspección, salida de fundas e ingreso a RX y la señal que proporciona la balanza, a continuación, se detalla las jerarquías según el grafcet,

En la figura 20 se observa el grafcet de seguridad G0 se encarga de detener el proceso en caso de que presente condiciones anómalas o se haya pulsado el botón de paro de emergencia, consta de cuatro etapas y coloca a los actuadores en condiciones iniciales por seguridad, incluyendo los motores que tiene SP por los drivers de velocidad.

Figura 20

Grafcet de seguridad cuando el proceso tiene conflicto en su trayectoria, G0

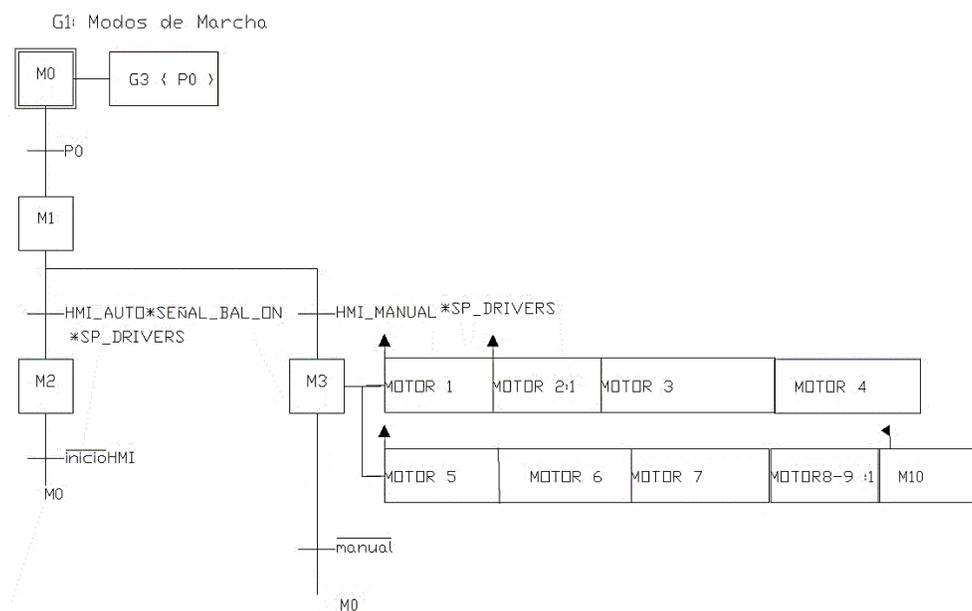


En la figura 21 se observa el grafcet de modos de marcha para este proceso la selección del modo de funcionamiento se realizará a través de la pantalla del HMI, con el

objetivo de accionar los 10 actuadores que forman parte de las bandas del proceso, generalmente el modo manual se realiza para accionar los quipos durante la limpieza o revisión antes y después de finalizar un proceso.

Figura 21

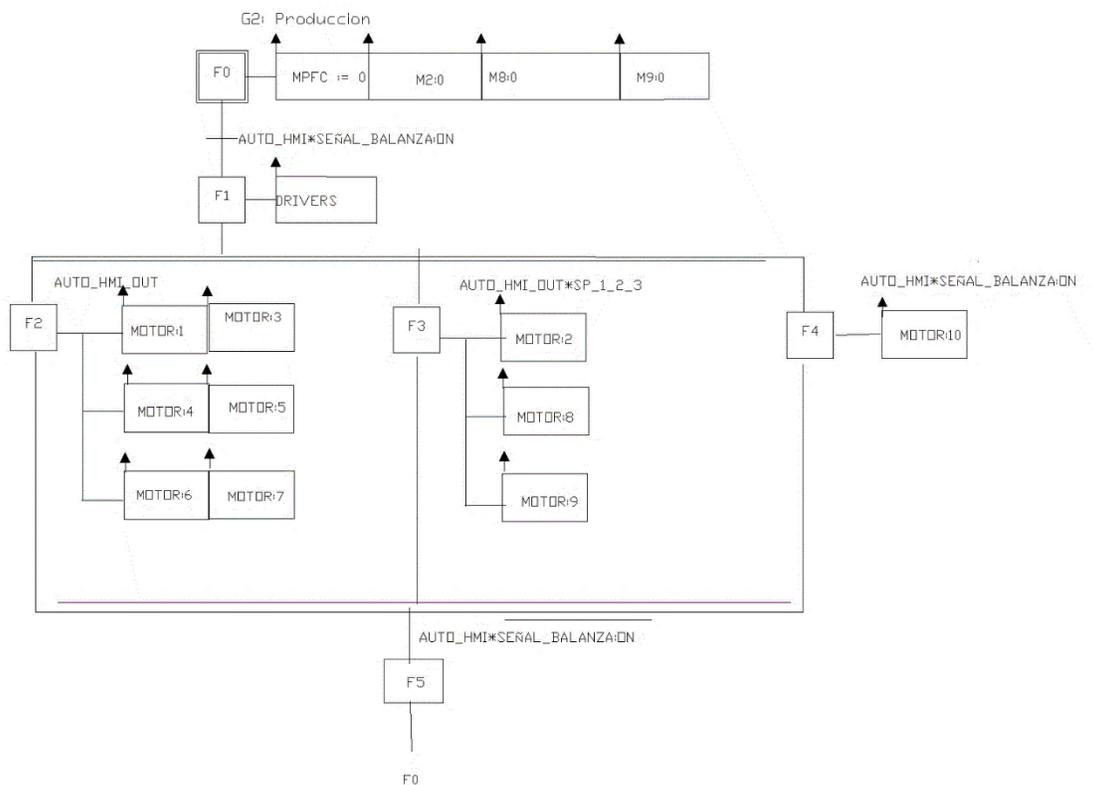
Graficet de modos de marca G1



En la figura 22 se observa el comportamiento del proceso durante la producción normal el cual dependen directamente de la señal de la balanza para el accionamiento de los actuadores, adicionalmente el operador según el proceso, calibre o tiempos de empaque debe colocar la variable de proceso para realizar la comparación del SP de los motores 2,8 y 9, que se encenderán dependiendo las condiciones que vea pertinente por parte del personal de producción.

Figura 22

Graficet durante la producción normal



Nota. El esquema general se verifica en el apéndice E

En base a los diagramas presentados se realizó la programación, considerando la normalización y escalamiento para la variación de frecuencia.

Diseño de la interfaz HMI

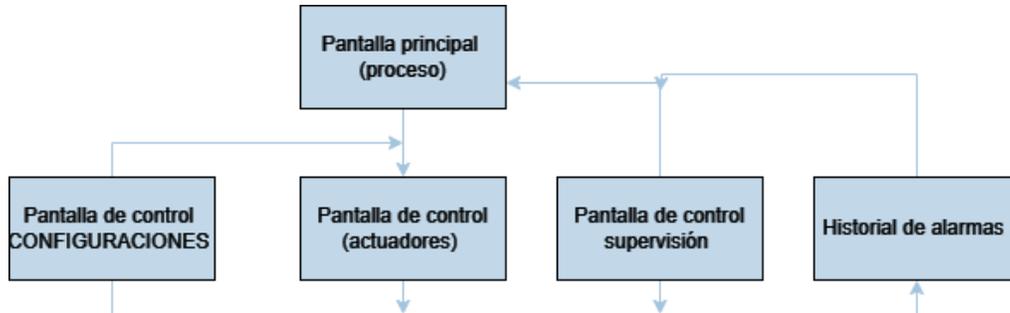
Para el diseño de la pantalla HMI, se realizó bajo el criterio y requerimientos del cliente, como base se consideró la guía GEDIS, el formato del navegador es intuitivo y básico para que el personal involucrado en el proceso no tenga inconvenientes debido a que anteriormente el mando y accionamiento de los motores se realizaba por medio de selectores.

Estructura de pantallas

Por medio de la pantalla HMI únicamente permitirá el accionamiento de los diez motores para activar o desactivar las cintas del proceso, colocar el modo de marcha, automático o manual y colocar el Set Point para los variadores de frecuencia de los motores de las cintas anteriormente mencionados.

Figura 23

Estructura de la pantalla HMI



Nota. Distribución de las pantallas para el diseño del HMI para el control de los actuadores (motores) en la línea de proceso de empaque

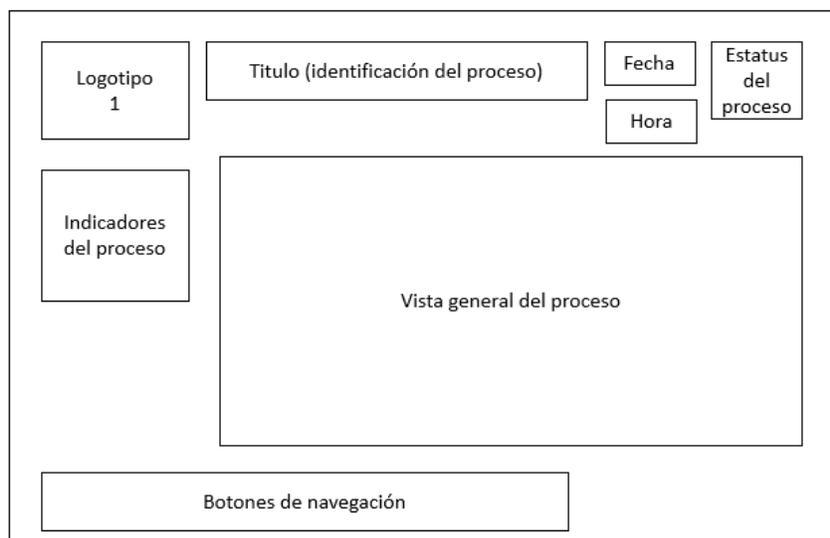
En la figura 23 se observa la arquitectura y navegación entre las pantallas del HMI, en la pantalla principal se podrá observar el layout del proceso con sus componentes y una visión global de los actuadores, en la pantalla de control se podrá colocar el modo de funcionamiento de los motores y permitirá activar o desactivar a los equipos, en la pantalla de supervisión se observan los avisos que pueden generarse en el proceso, la pantalla control, permite realizar las configuraciones en relación a la velocidad de los drivers de los motores de las contas de inspección, salida de fundas y cinta de ingreso a rayos X, la ventana historial de alarmas permite observar los eventos o situaciones anómalas que evitan el flujo normal de la producción.

Distribución de pantallas

Pantalla principal. Las pantallas del HMI fueron diseñadas según la petición y necesidad del cliente, esto incluye el uso de colores, a continuación, se describe de manera general la distribución de los elementos que componen la pantalla principal.

Figura 24

Estructura y distribución de la pantalla principal del HMI



Nota. La distribución se realizó bajo la petición del cliente y las necesidades del operador

En la siguiente tabla se describirá los componentes de la pantalla principal según la distribución solicitada.

Tabla 10

Descripción de los componentes de la pantalla principal

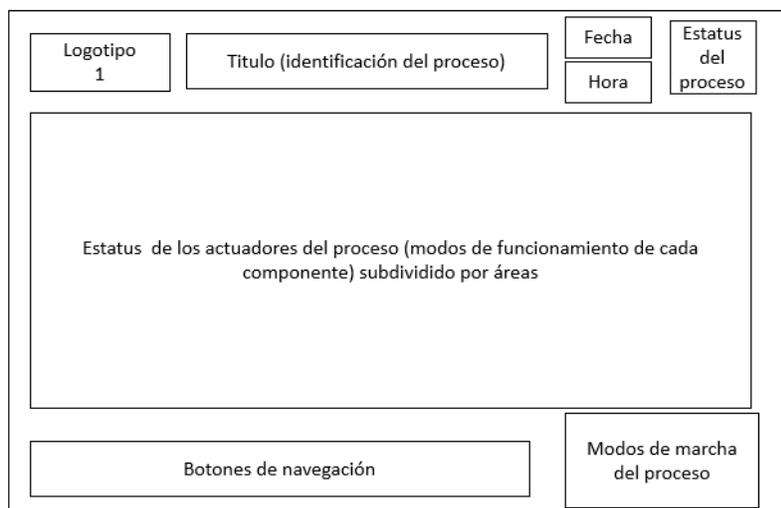
Elemento	Descripción
Logotipo 1	Logotipo de la empresa
Título	Nombre del proceso y numero de línea
Fecha y hora	Datos calendarizados y hora correspondiente a la ubicación
Estatus del proceso	Imagen que representa el estado del proceso, adecuado o inadecuado
Indicadores del proceso	Referente a si el proceso está detenido o ha iniciado

Botones de navegación	Botones que permiten ubicarse en las diferentes pantallas del HMI
Vista general del proceso	Permite observar de manera general a los equipos que conforman el proceso y sus actuadores

Pantalla de control. En la pantalla de control se realizó la distribución según el número de actuadores (motores del proceso), con la finalidad que el operador pueda activar o desactivar a los motores según la necesidad del proceso, elija el modo de marcha para su funcionamiento y observe el estatus de la señal emitida por la balanza industrial.

Figura 25

Estructura y distribución de la pantalla de control del HMI



Nota. La distribución se realizó bajo la petición del cliente y de los componentes (actuadores) que forman parte del proceso.

En la siguiente tabla se describirá los componentes de la pantalla de control según la distribución solicitada

Tabla 11

Descripción de los componentes de la pantalla principal

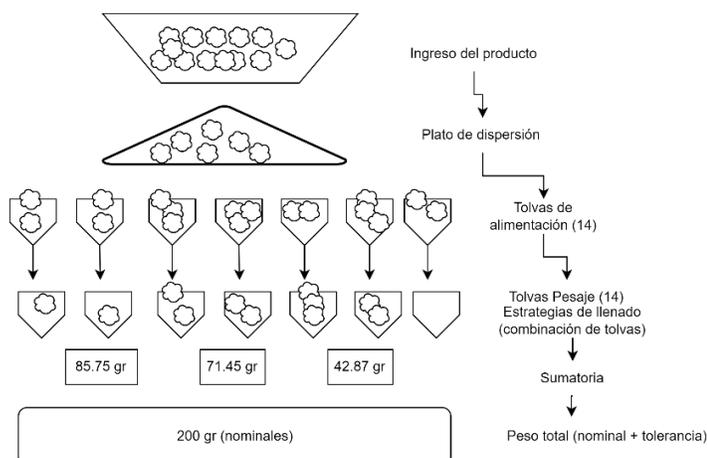
Elemento	Descripción
Logotipo 1	Logotipo de la empresa
Título	Nombre del proceso y número de línea
Fecha y hora	Datos calendarizados y hora correspondiente a la ubicación
Estatus del proceso	Imagen que representa el estado del proceso, adecuado o inadecuado
Modos de marcha del proceso	Permite elegir al operador de acuerdo con la necesidad del proceso, puede estar en modo manual, automático o inclusive apagar el proceso
Botones de navegación	Botones que permiten ubicarse en las diferentes pantallas del HMI
Estatus de los actuadores del proceso	Permite elegir el modo de marcha de cada motor: dosificador, cinta de inspección, shaker 1 (lado A y B), elevador de buckets, shaker 2 (lado A y B), cinta salida de fundas, cinta de ingreso a rayos x y mesa giratoria.

Algoritmos para automatizar el pesaje de una balanza multicabezal

Las balanzas multicabezales se han integrado de manera favorable en las industrias por su alta eficiencia y precisión al momento de dosificar una extensa gama de productos. Para el análisis de los algoritmos automatizar el pesaje, es necesario conocer las cuatro estrategias de llenado que generalmente son implementadas en una producción. Para identificar el flujo del pesaje es importante considerar los elementos principales para la sumatoria de pesos.

Figura 26

Componentes principales de la pesadora multicabezal



Nota. Esta es una referencia del comportamiento de la máquina pesadora multicabezal, las combinaciones dependerán del número de balanzas.

Para el análisis de las estrategias de llenado hay que considerar lo siguiente:

- Cuando se requiera pesar productos mayores a 1 kgr, los golpes por minuto son menores, debido a que, a mayor velocidad, menor debe ser el peso nominal para procesar.
- Las estrategias de pesaje dependen del peso nominal a procesar
- La tolerancia por producto depende del peso a procesar

Estrategia 1 o subdivisión grupal 5

La sumatoria del peso nominal es la combinación de cinco subconjuntos que se complementan entre si hasta alcanzar el objetivo de cálculo, a continuación, se observan las posibles combinaciones considerando las 14 tolvas de pesaje.

$$\text{Peso Nominal} = \begin{cases} S_1 = T_1 + T_2 + T_3 & (1) \\ S_2 = T_4 + T_5 & (2) \\ S_3 = T_6 + T_7 + T_8 + T_9 + T_{10} & (3) \\ S_4 = T_{11} & (4) \\ S_5 = T_{12} + T_{13} + T_{14} & (5) \end{cases}$$

Donde S es el subgrupo y T es el número de tolvas, el subgrupo $S_4 > 0 \text{ gr}$ para optimizar las combinaciones, considerando circunstancias ideales y los pesos uniformes se consideraría la estrategia de las 5 combinaciones de la siguiente manera:

$$\text{Peso Nominal} = \begin{cases} S_1 = 3T & (6) \\ S_2 = 2T & (7) \\ S_3 = 5T & (8) \\ S_4 = T & (9) \\ S_5 = 3T & (10) \end{cases}$$

De las cuales solo dos de los cinco subconjuntos pueden repetir la combinación, el resto de los subgrupos generalmente este tipo de estrategia se utiliza cuando se necesita un cálculo para presentaciones mayores o igual a un kilogramo donde hay una disminución de velocidad por aumento de pesaje, se debe considerar que cada tolva de pesaje soporta un máximo de 400 gramos.

Estrategia 2 o subdivisión grupal 3

Es similar a la primera estrategia, con la diferencia que el número de combinaciones o subgrupos son tres y ninguna combinación puede tener una homogeneidad en el pesaje para alcanzar el valor nominal, todas las tolvas tienen un peso promedio $T = \delta P$

$$\text{Peso Nominal} = \begin{cases} S_1 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 & (11) \\ S_2 = T_7 + T_8 + T_9 + T_{10} + T_{11} & (12) \\ S_3 = T_{12} + T_{13} + T_{14} & (13) \end{cases}$$

Donde S es el subgrupo y T es el número de tolvas en este caso los subconjuntos abarcan más cantidad de tolvas y no hay homogeneidad en ninguno de ellos, las combinaciones de los subconjuntos pueden variar, no es necesariamente elegir las combinaciones abarcando los 14 cabezales, porque generalmente esta estrategia se utiliza para el pesaje de valores nominales a 200 gr, donde la velocidad de proceso o descargas por minuto aumenta.

Estrategia 3 o combinaciones madre e hijo

Este tipo de estrategia de pesaje genera una dependencia entre el peso principal o madre (selecciona una de las tolvas de pesaje) y el residual va a ser la combinación de los hijos.

$$P_n - T_m = \sum T_h \quad (14)$$

Donde P_n es el peso nominal, T_m es la tolva madre y T_h corresponde a la sumatoria de las tolvas hijos, por ejemplo, si el peso nominal es 150.0 gramos y el peso en el cabezal madre es de 25.5 gramos, el residuo para el cálculo y sumatoria en los pesos en las tolvas hijos deberá ser:

$$P_n - T_m = \sum T_h \quad (15)$$

$$150 - 25.5 = \sum T_h \quad (16)$$

$$\sum T_h = 124.5 \text{ gr} \quad (17)$$

Entonces las tolvas hijos deberán encontrar una sumatoria y combinaciones adecuadas para alcanzar el peso residual de 124.5 gr.

Estrategia 4 o pesaje independiente

Esta estrategia le da independencia de combinaciones a las tolvas de pesaje, por medio de la comunicación de la unidad de cálculo, carga y descarga el peso según el objetivo deseado, es una de las estrategias más simples pero la velocidad depende del número de combinaciones que se establezcan.

$$\text{Peso Nominal} = nT \quad (18)$$

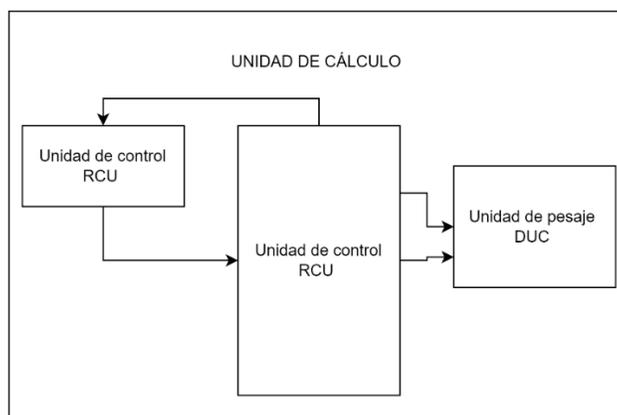
Donde n es el número de combinaciones de las tolvas para alcanzar el peso objetivo, realiza la lectura de la celda de carga y se comunica con la unidad de calculo

Unidad de cálculo

La unidad de cálculo tiene como objetivo de seleccionar las combinaciones más óptimas para el pesaje además realiza la interacción de lectura con cada tolva de pesaje que contine las celdas de carga, de manera general en la figura 23 se representa los componentes de la unidad de cálculo, donde la unidad de control permite accionar a las tolvas por medio del comando de los motores de cada tolva, el obtener la señal de carga y descarga así como el peso se realiza la conversión análogo digital, todo en coordinación con la unidad de pesaje, esta tarjeta es un microcontrolador de codificación cerrada por lo que no se puede realizar modificaciones en la programación ya sea total o parcial, pues afectaría a la maquinaria directamente.

Figura 27

Componentes principales de la unidad de cálculo



Nota. Los componentes se diagramaron de manera general para identificar la lógica de control

Análisis de las estrategias de control de las empacadoras automáticas

Considerando que esta máquina tiene sensores o sondas RTD de 100 Ohms en la mordaza para el sellado horizontal y en la platina que permite el sellado vertical de la funda se considera que el control más adecuado es un PID.

Tabla 12

Descripción de los parámetros de un control PID

Procedimiento y consideraciones para el control PID	Descripción
Verificación de la señal de la sonda RTD	Verificación del estado de las RTD's, superior para la platina de sellado horizontal y para el par de mordazas del sellado horizontal, identificar las señales que van hacia el controlador
Cálculo del error	Se define como la diferencia entre la temperatura deseada que es el valor necesario para realizar el sellado de la funda de manera horizontal o vertical y la temperatura actual que es la proporcionada por la lectura del sensor
Control P	<p>Para el cálculo del control proporcional se considera la constante proporcional K_p multiplicado por el error calculado</p> $P = K_p \times Error \quad (19)$
Control I	<p>El control integral tiene la finalidad de corregir el error acumulado en un rango de tiempo se multiplica por la constante integral</p> $I = K_i \times \int_0^t Error dt \quad (20)$

Control D	El control derivativo evita oscilaciones durante el diseño o perturbaciones y ajusta la velocidad de respuesta $D = Kd \times \frac{dError}{dt} \quad (21)$
Integración de los componentes	La salida del controlador será la sumatoria de los componentes $Salida = P + I + D \quad (22)$
Ajuste de la planta	Se debe realizar el ajuste de las constantes o variables del control PID con la finalidad de acercarse al punto de ajuste de la temperatura requerida
Retroalimentación continua y compensación	Se ajusta la salida contantemente hasta que se estabilice con los valores de la sonda RTD mediante pruebas

Debido a que el PLC y la programación que contiene la lógica y funcionalidad de la empacadora automática tiene niveles de acceso y protección no es permitido realizar modificaciones al equipo ya sea de manera total o parcial, por este motivo se ha realizado solo un análisis del control más adecuado para la temperatura de la platina y mordazas de la máquina.

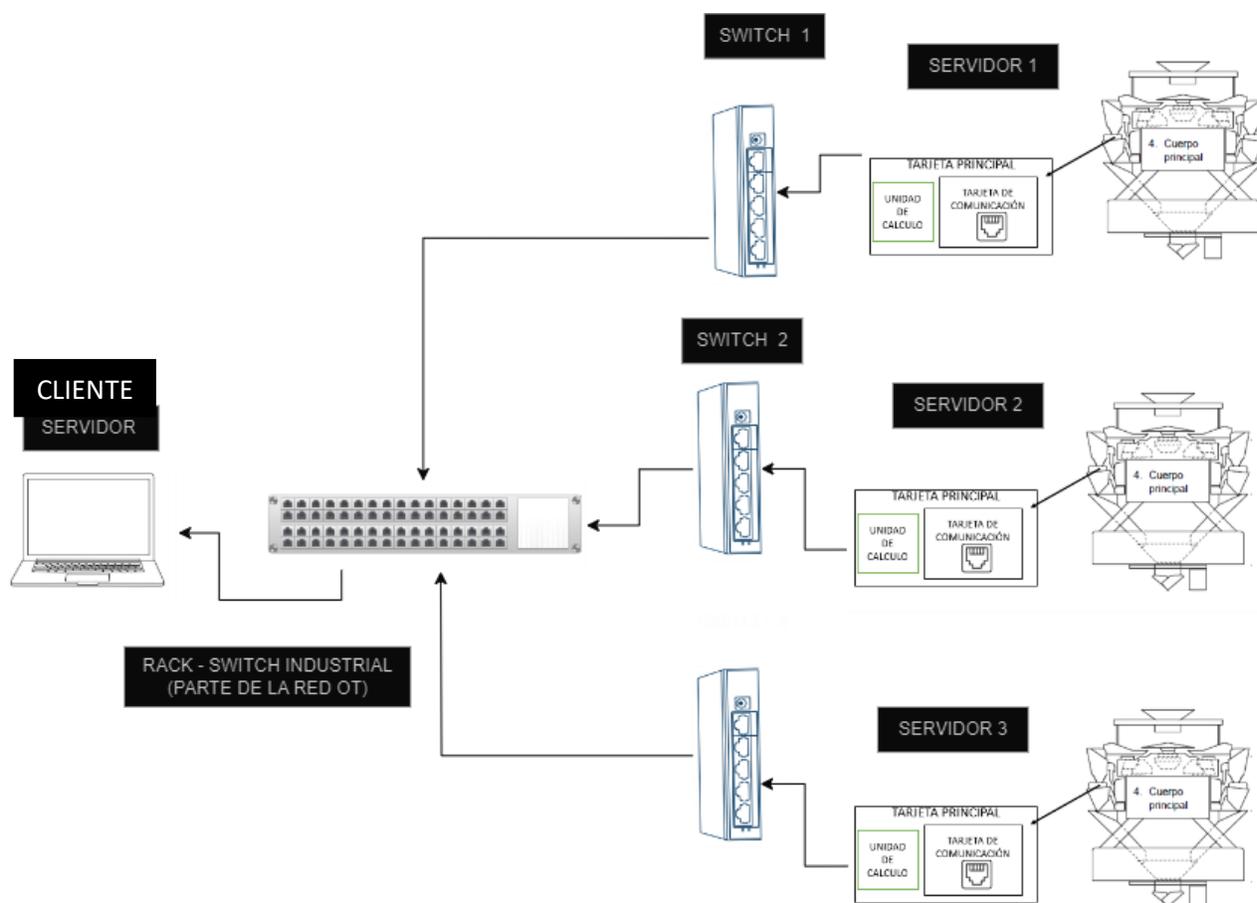
Configuración de los módulos de comunicación

Para extraer los datos de pesaje de cada línea de empaque y poner en línea de la red industrial (desarrollado por la empresa) a las balanzas automáticas, es necesario realizar la comunicación de la unidad de cálculo, con el módulo de comunicación, para la extracción de los datos se realizó por medio del protocolo modbus TCP IP, en cada equipo

se realizó la conexión como se observa en la figura 20. Para este proceso el cliente es la PC industrial y los tres servidores son las balanzas.

Figura 28

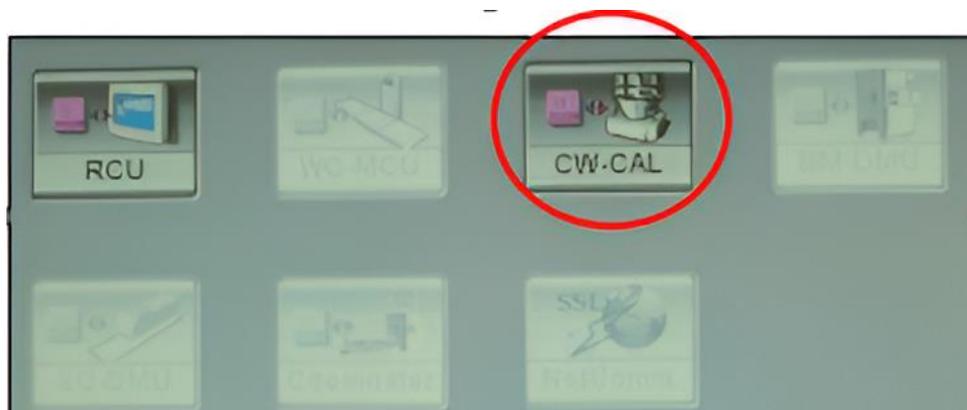
Estructura y distribución de la pantalla de control del HMI



Nota. Arquitectura típica del protocolo Modbus TCP IP (cliente – servidor)

Figura 29

Configuración de la unidad de cálculo



Nota. Identificación de la unidad de cálculo en el HMI de la empacadora multicabezal

Después de ubicarse en el HMI se procede a colocar las IPs en cada equipo

Figura 30

Configuración de la IP del servidor 1

TCP/IP SETTING		EA : 00-30-16-01-00-05		EXIT	
FTP HOST IP ADDRESS	192.168.0.10	IP ADDRESS	192.168.0.1		
FTP USER NAME	anonymous	SUBNET MASK	ffffff00		
FTP PASSWORD	*****	GATEWAY IP			
DESTINATION	FILE				
OUT-PUT FILE LINAGE SET	1000 LINE				
		PRINT	WRITE TO	READ FROM	

Nota. Revisión de la IP del primer servidor, se repite el procedimiento con los tres equipos

Tabla 13

Direcciones IP de los dispositivos conectados para la adquisición de la variable peso de las tres balanzas industriales

Dispositivo	Dirección
Balanza 1 (línea de empaque 1)	192.168.100.45
Balanza 2 (línea de empaque 2)	192.168.100.43
Balanza 3 (línea de empaque 3)	192.168.100.41

Identificación de parámetros según el mapeo y variables de interés para conocer el estado del equipo (balanza multicabezal)

Tabla 14

Direcciones IP de los dispositivos conectados para la adquisición de la variable peso de las tres balanzas industriales

Registro (inputs registers)	Descripción
182	Dirección del registro de entrada que almacena la variable peso
1632	Dirección del registro de entrada que almacena el estatus del equipo
1633	Dirección del registro de entrada que almacena el motivo de la detención del equipo
2027	Dirección del registro de entrada que almacena el peso nominal u objetivo

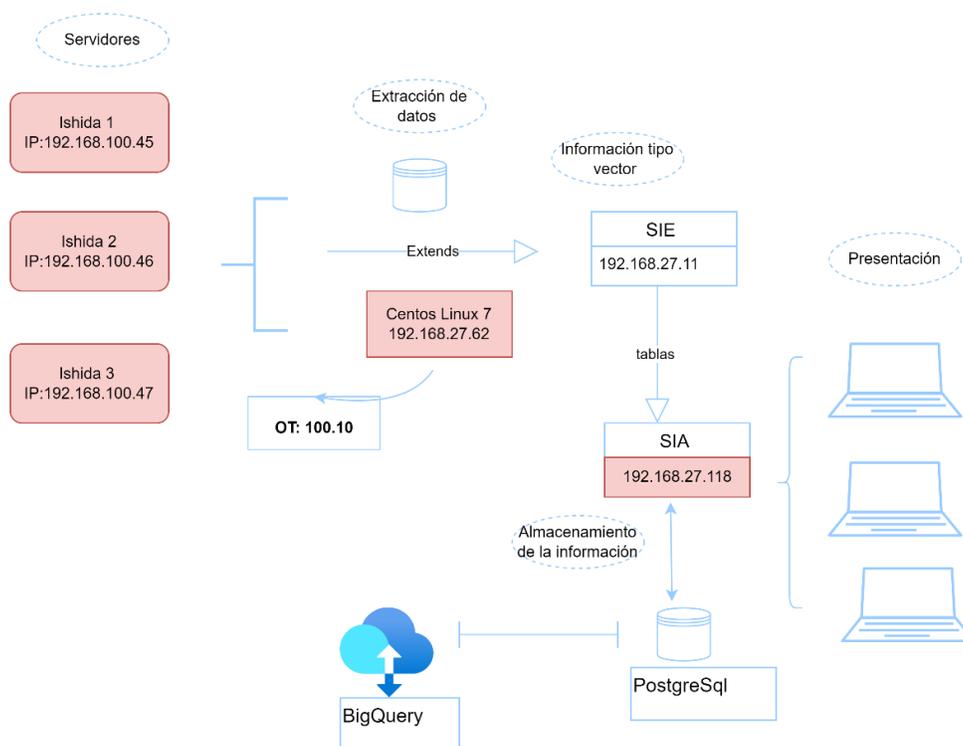
Capítulo IV. Procesamiento de la información

Arquitectura de red

Para el desarrollo de este proyecto y lograr presentar los datos de los pesos obtenidos a través de las balanzas industriales, se basó en la arquitectura ya desarrollada y establecida dentro de la empresa, únicamente se adaptó en base a las necesidades del cliente. En la figura 31 se observa de manera general como es la obtención de los datos, la transformación de la información, presentación y almacenamiento.

Figura 31

Arquitectura de red



Nota. Adaptación de la arquitectura de red para la extracción, procesamiento, presentación y almacenamiento de la información, lo implementado en este proyecto se identifica de color rosado.

Como parte de la arquitectura la red tiene los siguientes componentes:

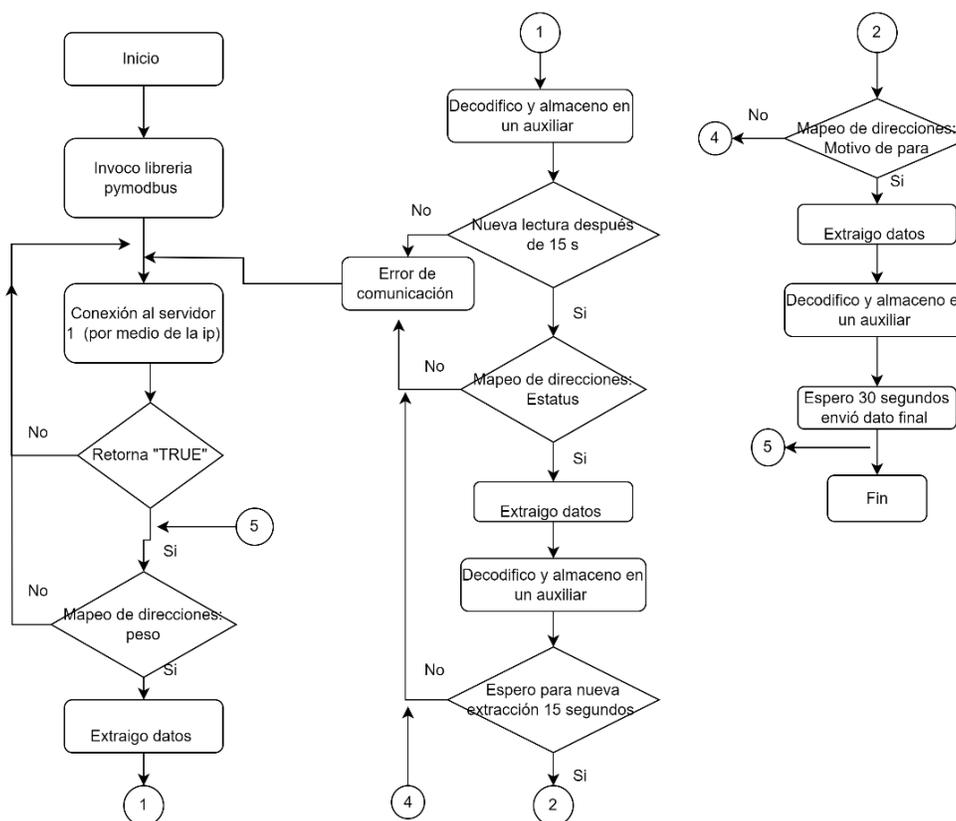
- Arquitectura modbus (cliente – servidor) extracción por librerías de Python
- Servidores: instancia 1 SIE e instancia SIA
- Almacenamiento: local y en la nube, postgres Sql y Big Query respectivamente

Extracción de datos

Para la extracción de datos se utilizó en primera instancia el protocolo de comunicación modbus cliente servidor como se explicó en el capítulo tres de este proyecto, con la ayuda de la librería Pymodbus de Python, a continuación se describe el proceso mediante un diagrama de flujo

Figura 32

Diagrama de flujo del proceso de extracción de datos mediante la librería Pymodbus



A continuación, se detalla el proceso de extracción de datos con la codificación en base al diagrama presentado.

1. Instalación de la librería Pymodbus en el entorno de desarrollo, este proceso se realiza agregando el módulo de ejecución de código por la instancia pip modbus

Figura 33

Verificación del módulo agregado al entorno de trabajo y la versión

```
pymodbus 2.5.3
```

2. Invocación de la librería Pymodbus debido a la compatibilidad con el protocolo en mención en su variante TCP IP.

Figura 34

Invocación de la librería pymodbus para la extracción de datos

```
from pymodbus.client.sync_diag import ModbusTcpClient
```

3. Configuración del servidor y del puerto, en caso de que se conecte imprime entra bien para verificar conexión entre equipos

Figura 35

Configuración del servidor y puerto para la comunicación por protocolo modbus

```
#Consulta PLC Modbus
client= ModbusTcpClient('192.168.100.45')
port=502
#Parametro para verificar es estatud de la coneccion
if client.connect() == True:
    print("Entra bien")
```

4. Instanciación de parámetros para la lectura de registros de entrada cumpliendo la siguiente estructura: identificación de las direcciones donde se almacenan las variables, numero de registros que se obtendrá y número de identificación de esclavo del equipo, esta información se agrega en una variable auxiliar.

Figura 36

Configuración para la lectura de registro de entrada según las direcciones de almacenamiento.

```
#Mapeo direcciones
#182: PESO
#1632: ESTADO
#1633: MOTIVO PARA
#2027: PESO OBJETIVO

val_peso=client.read_input_registers(182,1,unit=1)
time.sleep(2)
val_estado=client.read_input_registers(1632,1,unit=1)
time.sleep(2)
val_motivo_para=client.read_input_registers(1633,1,unit=1)
# time.sleep(2)
# val_peso_objetivo=client.read_input_registers(2027,1,unit=1)
time.sleep(2)
val_speed=client.read_input_registers(911,2,unit=1)
```

5. Decodificación del estatus de la pesadora, se apunta al primer atributo de la instancia "val_estado" de donde se obtiene una respuesta de un dato entero cuando es igual a seis se le interpreta que el equipo está en producción en el caso de que se presente una anomalía en el proceso, representada por el entero 2 significa que el equipo esta inactivo dependiendo el caso de para.

Figura 37

Decodificación e interpretación de la lectura de las variables que representa el estatus del equipo.

```

if val_estado.registers[0] == 2:
    val_estado = False    #NO ACTIVA
elif val_estado.registers[0] == 6:
    val_estado = True     #PRODUCIENDO

```

6. Decodificación de los datos representativos de la variable motivo de la para, cuando una de las basculas industriales esta no activa o detenida se puede identificar el motivo de la para, a continuación, se ejemplifica los casos más comunes identificados y su representación.

Figura 38

Decodificación e interpretación de la lectura de las variables que representa el tipo de para o error

```

if val_motivo_para.registers[0] == 0:
    val_motivo_para = "SIN ERRORES"
elif val_motivo_para.registers[0] == 1:
    val_motivo_para = "ERROR DE CALIBRACION"
elif val_motivo_para.registers[0] == 2:
    val_motivo_para = "WH ERROR"
elif val_motivo_para.registers[0] == 3:
    val_motivo_para = "PH ERROR"
elif val_motivo_para.registers[0] == 4:
    val_motivo_para = "BH ERROR"
elif val_motivo_para.registers[0] == 5:
    val_motivo_para = "RS ERROR"
elif val_motivo_para.registers[0] == 6:
    val_motivo_para = "DTH ERROR"
elif val_motivo_para.registers[0] == 7:
    val_motivo_para = "TH ERROR"
elif val_motivo_para.registers[0] == 8:
    val_motivo_para = "PIECE WEIGHT ERROR"
elif val_motivo_para.registers[0] == 9:
    val_motivo_para = "OVERSCALE ERROR"
elif val_motivo_para.registers[0] == 10:
    val_motivo_para = "OVERWEIGHT ERROR"

```

7. Decodificación de los datos representativos de los pesos reales y objetivo, los valores obtenidos son datos enteros, se toma como patrón los pesos salidos de la empacadora y se realiza la decodificación en base a la siguiente operación

$$peso\ real = \frac{val_{peso}}{10} \quad (23)$$

El dato se encuentra en el primer atributo del registro “val_peso. Registers”, el resultado de las decodificaciones que se mencionó en los puntos 5, 6 y 7 se almacena en una variable tipo diccionario para el acceso de los elementos y se transforma en una lista, finalmente se imprime los valores obtenidos en la primera lectura.

Figura 39

Decodificación de la variable peso y presentación de resultados de las variables estatus y tipo de para

```
x = []
d={
    'peso':val_peso.registers[0]/10,
    # 'peso_objetivo':val_peso_objetivo.registers[0]/10,
    'activo':val_estado,
    'fecha':fecha_hoy,
    'motivo_para':val_motivo_para,
    'num_reempacadora':'R3',
    # 'speed':val_speed_w.registers[0]/10,
    'speedw':val_speed_w/10,
    'speed':val_speed_p/10,
}

x.append(d)

print(x)
```

Presentación de datos: Python/Django

Después de la obtención de los datos se procede a realizar la presentación de la información en el sistema integrado administrativo SIA, para el desarrollo de la presentación se implementó las librerías de Python / Django, este framework de código abierto utiliza la metodología modelo – vista -controlador

Construcción de la tabla

Figura 40

Estructura en forma de tablas de la presentación de la información

DESDE:

HASTA:

{% if inicio == 'None' and fin == 'None' %} [Exportar a Excel](#) {% else %} [Exportar a Excel](#) {% endif %}

{% for i in reg %} {% if i.activo == True %} {% else %} {% endif %} {% endfor %}

N°	Num Rempaque	Fecha	Rempacadora	Receta	Peso(gramos)	Estado	Motivo Para	
{{ forloop.counter0 add:reg.start_index }}	{{ i.num_rempaque default:"-." }}	{{ i.fecha timezone:"UTC" date:"Fd, Y H:i:s" }}	{{ i.num_rempacadora }}	{{ i.receta default:"-." }}	{{ i.peso }}	ACTIVA	DETENIDA	{{ i.motivo_para default:"-." }}

{% if reg.has_previous %} [« inicio previo](#) {% endif %} Page {{ reg.number }} of {{ reg.paginator.num_pages }}. {% if reg.has_next %} [próximo último»](#) {% endif %}

{% endblock %} {% block extra %} {% endblock %}

Definición del URL, por medio de un path permite enrutar dentro Django de una manera sencilla, en este caso se enrutó a tres direcciones por la independencia de los reportes de cada equipo.

Figura 41

Designación de path para cada reporte de la maquinaria

```
path REPORTES_ISHIDA
    path('reporte_pesos_ishida_r1', reporteIshidaR1, name='reporte_ishida_r1'),
    path('reporte_pesos_ishida_r2', reporteIshidaR2, name='reporte_ishida_r2'),
    path('reporte_pesos_ishida_r3', reporteIshidaR3, name='reporte_ishida_r3'),
```

Después de realizar el diseño de las tablas (views) y de determinar el URL dentro del SIA, se observa los reportes obtenidos en la figura 42 los datos obtenidos en la pesadora multicablezal 2 (R2), es peso real, el estatus del equipo y el motivo de la para en el caso que el equipo se detenga.

Figura 42

Reporte real del comportamiento de los pesos en la Balanza industrial de la línea dos del proceso de reempaque

Fecha	Repackadora	Receta	Peso Objetivo (gramos)	Peso Real (gramos)	Estado	Motivo Para
Agosto 29, 2023 13:04:04	R2	--	--	0.0	PRODUCIENDO	SIN ERRORES
Agosto 29, 2023 13:03:47	R2	--	--	1004.6	PRODUCIENDO	SIN ERRORES
Agosto 29, 2023 13:03:32	R2	--	--	1004.5	PRODUCIENDO	SIN ERRORES
Agosto 29, 2023 13:03:17	R2	--	--	1007.5	PRODUCIENDO	SIN ERRORES
Agosto 29, 2023 13:03:03	R2	--	--	1007.5	DETENIDA	ZERO ADJUSTMENT
Agosto 29, 2023 13:02:48	R2	--	--	1007.5	DETENIDA	STOP KEY PRESSED
Agosto 29, 2023 13:02:33	R2	--	--	1007.5	DETENIDA	ERROR CLEAR
Agosto 29, 2023 13:02:18	R2	--	--	1007.5	DETENIDA	ERROR CLEAR
Agosto 29, 2023 13:02:03	R2	--	--	1007.5	DETENIDA	PH ERROR
Agosto 29, 2023 13:01:48	R2	--	--	1007.5	DETENIDA	PH ERROR
Agosto 29, 2023 13:01:33	R2	--	--	1007.5	DETENIDA	ERROR CLEAR

Transformación de datos: Apache Beam

Apache beam es un modelo unificado de procesamiento de información en tiempo real para el desarrollo es necesario importar las librerías correspondientes. Este entorno tiene la función de transformar la información para el procesamiento o almacenamiento en las bases de datos (Cloud, 2024).

Este modelo de programación utiliza la técnica ETL (extracción, transformación y carga), generalmente se basa en la construcción de pipelines ETL para la ejecución y procesamiento de volúmenes elevados de datos.

Figura 43

Invocación de librerías para la transformación y conexión hacia la base de datos

```
from apache_beam.options.pipeline_options import PipelineOptions, GoogleCloudOptions
# os.environ["GOOGLE_APPLICATION_CREDENTIALS"]="/data/beam_ve/calcium-pod-356014-f575dc4d8546.json"
from sys import argv
from datetime import datetime
import apache_beam as beam
from apache_beam.options.pipeline_options import PipelineOptions
from apache_beam.io.gcp.bigquery import WriteToBigQuery
import requests
```

El objetivo principal de apache beam y las librerías importadas es realizar una transformación de la información y enviarlo, es decir, el procesamiento que se va a realizar desde el origen hacia el destino (base de datos).

Almacenamiento de datos de manera local en Postgre Sql en la nube: BigQuery

Postgre Sql

Permite almacenar la información de manera local, este módulo es configurado desde la relación creada en Apache Beam, por lo tanto, se debe establecer la base de datos e indicar el estatus de la tabla, especificar el id y la clave primaria, a continuación, se puede observar cómo es la configuración.

Figura 44

Configuración para la conexión con la base de datos Postgre SQL

```
from beam_nuggets.io import relational_db

options = PipelineOptions()

source_config = relational_db.SourceConfiguration(
    drivename='postgresql+pg8000', #postgresql+pg8000
    host='192.168.27.118',
    port=5432,
    username='django',
    password='eco123456',
    database='db_test',
    create_if_missing=False # create the database if not there
```

Tabla 15

Matriz de configuraciones para la conexión de la base de datos local

Componente	Descripción
Beam_nuggets.io	Librería perteneciente a Apache Beam para la conexión y manejo con la base de datos
PipeLine Options	Instancia para la configuración de los datos en forma de pipe o pila para el manejo de ingreso o salida de la información hacia la base de datos

SurceConfiguration	Permite configurar la lectura de la información desde la base de datos referencial
Drivername	Especifica al controlador con que base de datos se comunicara en este caso Postgre SQL para almacenamiento local
Host	Dirección ip o host de la base de datos donde se almacenará 27.118 (para acceso por usuarios)
Port	El puerto del servidor de la base de datos a comunicar, para Postgre le corresponde el puerto= 5432
Username	El nombre del usuario para la conexión de la base de datos: django
Database	Identificación de la base de datos que se está conectando
Create_if_missing	Me retorna una respuesta booleana en el caso de que la comunicación y creación de la base de dato haya sido exitosa

Configuración de Big Query

Es un servidor que tiene una gran capacidad para almacenar información a grandes volúmenes y un fácil procesamiento en la nube, es parte de la plataforma de Google Cloud. A continuación, se detallan algunas características que favorecen a esta plataforma, debido a que el almacenamiento local Postgre SQL solo puede almacenar información por un rango de dos años, por lo que es importante enviar la información recolectada a una base de datos con mayor capacidad de almacenamiento, por lo tanto, Big Query es la plataforma de almacenamiento más confiable.

Tabla 16

Características de Big Query

Componente	Descripción
Almacenamiento de datos	La forma de almacenamiento de los datos es en tablas lo que permite tener un acceso rápido
Consulta SQL	Soporta funciones analíticas avanzadas y permite la navegación entre tablas para localizar información específica que ha sido almacenada en esta base de datos
Estabilidad y rendimiento	Esta plataforma está diseñada para escalar según las necesidades de almacenamiento de información, ofrece un rendimiento rápido de respuesta ante peticiones.
Seguridad	Maneja opciones de cifrado y gestión de claves, permite tener robustez en seguridad y no expone a la información almacenada.

Figura 45

Código referencial para que enviar información hacia Big Query

```
#|"Escribe a BigQuery" >>WriteToBigQuery(method=WriteToBigQuery.Method.STREAMING_INSERT,
#                                     table='calcium-pod- :dataset_1.EV_RY')
```

El código se encuentra comentado debido a que en dos años se puede almacenar información en la nube, pasado este tiempo se habilitará.

Capítulo V. Diseño del sistema SCADA

Principio y fundamentos del diseño

Para el desarrollo del diseño del SCADA, se rigió a la normativa ISA 101 que tiene el objetivo de estandarizar y mejorar la interacción entre el HMI (interfaz hombre máquina) y el proceso automatizado, mediante la filosofía de High performance, tiene la finalidad de optimizar las herramientas que involucran la descripción y flujo del proceso en la Tabla 17, se detallan las cláusulas y capítulos que fueron base para el proyecto:

Tabla 17

Matriz de las principales cláusulas de la normativa ANSI 101 para el diseño del SCADA

Clausula	Componente	Descripción
Cláusula 4 Gestión del sistema HMI	4.2. Estándares del sistema	4.2.1 Filosofía del HMI: se proporciona los principios y fundamentos para el diseño 4.2.1 Guía de estilo de HMI: aplica los principios de diseño y presentación de la filosofía
	4.3. Proceso de diseño	4.3.1. Diseño de consola: establece el sistema que familiariza al operador con el entorno de trabajo 4.3.4. El diseño de la pantalla: Se establece el concepto del HMI con la interacción de los usuarios
Cláusula 5 Ingeniería de factores humanos y ergonómicos	5.1. Principios generales	5.1.1 Coherencia del diseño: debe existir una interacción entre el proceso y la información que se genera. 5.1.2. Proporciona información adecuada de aspectos anómalos durante el proceso

	5.2.1. Límites sensoriales	5.2.1 Laminación de pantalla: evita la fatiga visual considerando las 8 horas de trabajo
		5.2.2. Color: los colores deben distinguirse entre sí y deben enfatizarse en información necesaria durante el proceso: alarmas, paros, funcionamiento de los equipos, entre otros.
		5.2.3. la interacción con el fondo debe ser neutral y evitar colores excesivos o llamativos
		5.2.4 densidad de la información mostrada: debe ser la necesaria para interpretar de primer plano al proceso.
Clausula 6	6.2. estilos de visualización	Proceso: permite visualizar el flujo y los componentes del proceso
estilos de visualización y estructura general		Esquema general: tiene en primer plano la descripción e información del proceso
		Gráfico de tendencia: permite conocer en tiempo real la información de los históricos de las variables de interés
		Listado de alarmas: permite mostrar el listado de información anómala en la transición del proceso
	6.3. Jerarquía de visualización	Nivel 1: descripción general de los parámetros claves del proceso
		Nivel2: contiene a detalle los componentes del proceso y condiciones de operación normal

Clausula 7 Interacción del usuario	7.2.2. Métodos de navegación	Jerárquico: se organiza según el proceso, en los ramales más inferiores despliega información más precisa
	7.2.3. métodos de navegación	Involucra hipervínculos, botones, menús desplegables e incluso comandos de voz dependiendo la implementación

Tabla 18

Matriz de los principios de diseño de HMI de alto rendimiento

Principio	Descripción
Representación gráfica del proceso	<p>Descripción clara y precisa del proceso referente a la información y sus tendencias.</p> <p>Limitación en el uso de animaciones, fondos llamativos o que pueden causar fatiga visual se recomienda el uso de pantalla gris, los colores se usan solo en el panel de alarmas, generalmente el color amarillo.</p> <p>Los equipos generalmente son en 2D para producir un contraste adecuado con el fondo y los indicadores.</p> <p>La interacción al navegar debe ser simple para el operador y debe implementar la acción mínima del teclado o ratón.</p> <p>Para las líneas de proceso se utiliza las escalas de gris y debe ser lógico y consistente con el proceso</p>

Representación de datos e información del proceso	<p>Se debe presentar solo datos relevantes del proceso y no saturar al operador de información innecesaria.</p> <p>La información puede ser mostrada en un conjunto de barras o indicadores visuales simples y de manera resumida para conocer de primera mano el estado del proceso</p> <p>Las tendencias deben mostrar el estado actual del proceso con un rango determinado</p> <p>El texto debe ser de colores oscuros o azul que tenga un buen contraste con el fondo</p>
<hr/>	
Uso de colores	<p>Color de fondo: de preferencia gris claro por el contraste que produce en la interacción con el operario</p> <p>Colores en las alarmas: según la prioridad se asigna rojo a un evento de prioridad 1 o emergente, amarillo a los eventos de prioridad 2 (evento anormal alto), naranja a un evento controlable.</p>

Diseño de la interfaz HMI

Para el diseño del SCADA, se desarrolló una visión general de las pantallas de acuerdo con el proceso y los actuadores involucrados, partiendo de las cláusulas y principios de la normativa ISA 101 con referencia de alto rendimiento. En la figura 46 se subdivide al SCADA en sus principios que es el monitoreo y adquisición de datos para su posterior análisis de información.

Figura 46

Visión general de un SCADA

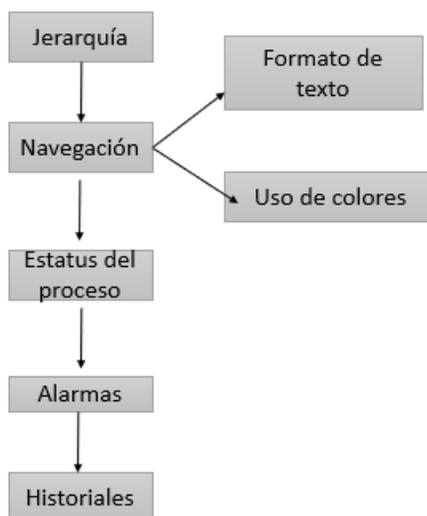


Nota. Para el diseño del SCADA se consideró el monitoreo del proceso y la adquisición de datos de las variables más relevantes del proceso

El diseño del proceso se regirá a la estandarización jerárquica como se observa en la figura 47, se consideró la navegación de pantallas por medio de botones de esta manera simple el operador puede observar el proceso de reempaque de manera general y los equipos que forman parte de cada línea.

Figura 47

Proceso de diseño del SCADA

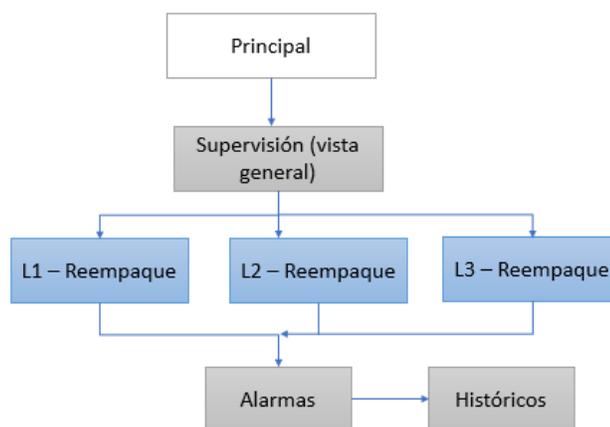


La guía de estilo de diseño para representar el proceso de empaque en las tres líneas de proceso se representará en siete pantallas dependiendo la categoría y el nivel de cada una. En

la figura 48 se observa el árbol jerárquico, esto es necesario para proveer una guía al operador para su adecuada e intuitiva navegación.

Figura 48

Jerarquía de pantallas para el sistema SCADA



A continuación, se detalla las características de cada pantalla que forman parte del sistema SCADA.

Tabla 19

Descripción de las pantallas que forman parte del sistema SCADA

Pantalla	Características	Nivel
Principal	Es una presentación layout general de la distribución de empaque, aquí puede ingresar el usuario para el nivel de ingreso del SCADA	Nivel 1
Supervisión	En esta pantalla se puede ver el flujo del proceso en las tres líneas de proceso es una visión rápida de todo el proceso donde el usuario puede conocer el estatus	Nivel 2

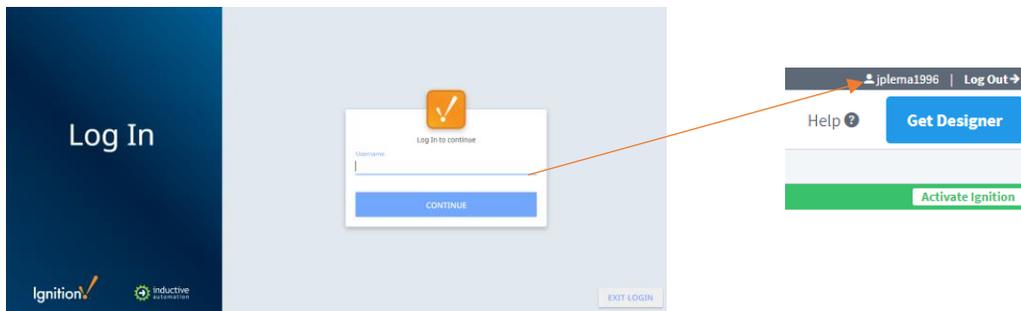
	del área a través de los indicadores y los modos de marcha del proceso	
Monitoreo de líneas	Se derivó una pantalla por línea donde se puede conocer a detalle el estatus de los actuadores del proceso (motores), se identifica el peso que está procesando por medio de la báscula y la temperatura de sellado de la envasadora, también se consideró las velocidades de los motores de las cintas: salida de fundas, ingreso a RX y mesa giratoria	Nivel 3
Alarmas	Se integro en una sola pantalla la tabla de alarmas de cada línea para conocer el estatus o tipo de advertencia o comportamiento anómalo que se presentó en el trayecto del proceso	Nivel 4
Históricos	Se puede observar el comportamiento de las variables de interés durante el proceso, en este caso pesos de las líneas y temperaturas de las envasadoras	

Configuración y diseño del sistema SCADA en Ignition

Configuración de la plataforma

Ignition es una plataforma que permite el desarrollo de sistemas HMI, con un entorno amigable y que permite desarrollar bajo el criterio de alto rendimiento, para este proyecto se utilizó la versión demo, con fines académicos. Para el diseño del sistema, después de realizar el registro en la plataforma realizamos el registro en el local host como se observa a continuación.

Figura 49 *Registro en la Plataforma Ignition*

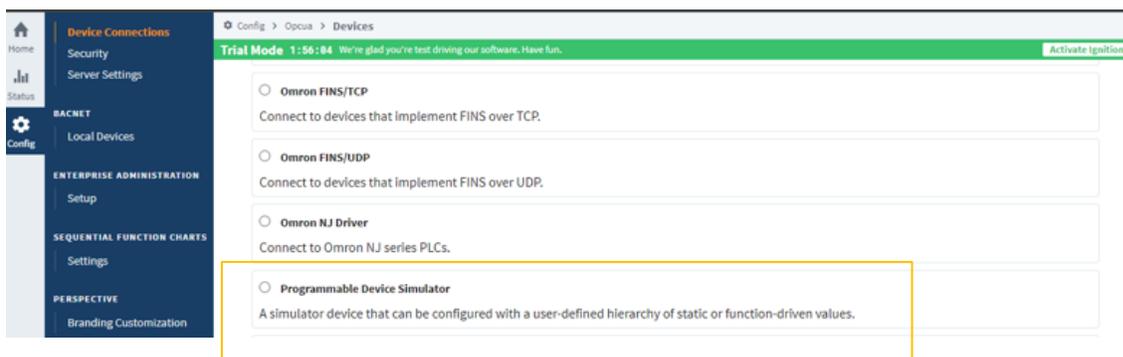


Nota. Para el desarrollo del sistema se utilizó el demo que proporciona Ignition con fines académicos

Para realizar la simulación del sistema configuramos el tipo de conexión con OPC UA, se seleccionó la opción de simulación porque no se realizará la conexión con el PLC físico.

Figura 50

Selección del tipo de comunicación y tipo de conexión



Se procede a crear el proyecto y observar el estatus antes de realizar el diseño del sistema, posteriormente se abre la aplicación de diseño propia de Ignition.

Figura 51

Identificación del proyecto

Name	Type	Description	Enabled	Status	
LINEAS DE PROCESO	Programmable Device Simulator	SCADA DE LINEAS DE PROCESO DE EMPAQUE	true	Running	More edit

Nuevamente se debe registrar en la aplicación de escritorio de diseño y se selecciona el proyecto que se está desarrollando como se observa en la figura 25, estas configuraciones son

básicas y son intuitivas, finalmente se presenta el entorno de diseño.

Figura 52

Configuraciones de la plataforma Ignition



Diseño pantalla principal

Para que el usuario pueda observar de manera general el proceso, se desarrolló el layout referencial, debido a que las tres líneas de proceso son estandarizadas y tienen los mismos equipos y flujo.

Figura 53 Vista principal del proyecto

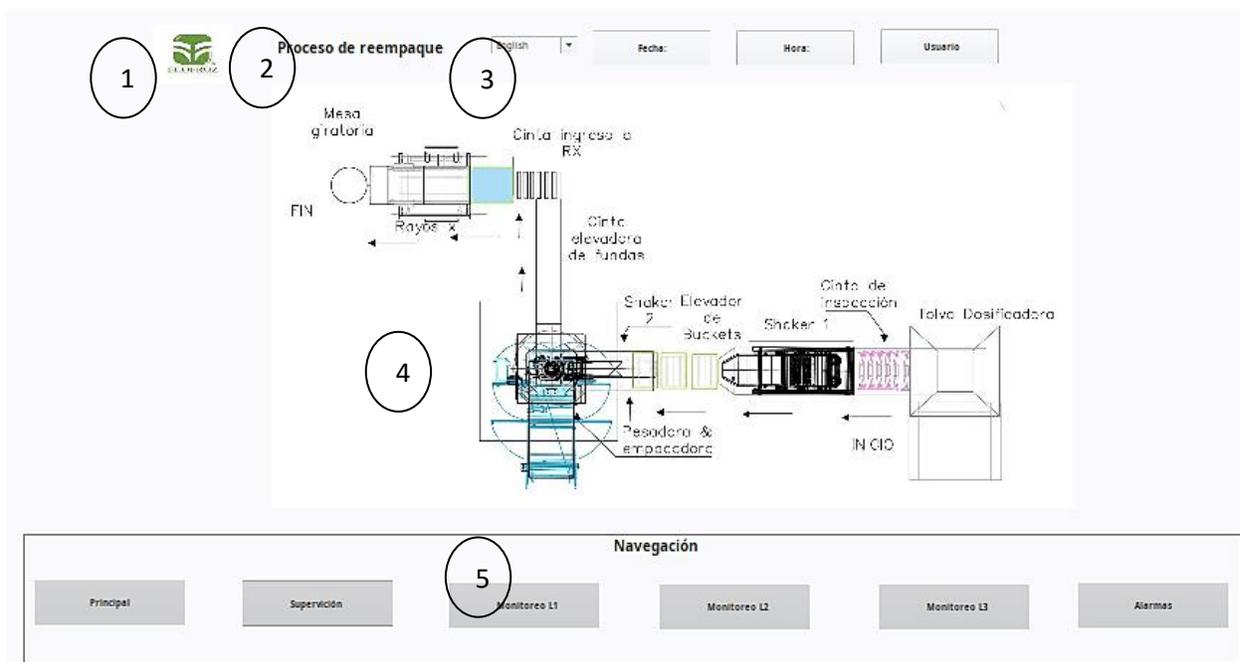


Tabla 20

Descripción de los componentes de la pantalla principal

Identificación	Características
1	Logotipo institucional: es la identificación de la empresa donde se desarrolló el proyecto
2	Nombre del proceso: permite que el usuario identifique el área que va a monitorear
3	El usuario puede elegir el idioma para el sistema, visualizar la fecha, hora e ingresar su identificación (según el nivel que pueda acceder)
4	El layout permite observar de manera general los componentes de la línea de proceso, como el proceso es estandarizado se mantiene el mismo diseño en las tres líneas de proceso.

-
- | | |
|----------|---|
| 5 | Navegación: en esta sección permite al usuario (dependiendo el nivel de acceso) navegar en el sistema |
|----------|---|
-

Diseño de la pantalla de supervisión

El objetivo de esta pantalla es que el usuario pueda observar de manera general las tres líneas del proceso, los equipos y actuadores, el flujo de este, los indicadores del proceso y el modo de marcha para el funcionamiento.

1. Nombre del proceso: permite al usuario identificar en que pantalla se encuentra, también puede visualizar la fecha, hora y tipo de usuario

Figura 54

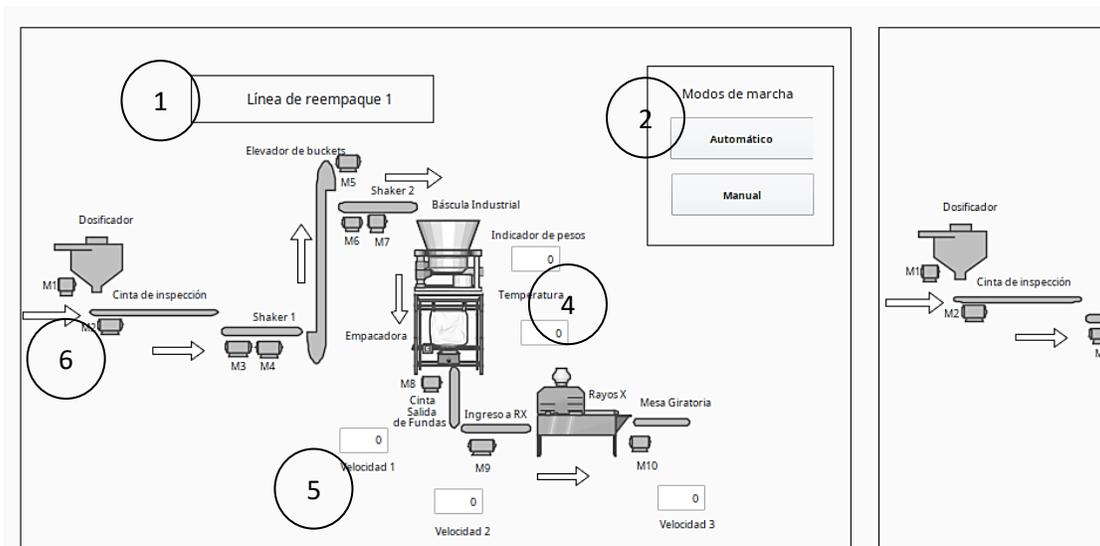
Identificación de la pantalla



2. Líneas de proceso: el usuario puede supervisar el proceso, conocer el flujo de este y los equipos (máquinas y actuadores)

Figura 55

Vista de las líneas de proceso



Nota. esta es una visualización parcial de los componentes de la pantalla de supervisión,

Tabla 21

Descripción de los componentes de la pantalla de visualización

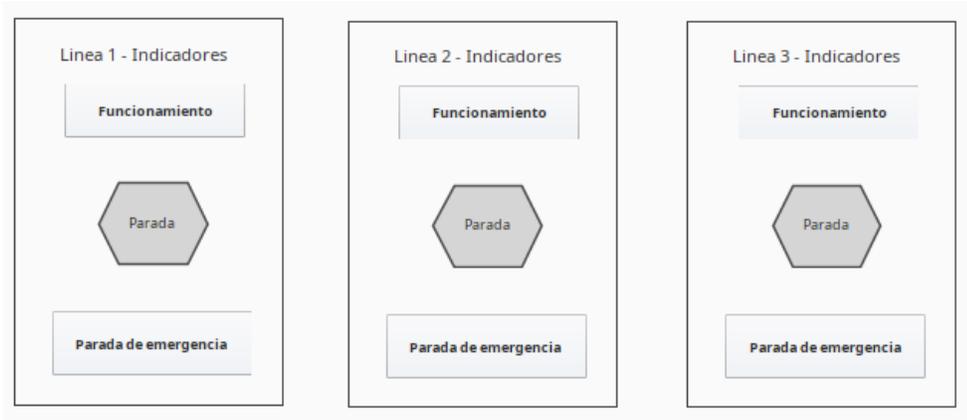
Identificación	Características
1	Identifica el número de proceso para diferenciar el flujo durante su trayecto (se mantiene el esquema para las tres líneas de proceso)
2	Visualiza el modo de funcionamiento del proceso sea en automático o manual (se mantiene el esquema para las tres líneas de proceso).
3	Se observa los componentes del proceso, se colocó imágenes en 2D de los componentes (equipos y actuadores) con colores que contrasten con el fondo (gris), el color blanco indicará que el proceso es correcto
4	El indicador de peso: el usuario podrá observar a través del display el peso que se está procesando por medio de la balanza industrial dependiendo la presentación.

-
- 5 Indicadores analógicos de la velocidad: considerando que tres de los motores tiene variadores de velocidad es necesario que el usuario pueda visualizar la velocidad de trabajo de los motores de la cinta para la salida de fundas, ingreso a Rayos X y mesa giratoria.
-

3. Indicadores del proceso: el operador puede visualizar el número de línea, el comportamiento de los procesos es decir el funcionamiento, si se produjo una parada por situaciones anómalas durante el trayecto del proceso y si se acciono el paro de emergencia ante eventualidades que comprometan al proceso.

Figura 56

Indicadores del flujo del proceso



4. Navegación: el operador puede ingresar a las opciones de monitoreo dependiendo los niveles de acceso asignado, por medio de los botones puede acceder a condiciones más específicas de cada proceso.

Figura 57

Navegación del sistema



Nota. se mantienen los botones de navegación dependiendo la pantalla donde el usuario se encuentre

Tabla 22

Descripción de los componentes de la navegación

Identificación	Características
Principal	El usuario al dar clic en este botón se ubicará en la pantalla principal del proceso.
Monitoreo L1	El usuario podrá ubicarse en la pantalla de monitoreo de la línea 1, donde se observará a detalle los componentes y variables del proceso
Monitoreo L2	El usuario podrá ubicarse en la pantalla de monitoreo de la línea 2, donde se observará a detalle los componentes y variables del proceso
Monitoreo L3	El usuario podrá ubicarse en la pantalla de monitoreo de la línea 3, donde se observará a detalle los componentes y variables del proceso
Alarmas	Al seleccionar este botón el usuario podrá observar la tabla de alarmas dependiendo del proceso donde se encuentra
Históricos	Recolecta la información de las variables de proceso de interés para el posterior análisis.

Diseño de las pantallas de monitoreo del proceso

La pantalla de monitoreo permite al usuario conocer de manera más específica el funcionamiento de los actuadores o equipos que forman parte del proceso, visualiza las variables de interés: peso procesado, temperatura de mordazas (parte de la empacadora) y velocidades de los motores. A continuación se describe los componentes.

Figura 58

Pantalla de monitoreo de las líneas de proceso

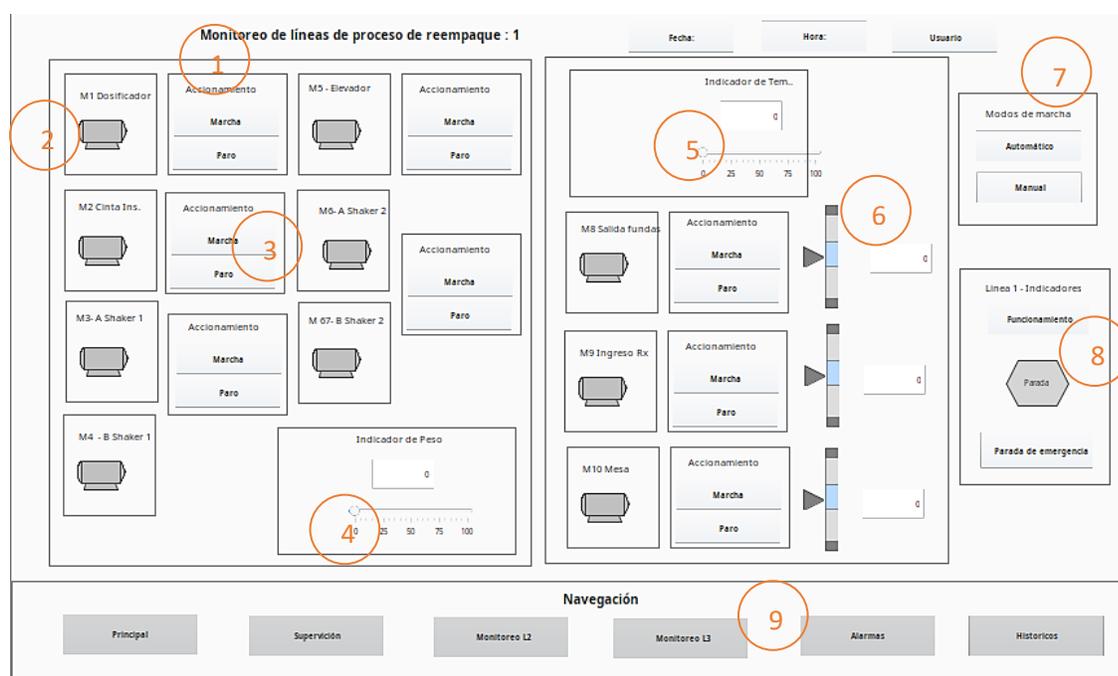


Tabla 23

Descripción de los componentes de la pantalla de supervisión

Identificación	Características
1	Nombre del proceso e identificación del número de línea, permite al usuario conocer en qué línea de empaque está visualizando

2	Se identifica al número de actuador y a que equipo pertenece, se tornara de color blanco cuando esté en funcionamiento
3	El accionamiento permite identificar el estatus del equipo si está en funcionamiento o si se ha detenido por alguna anomalía o por suspensión del proceso
4	El indicador de peso permite observar la variable y dependerá de la presentación que se está procesando por medio de la balanza multicabezal.
5	El indicador de temperatura permite observar el comportamiento de la mordaza según el tipo de empaque, de esta manera se conocerá si la variable sale de los parámetros lo que puede ocasionar un mal sellado
6	Los indicadores de velocidad permiten observar el comportamiento de los motores según el SP, esto rige para los motores 8, 9 y 10
7	Modos de marcha: permite observar el funcionamiento de los actuadores del proceso ya sea en modo manual o automático dependiendo de las necesidades de la línea
8	Indicadores: permite conocer el comportamiento del proceso si encuentra funcionando o detenida y en el caso de presentar situaciones que afecten al proceso o se haya accionado el paro de emergencia.
9	Navegación: por medio de lo selección de los botones y según el nivel de acceso el usuario puede navegar en el sistema y conocer el comportamiento del proceso.

Diseño de la pantalla de alarmas

A través de la pantalla de alarmas se podrá observar las eventualidades anómalas registradas durante el proceso, este registro permitirá que el supervisor o los involucrados tomen acciones para no afectar el flujo de funcionamiento de las líneas de proceso. A continuación se detalla el diseño para esta pantalla

Figura 59

Pantalla de registro de alarmas

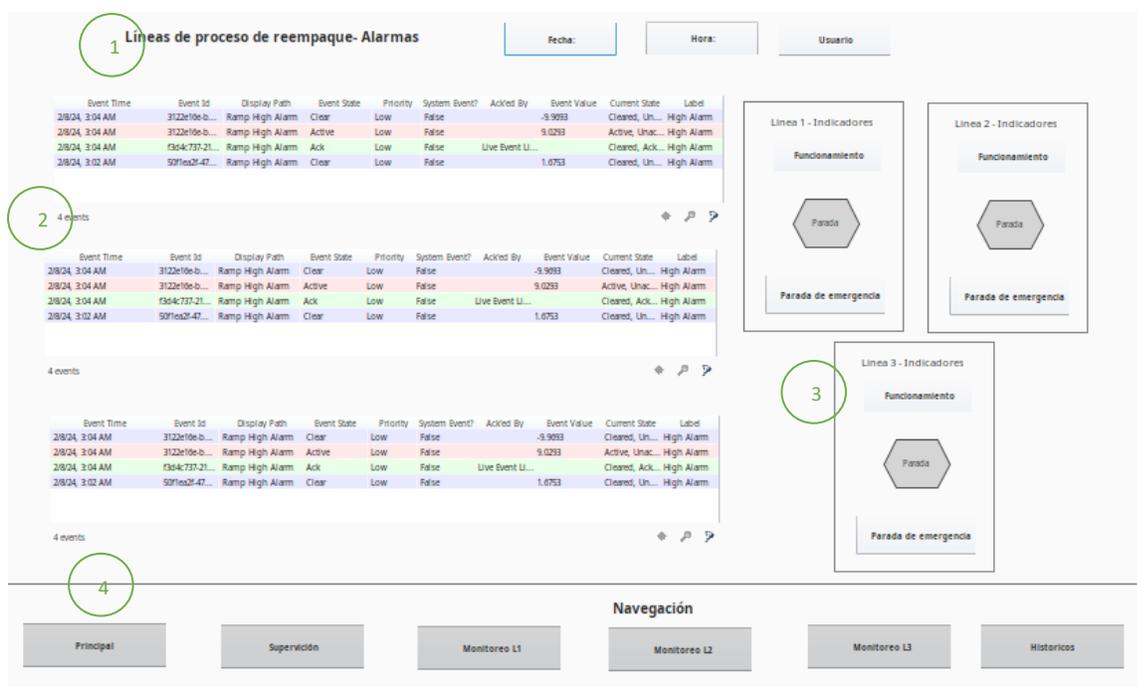


Tabla 24

Descripción de los componentes de la pantalla de supervisión

Identificación	Características
1	Nombre del proceso e identificación de la pantalla, identificación de usuario según el nivel de acceso, fecha y hora de la visualización

2	Tabla del registro de las situaciones anómalas durante el transcurso del proceso para cada línea de manera independiente, se observará a detalle el evento, los datos del evento y la prioridad
3	Indicadores del proceso según la línea de reempaque, se visualizará el estado: funcionamiento, paro o parada de emergencia.
4	Navegación: por medio de la selección de los botones y según el nivel de acceso el usuario puede navegar en el sistema

Diseño de la pantalla históricos

La pantalla históricos es una presentación gráfica de las variables que tiene mayor prioridad dentro del proceso como son peso de la balanza y temperatura de las mordazas. Este registro de los datos permite al usuario tener datos actualizados y llevar un registro para el análisis del comportamiento de los equipos y de las líneas de proceso y de ser el caso tomar acciones para un mejor desempeño.

Figura 60

Pantalla de registro de datos históricos



Tabla 25

Descripción de los componentes de la pantalla de registros históricos

Identificación	Características
1	Identificación de la pantalla, identificación de usuario según el nivel de acceso, fecha y hora de la visualización
2	Registro de los pesos de las balanzas industriales, por medio de esta tabla se puede observar el comportamiento de la variable independientemente de la línea de proceso, esto permite llevar un registro para su posterior análisis
3	Registro de temperatura de las mordazas, el registro de esta variable permite identificar el comportamiento de la empacadora y la calidad de sellado de los empaques

-
- 4 Navegación: por medio de la selección de los botones y según el nivel de acceso el usuario puede navegar en el sistema y conocer el comportamiento del proceso.
-

Configuración de la base de datos

La base de datos tiene la finalidad de almacenar información de las variables de interés y realizar la conexión con Ignition mediante el siguiente procedimiento

1. De la página oficial de “MySQL” se descarga el servidor y MySQL WorkBeach que será el entorno de trabajo para el almacenamiento de información.

Figura 61

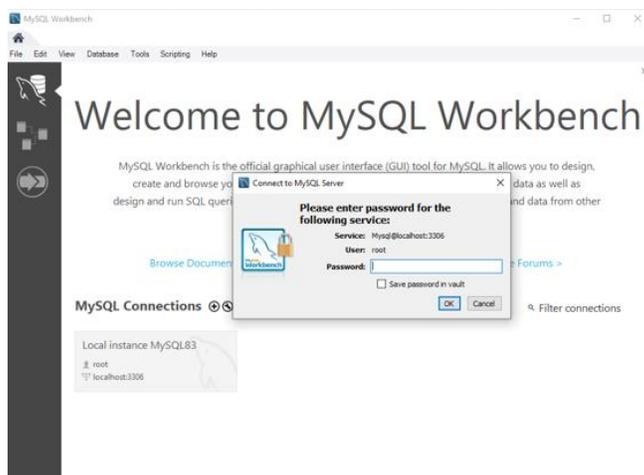
Descarga de MySQL para la configuración de la base de datos



1. Posterior a la descarga e instalación del programa, hay que realizar un registro con un usuario y contraseña a elección del usuario, para acceder al servidor y poder configurarlo se coloca los datos solicitados.

Figura 62

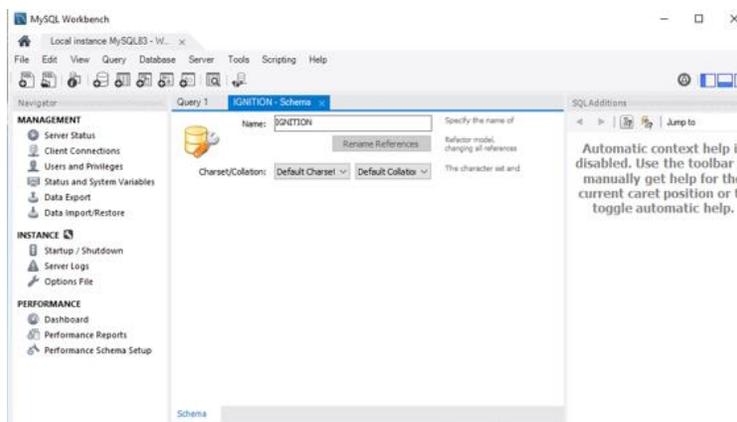
Acceso al MySQL para la configuración de la base de datos



2. Para crear la base de datos se agrega el nombre para identificar en la plataforma de MySQL Workbench

Figura 63

Identificación de la base de datos



3. Conexión con la plataforma Ignition, para poder realizar el vínculo con MySQL, se selecciona este servidor en el apartado Database que proporciona la plataforma de diseño y se elige según el entorno de trabajo

Figura 64

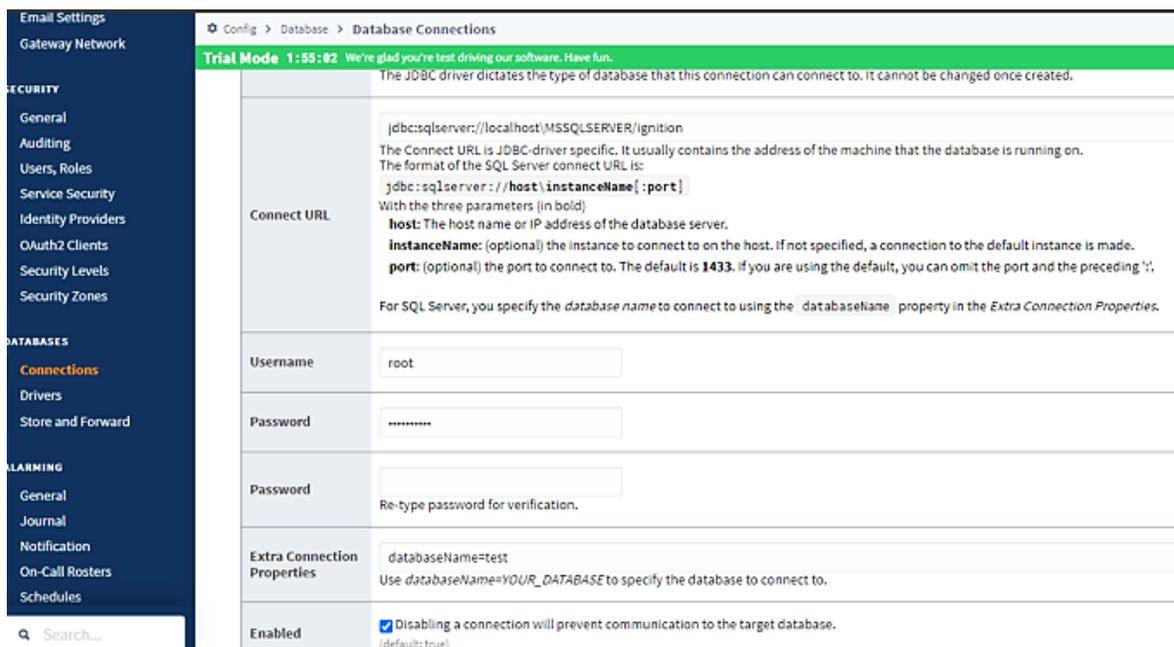
Selección de la plataforma para la base de datos



- Ahora se coloca al host el puerto y nombre que identificara a la base de datos que se colocó en el paso tres de este apartado o se puede agregar otra identificación sin inconveniente, de igual manera se agrega una contraseña por seguridad de la información a almacenar

Figura 65

Configuración de la base de datos



- Finalmente se puede observar que la configuración y conexión de la base de datos con ignition ha sido valida y exitosa

Figura 66

Validación de la base de datos

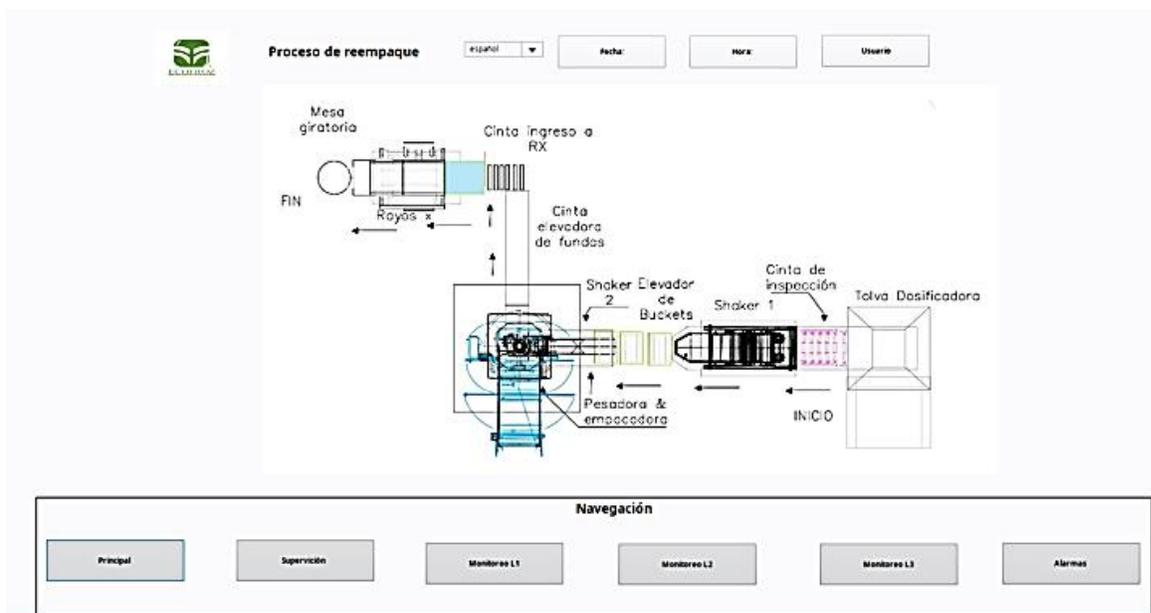


Simulación del diseño

Para la simulación del diseño de las pantallas de SCADA, se verificó por medio de “launch Project” de Ignition de esta manera se puede observar al entorno que el usuario dispondrá para el monitoreo del sistema.

Figura 67

Simulación de la ventana principal del proyecto

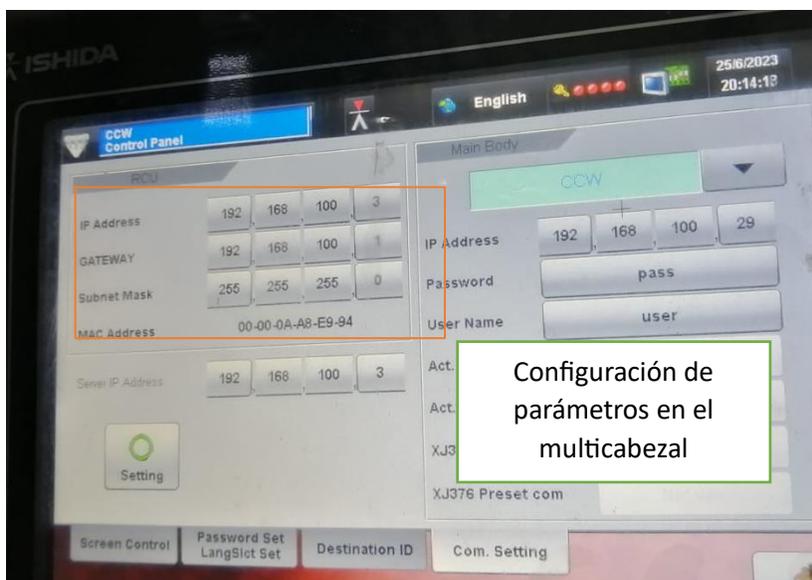


Capítulo VI. Pruebas y resultados

Pruebas de conectividad con las pesadoras automáticas.

Para extraer los datos por medio del protocolo Modbus TCP IP, primero se verificó las configuraciones de las máquinas (servidores), es decir se le asignó un IP a cada una de ellas. A continuación se observa la distribución de la pesadora automática 1, se repite el procedimiento en los tres equipos.

Figura 68 Configuración de la IP (servidor 1)



Se procedió a realizar las primeras peticiones entre cliente y servidor mediante un ping a cada servidor configurado, la prueba fue exitosa, pues se verificó la comunicación en una misma red de los equipos y la latencia de los mensajes.

Figura 69

Prueba de conectividad entre cliente y servidores

```

Microsoft Windows [Versión 10.0.19044.3086]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\OPERACIONES6>ping 192.168.100.41

Haciendo ping a 192.168.100.41 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.100.41: bytes=32 tiempo=1ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.100.41: bytes=32 tiempo=1ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.100.41: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.100.41: bytes=32 tiempo=1ms TTL=255

Estadísticas de ping para 192.168.100.41:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms
  
```

Posteriormente se realizaron las pruebas con la librería Pymodbus, en el caso de que la comunicación entre el cliente y servidor fuera exitosa, se imprime la respuesta “TRUE”, esta primera instancia se realiza antes de acceder al mapeo para extraer la información de la maquinaria (pesos, estatus del equipo y tipo de para).

Figura 70

Pruebas de conexión entre el cliente (librería pymodbus) y el servidor (equipo)

```

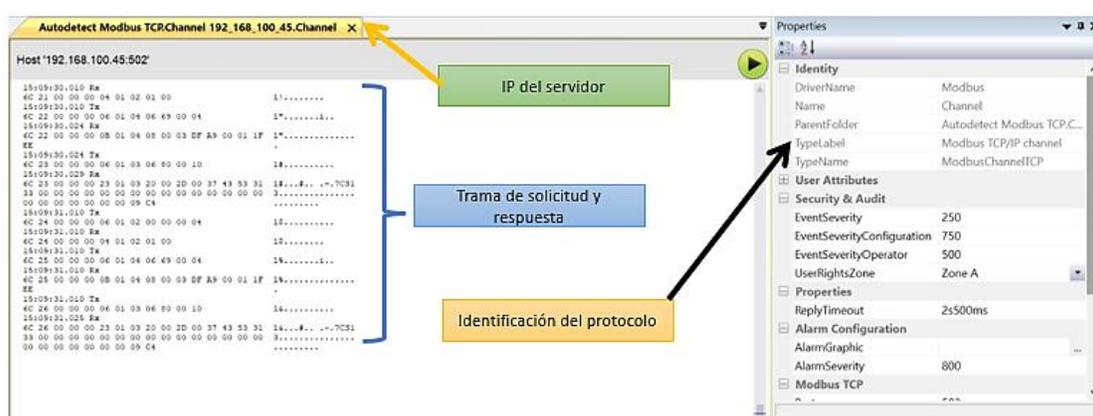
conectado.py > ...
1  import threading
2  import time
3  import math
4  from pymodbus.client.sync import ModbusTcpClient
5  from pymodbus.payload import BinaryPayloadDecoder
6  from pymodbus.constants import Endian
7  from pymodbus.payload import BinaryPayloadBuilder
8  # dirección IP del dispositivo Modbus
9  # crear un cliente Modbus TCP
10 # 45 ip línea 3
11 # 43 ip 12
12 cliente = ModbusTcpClient('192.168.100.41')
13 # establecer conexión con el dispositivo
14 print(cliente.connect())

PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL
Ocurrió un error: Modbus Error: [Connection] ModbusTcpClient(192.168.100.41)
Into read of 8 bytes without response from slave before it closed conne
PS C:\Users\OPERACIONES6\Documents\PRUEBAS_Py> cd 'c:\Users\OPERAC
56\AppData\Local\Programs\Python\Python38-64\Scripts' && cd 'c:\Users\OPERAC
\Documents\PRUEBAS_Py' && python 'c:\Users\OPERACIONES6\Documents\PRUEBAS_Py\launcher.py'
True
PS C:\Users\OPERACIONES6\Documents\PRUEBAS_Py>
  
```

Adquisición de datos, antes de realizar toda la arquitectura se realiza una prueba independiente por cada pesadora, mediante el software “Fernhill SCADA”, esta prueba permitió conocer el tipo de datos que se obtiene de los registros y con un previo análisis se procede a comparar e interpretar con la tabla de mapeos de los equipos y realizar las operaciones necesarias para la decodificación de la información.

Figura 71

Verificación del protocolo y trama de solicitud y respuesta



Por medio de estas pruebas se verificó el comportamiento de la variable, y la intermitencia para la adquisición de la información, se realizó una comparación de los valores de los pesos para verificar la validez de la información mediante la comparación de los patrones obtenidos de manera manual y los datos que proporciona el equipo.

Figura 72

Adquisición de la variable y verificación del estatus del equipo

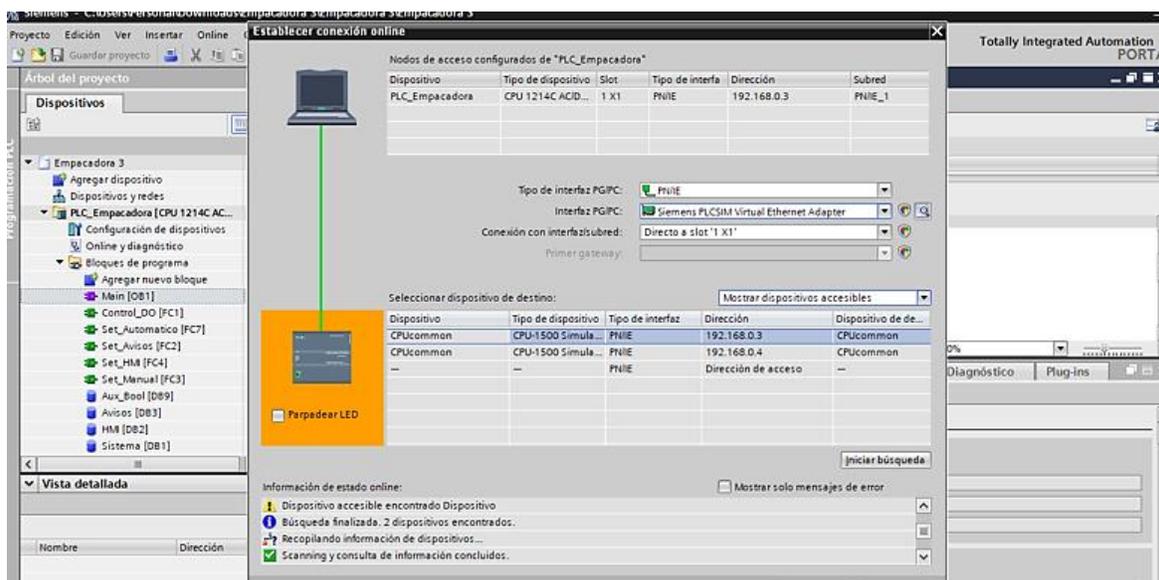
Time Stamp	Value	Quality	Log Reason
2023-08-09 15:09:03.028	255.4	Good	Time sample
2023-08-09 15:04:03.019	255.4	Good	Time sample
2023-08-09 14:59:03.013	255.4	Good	Time sample
2023-08-09 14:54:02.023	255.4	Good	Quality change
2023-08-09 14:54:01.018	1.674e+07	Good	Value before change
2023-08-09 14:54:01.018	255.4	Good	Value change
2023-08-09 14:54:01.018	255.4	Bad, waiting for initial data	Quality change
2023-08-09 14:53:50.012	1.674e+07	Good	Quality change
2023-08-09 14:53:49.019	82.94	Bad, configuration error	Quality change
2023-08-09 14:53:49.019	82.94	Bad, waiting for initial data	Quality change

Pruebas de conectividad del PLC y HMI

Para evaluar el funcionamiento y conectividad entre el PLC y el HMI que al ser instalado tendrá la función de accionar los motores en las líneas de proceso se realizó una simulación, a continuación, se observan los resultados obtenidos.

Figura 73

Simulación online con el PLC

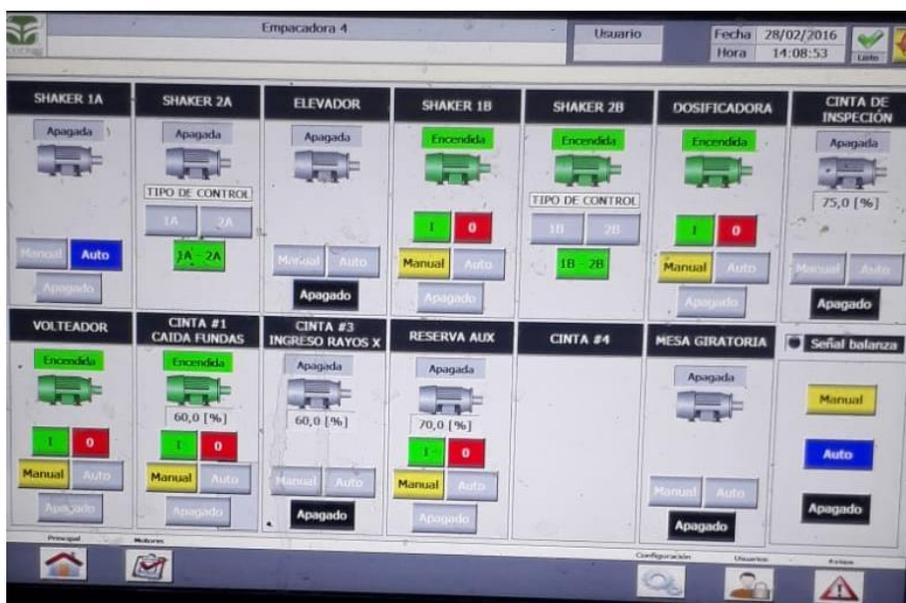


- Se realizó la carga del programa al PLC, en la simulación se realizó la verificación online.

- Se procedió a correr el programa y se visualizó el accionamiento de las salidas, en este caso los motores que tiene arranque directo
- Para los motores que se debe colocar la velocidad para la variación se realizó una comparación con el Set Point y el valor deseado
- En la integración se revisó el accionamiento y giros de los motores, cuando se accionaba desde el HMI
- Se revisó el funcionamiento de los modos de marcha, automático y manual.
- En el modo de marcha automático se verifico la señal proveniente de la pesadora multicabezal que permitía que se enciendan en secuencia la banda de inspección, shaker 1 motor A y B, elevador de buckets y shaker 2 lado A y B.
- Finalmente, después de la descarga se verifico que la secuencia de la activación de los motores inicie por la cinta salida de fundas, cinta de ingreso a los rayos X y la mesa giratoria después de que el producto pase por el equipo de verificación Rx.

Figura 74

Simulación y carga del HMI



Resultados del análisis de la adquisición de la variable pesos

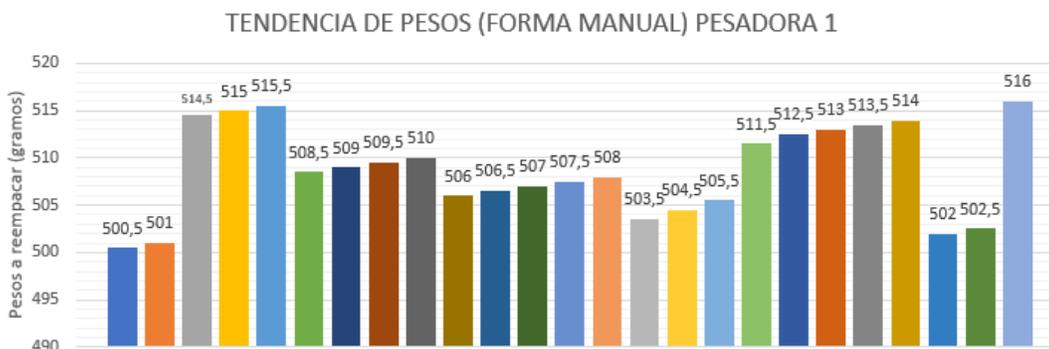
Resultados del equipo 1

Pesaje manual

Para esta prueba se escogieron 25 datos que pertenecen a un lote de reempaque, el peso estándar es 500 gramos, con un límite superior de 10 gramos para evitar problemas con el cliente, la recolección de los datos se obtuvo mediante el registro del operador de control de calidad que realiza el pesaje de manera manual después del reempaque.

Figura 75

Tendencia de los pesos de la balanza industrial 1, antes de la implementación del protocolo modbus para la extracción de la variable pesos



De este muestreo se obtuvo los siguientes resultados:

- Peso máximo: 516 gramos
- Peso mínimo: 500.5 gramos
- Promedio: 508.68 gramos
- Desviación estándar: 8.78 gramos

De los resultados obtenidos, hay que considerar que el peso en el límite superior es de 510 gramos. De los 25 datos, 10 de las mediciones superaron el valor límite lo que quiere decir

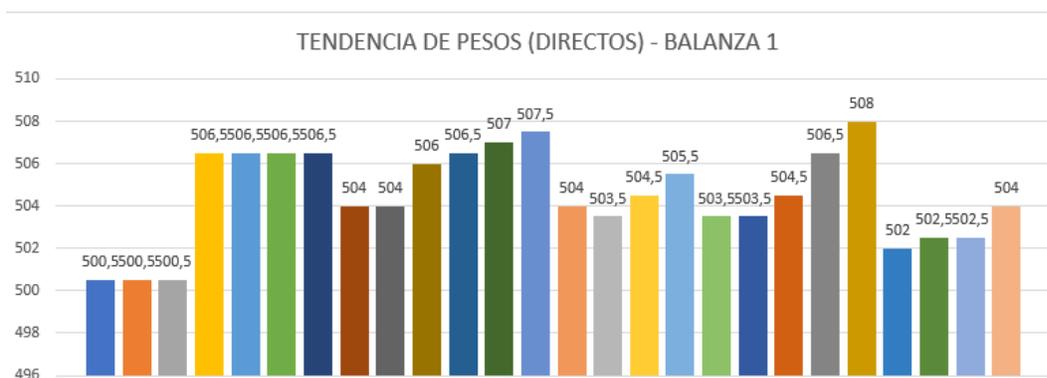
que la empresa está perdiendo producto por empaque, solo 15 de la muestra total son valores acertados, que la empresa asume para garantizar que el cliente obtenga un producto final garantizado.

Obtención de los pesos por medio de la báscula

Para el análisis de los datos, ahora la información se extrae directamente del equipo por medio del protocolo de comunicación, la adquisición directa accediendo a los registros, de igual manera se obtuvo una muestra de 25 datos correspondientes a un lote, de los cuales se obtuvo los siguientes resultados.

Figura 76

Tendencia de los pesos de la balanza industrial 1, extrayendo los datos directos de la máquina.



De la muestra analizada se obtuvo los siguientes resultados e interpretaciones:

- Peso máximo: 508 gramos
- Peso mínimo: 500.5 gramos
- Promedio: 504 gramos
- Desviación estándar: 2.2 gramos

De los resultados obtenidos con los 25 datos muestreados, al considerar que el límite superior por peso es de 510 gramos, ninguno de los datos excede este valor. Lo que garantiza

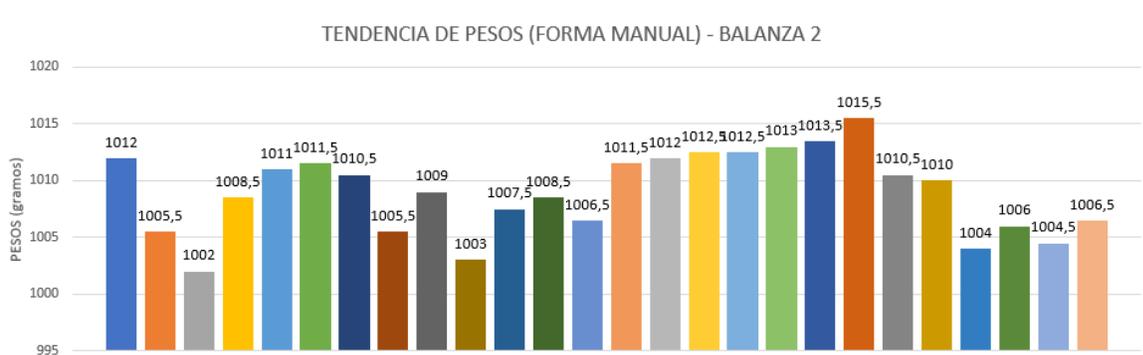
que la empresa no está teniendo pérdida de producto, ya que los datos son reales y confiables en comparación a las medidas realizadas manualmente que muchas veces se puede atribuir a errores de calibración o errores humanos.

Resultados del equipo 2

Pesaje manual

Se seleccionaron 25 datos que pertenecen a un lote de reempaque, el peso estándar es 1 kilogramo (1000 gramos) con un límite superior de 10 gramos para garantizar el peso nominal con una tolerancia establecida, a continuación, se observa los resultados de los pesajes obtenidos de manera manual que realiza el personal de control de calidad.

Figura 77 *Tendencia de los pesos de la balanza industrial 2, antes de la implementación del protocolo modbus para la extracción de la variable pesos*



De este muestreo se obtuvo los siguientes resultados:

- Peso máximo: 1015.5 gramos
- Peso mínimo: 1002 gramos
- Promedio: 1009.06 gramos
- Desviación estándar: 8.58 gramos

De los resultados obtenidos, al considerar que el peso en el límite superior es de 1.010 kilogramos (1010 gramos), de los 25 datos 12 de las mediciones superaron el valor límite del

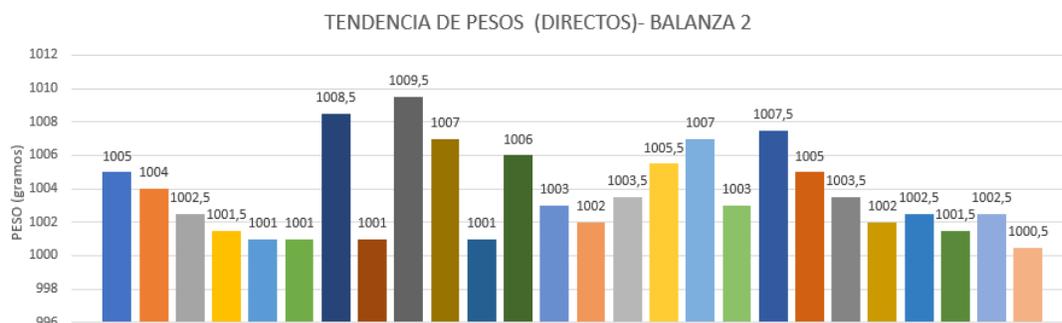
peso más la tolerancia, al no ser confiables estas mediciones, no se tiene certeza de cuanto producto se está perdiendo, esto afecta directamente a la empresa debido a las pérdidas que genera anualmente y por qué no hay fiabilidad para el análisis de datos y toma de decisiones.

Obtención de los pesos por medio de la báscula

Para el análisis de los datos, ahora la información se extrae directamente del equipo (balanza 3) por medio del protocolo de comunicación, se realiza con la misma cantidad de datos al muestreo (25 por lote), el análisis para comparar con los datos manuales se coloca al equipo en las mismas condiciones de pesaje, valores, calibre, velocidades, entre otros.

Figura 78

Tendencia de los pesos de la balanza industrial 2, extrayendo los datos directos de la máquina.



De la muestra analizada se obtuvo los siguientes resultados e interpretaciones:

- Peso máximo: 1009.5 gramos
- Peso mínimo: 1000.5 gramos
- Promedio: 1003.73 gramos
- Desviación estándar: 2.56 gramos

De los resultados obtenidos de los 25 datos muestreados considerando que el límite superior por peso es de 1.01 kilogramos (1010) gramos, ninguno de los datos de la muestra

supera este valor. Lo que garantiza el peso adecuado por presentación, a diferencia del pesaje manual que, si sobrepasa este valor, es importante analizar la causa raíz de la diferencia entre pesajes, pues estas perturbaciones causan un conflicto en el análisis de los datos.

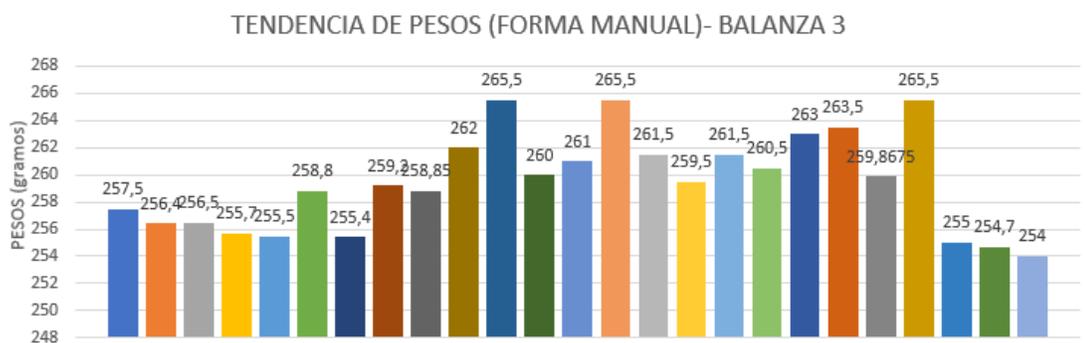
Resultados del equipo 3

Pesaje manual

Se escogieron 25 datos que pertenecen a un lote de reempaque de la balanza de la línea de proceso 3, el peso estándar es 250 gramos, con un límite superior de 5 gramos esta tolerancia tiene la finalidad de garantizar un valor superior al nominal y evitar problemas legales con el cliente, la recolección de los datos se obtuvo mediante el registro del operador de control de calidad que realiza el pesaje de manera manual después del reempaque.

Figura 79

Tendencia de los pesos de la balanza industrial 3, antes de la implementación del protocolo modbus para la extracción de la variable pesos



De la muestra analizada se obtuvo los siguientes resultados e interpretaciones:

- Peso máximo: 265.5 gramos
- Peso mínimo: 254 gramos
- Promedio: 258.7 gramos

- Desviación estándar: 6.76 gramos

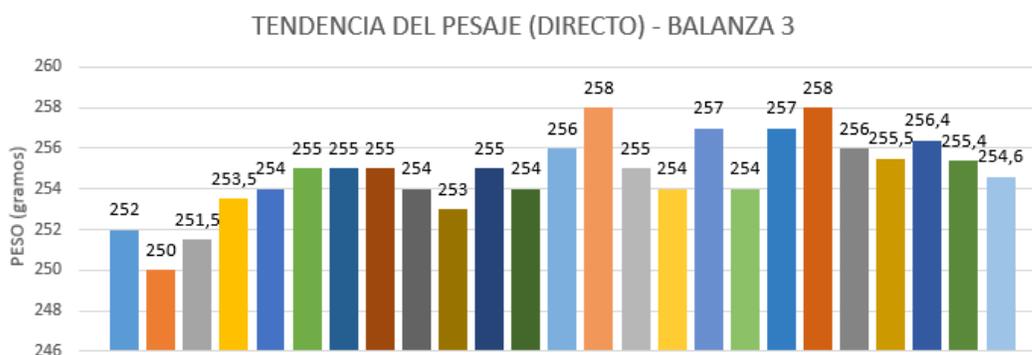
De los resultados obtenidos, considerando que el peso con el límite superior es de 255 gramos, de los 25 datos 20 de las mediciones superaron el valor límite, de los tres equipos, estos son los datos más alarmantes pues reflejan una mala medición y una pérdida de producto, solo 5 de los empaques tendrían un valor aceptable considerando la tolerancia permitida.

Obtención de los pesos por medio de la báscula

Para el análisis de los datos, ahora la información se extrae directamente del equipo por medio del protocolo de comunicación, la adquisición directa accediendo a los registros, de igual manera se obtuvo una muestra de 25 datos correspondientes a un lote, de los cuales se obtuvo los siguientes resultados.

Figura 80

Tendencia de los pesos de la balanza industrial 1, extrayendo los datos directos de la máquina



De la muestra analizada se obtuvo los siguientes resultados e interpretaciones:

- Peso máximo: 258 gramos
- Peso mínimo: 251.5 gramos
- Promedio: 254.76 gramos

- Desviación estándar: 3.13 gramos

De los resultados obtenidos de los 25 datos muestreados considerando que el límite superior por peso es de 255 gramos, ninguno de los datos excede este valor. Es decir, el pesaje es adecuado con los estándares de calidad y refleja que no hay pérdidas de producto, referente a los datos obtenidos de manera manual son varios los errores que pueden perturbar a la medición.

Resultados de la usabilidad del HMI

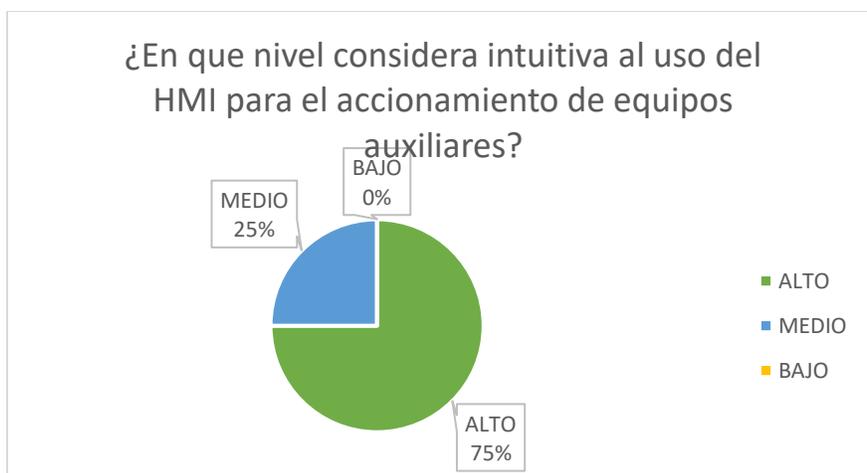
Para identificar el nivel de satisfacción y usabilidad del HMI al implementarse en las líneas de proceso se realizó una encuesta a los operadores y ayudantes, en total 12 encuestados que ejecutan el proceso de reempaque, de las preguntas que se realizó, a continuación, se analiza los resultados.

Se realizó una encuesta de cinco preguntas referente a la usabilidad del HMI estuvo dirigida a 12 personas que son los operadores de las líneas de proceso en sus correspondientes turnos y los auxiliares.

En la figura 81 se observan los resultados respecto a cuán intuitiva es el uso del HMI, de los cuales 8 personas consideran que es altamente intuitiva y cuatro como medianamente intuitiva que representan el 25 %, a este personal en específico se realizó un reentrenamiento para que no tengan inconvenientes en el uso de la pantalla durante el proceso, de esta manera se garantiza que el personal este entrenado y tenga la capacidad de respuesta inmediata ante cualquier anomalía que se de en el trayecto del proceso.

Figura 81

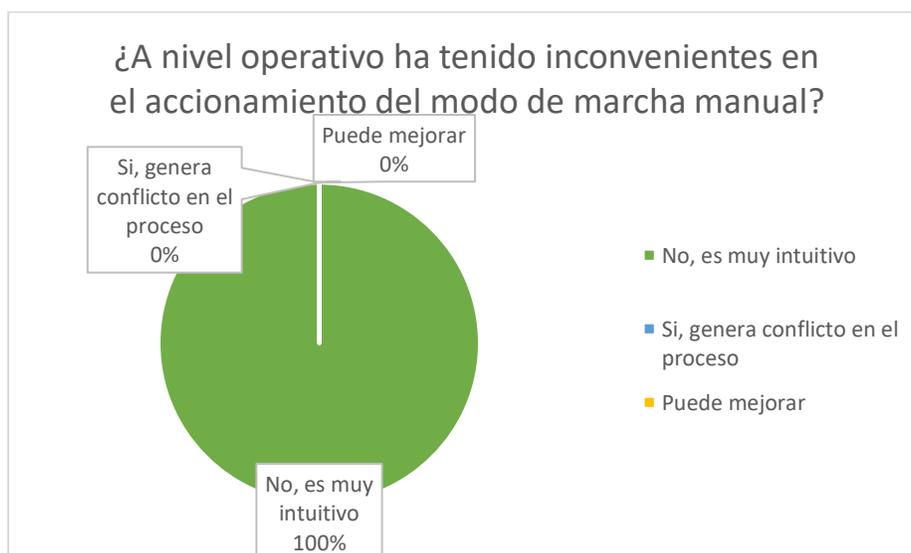
Representación gráfica de la respuesta referente a la interacción del HMI



En la segunda pregunta relacionada a los inconvenientes a nivel operativo con el modo de marcha manual para el accionamiento de los equipos auxiliares (motores de cintas y equipos), de los 12 encuestados se obtuvo los siguientes resultados, el 100% del personal no presenta ningún inconveniente, pues le parece muy intuitiva la pantalla de accionamientos, lo que quiere decir que el diseño no tiene complicaciones.

Figura 82

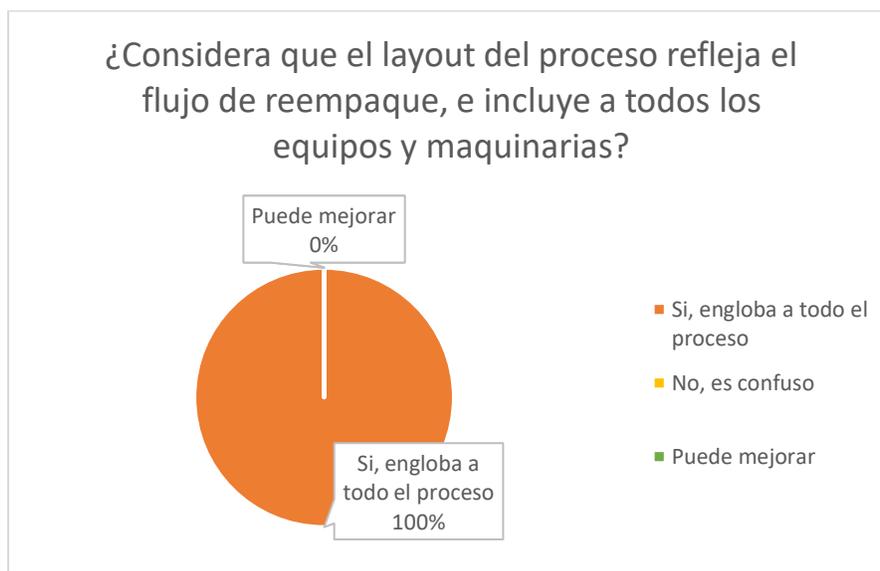
Representación gráfica de la respuesta referente a los inconvenientes a nivel operativo del modo de marcha automático



En la tercera pregunta relacionada al diseño y distribución de los equipos y maquinarias involucrados con el proceso (layout), tiene coherencia en su flujo que permite tener una visión del trayecto del proceso al operador, se obtuvieron los siguientes resultados, los 12 encuestados están de acuerdo en que la pantalla principal engloba a toda la línea de reempaques, lo que se refleja en el 100% resultante.

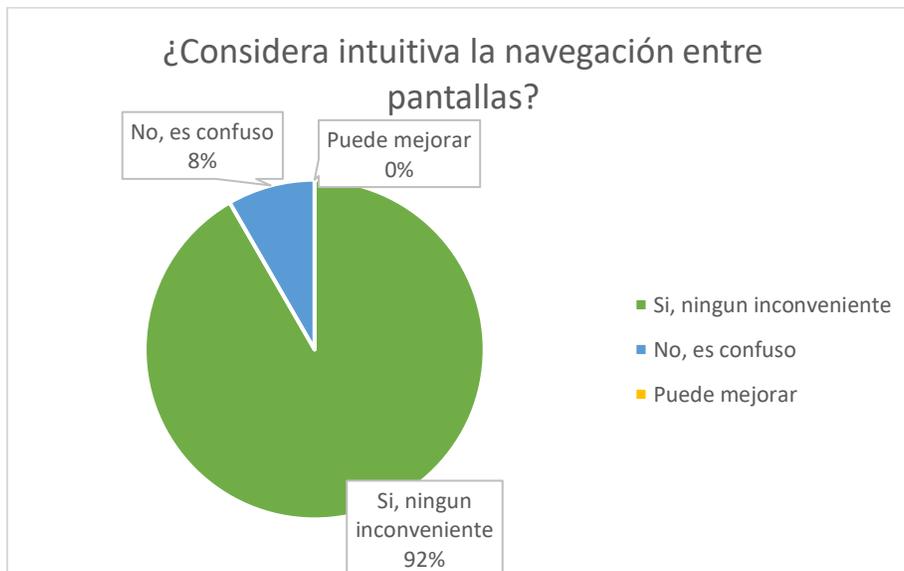
Figura 83

Representación gráfica de la respuesta referente a la coherencia y representación del proceso en la pantalla principal.



En la cuarta pregunta en relación a la navegación entre pantallas, se obtuvo como resultado que 11 de las personas encuestadas están de acuerdo en que el diseño es intuitivo, representan el 92% es decir que en un índice mayor no tiene conflicto en la operatividad de las pantallas y su relación con el proceso, por el contrario la persona que representa el 8% y mencionó que es confuso, se debe a que no está continuamente manipulando el proceso como acción para mitigar este porcentaje se realizó una nueva inducción en planta para una mayor familiarización.

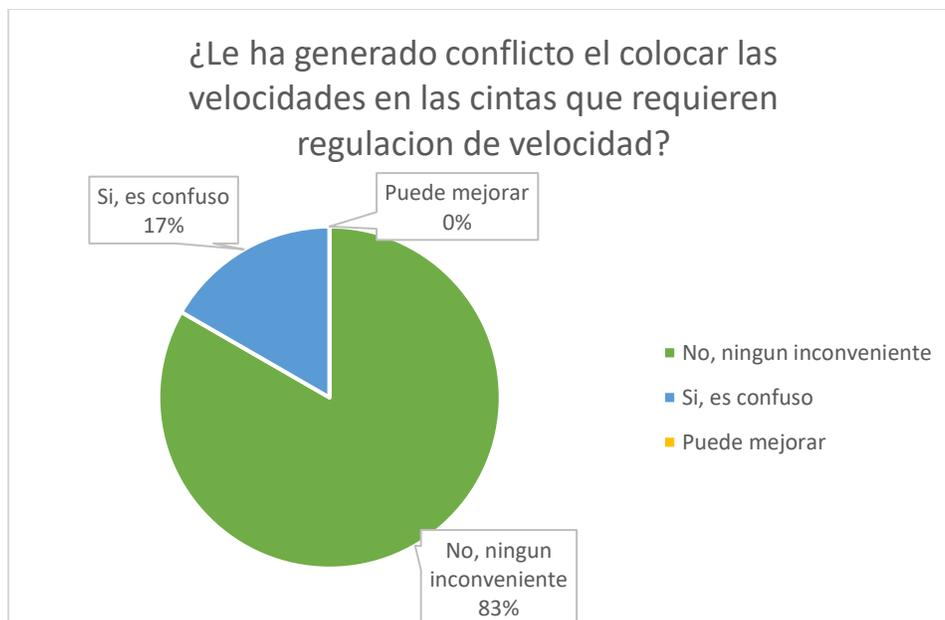
Figura 84 Representación gráfica de la respuesta referente al cuan intuitiva es la navegación entre pantallas del HMI



Finalmente en relación al colocar la variable de proceso y realizar la comparación con el set point, de las personas encuestadas dos mencionan que tiene conflicto con la parametrización, por lo que se realizó una nueva capacitación con la finalidad de evitar confusiones que puedan comprometer el transcurso o inicio del proceso, el 83% de las personas encuestadas menciona que no tiene ningún inconveniente lo que quiere decir que el diseño es adecuado e intuitivo, algo que se ha reflejado cuando el proceso ya está en marcha.

Figura 85

Representación gráfica de la respuesta referente al inicio del proceso al colocar las velocidades en las cintas.



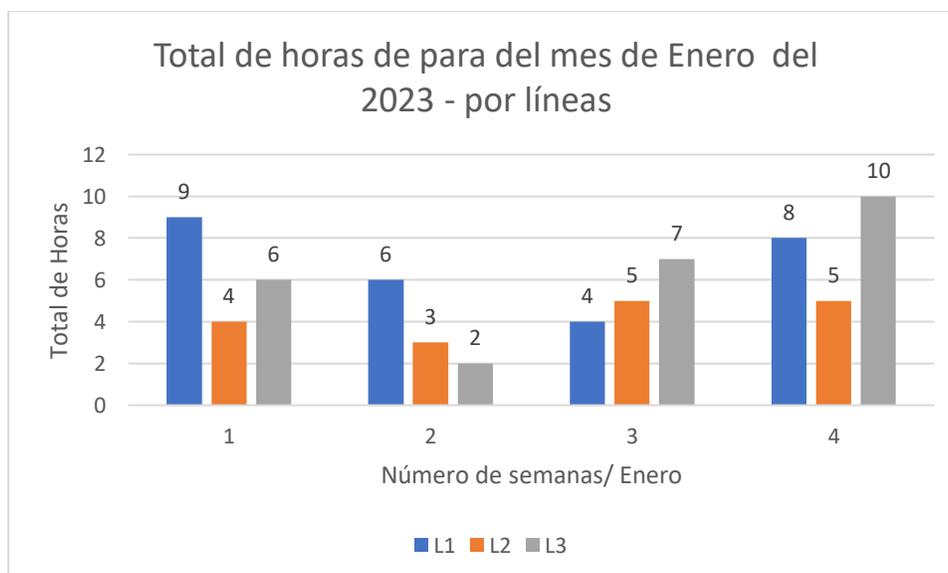
De manera general la encuesta realizada refleja que el diseño ha tenido un índice elevado de aceptación y como una estrategia para mitigar conflictos o confusiones de usabilidad del HMI se ha optado por realizar reentrenamientos y prácticas durante el inicio de un proceso.

Análisis de tiempos de para antes de las implementaciones

Para realizar una validación de las mejoras implementadas en las líneas de proceso, es necesario comprar como influyo la automatización y el aporte que tubo para mejorar la eficiencia y productividad, los motivos principales de las paras que se observan en la Figura 86 son por errores en los accionamientos de los motores de los equipos auxiliares. Las horas de para más altas se registran la primera semana de enero con 9 h en la línea 1 y la semana 4 con 10 horas la línea dos, es necesario reducir el porcentaje más elevado de estos tiempos pues afectan a la producción.

Figura 86

Tiempo de para en los procesos de pesaje y empaque en las tres líneas

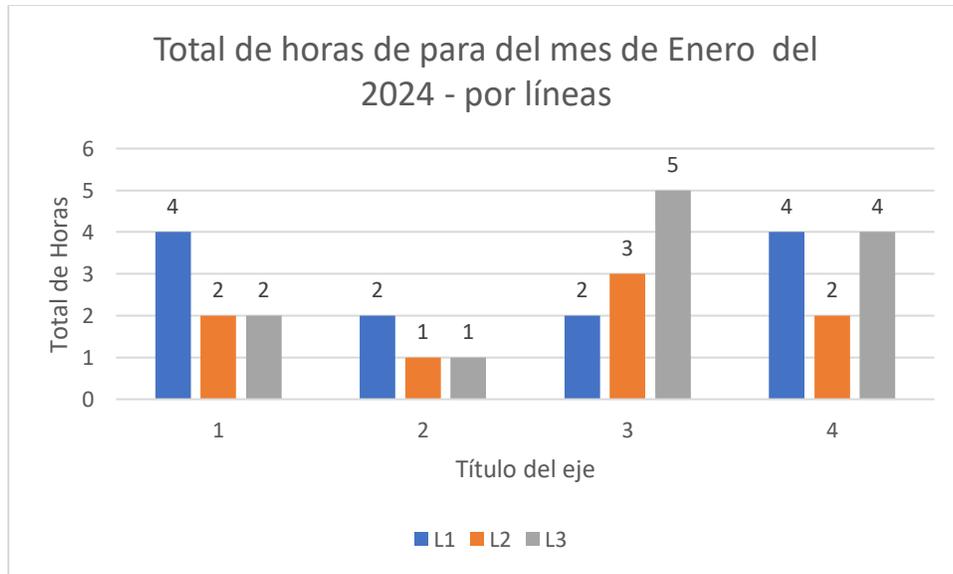


Análisis de tiempos de para después de las implementaciones

Después de las implementaciones y mejoras y principalmente en la revisión del accionamiento y flujo de los equipos auxiliares han permitido que el índice de horas de para a la semana disminuyan, esto permite que la producción no se detenga, si se realiza una comparación entre la primera semana de enero del 2023 y 2024 de la línea uno, se observa que la disminución es mayor al 50%, este indicador permite identificar la fiabilidad del proyecto.

Figura 87

Tiempo de para en los procesos de pesaje y empaque en las tres líneas



Capítulo VII. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se revisó e identificó el flujo del proceso y las maquinarias principales de las líneas de producción considerando que el principal problema es la comprobación del peso final, debido a que se realiza esta revisión por medio de un muestreo donde el personal de control de calidad pesa al producto por medio de una báscula extra, como parte de este proyecto se implementó la adquisición de datos directamente de la pesadora multicabezal por medio del protocolo Modbus TCP IP, la presentación de esta información se realizó en el Sistema Administrativo Ecofroz (SIA), en esta plataforma se puede observar cómo se comporta el proceso, las paradas y los motivos que causaron la detención del equipo.
- Se analizó los resultados obtenidos de la comparación del pesaje en las tres líneas de proceso y se puede concluir lo siguiente, en la línea 1 al extraer los pesos de forma manual en la presentación de 500 gr con una tolerancia de 10 gr para garantizar el peso adecuado, se obtuvo como desviación estándar 8.78 gr, a pesar de que el peso está acorde a los parámetros este valor no sería real en relación a los datos obtenidos con la extracción directa de la variable a través de la balanza multicabezal siendo la desviación estándar de 2.2 gr, esta información permite identificar cual es el peso que realmente el cliente está recibiendo y permite tomar decisiones respecto al control de calidad.
- Se evidenció que para pesos iguales o menores a 200 gr con una tolerancia de 5 gr para garantizar al cliente estándares de calidad, se obtuvo la desviación estándar es de 6.76 gr cuando la información es adquirida de manera manual, lo que supera el valor de tolerancia, es decir si estos datos tuvieran la confiabilidad necesaria se podría concluir que la empresa tiene pérdidas de producto, pero con la implementación para la

extracción directa de la variable se obtuvo una desviación estándar de 3,13 gr, lo que significa que el peso obtenido está en los parámetros establecidos.

- Se comparó los tiempos de para antes de la implementación de mejoras en las líneas de proceso de pesaje y empaque con relación a los datos obtenidos en los meses de enero del 2023, el tiempo acumulado en la primera semana fueron 9 horas para la línea 1, considerando que ahora tiene un mejor monitoreo de los motores de los equipos auxiliares gracias a las implementaciones, se consideró que en el mes de enero del 2024, este índice se redujo a 4 horas, lo que evidencia que el proceso ha mejorado y evita tiempos muertos que afectan directamente a la producción, este mismo patrón se repite en las tres líneas de proceso lo que evidencia la satisfacción del cliente.
- Se analizó el control del pesaje en la empacadora multicabezal pues está constituida por microcontroladores ubicados en cada tolva para la comunicación con la unidad de cálculo que tiene una codificación cerrada, por lo que no se puede realizar modificaciones en la programación ya sea total o parcial, pues afectaría a la maquinaria directamente y garantías, únicamente se realizó un análisis de los algoritmos que la máquina emplea, para identificar el comportamiento en las combinaciones para obtener el peso ideal y evitar desperdicios del producto.
- Se analizó el control PID que utiliza la empacadora multicabezal, debido a que los sensores principales son RTDs de 100 Ohms que se encuentran en las mordazas principal y secundaria para el sellado horizontal y en la platina para el sellado vertical se concluyó que la variación de la temperatura deseada con la medida no tiene el ajuste necesario por las compensaciones de las constantes, pero no se puede realizar modificaciones en el diseño o ingresar al particular del PLC debido a que tiene seguridades de ingreso pero para tener un monitoreo constante y evitar paras en el equipo es necesario realizar un monitoreo contante de estos sensores.

Recomendaciones

- Se recomienda mejorar los planes de mantenimiento y las frecuencias para que los equipos no tengan inconvenientes durante la producción
- Se recomienda que para las pesadoras multicabezales se debe tener repuestos en stock para la facilidad de cambio cuando los cabezales presenten fallas y realizar una calibración de las celdas de carga con una mayor frecuencia, por lo menos cada quince días
- Se recomienda buscar alternativas de sensores de temperatura que puedan reemplazar a las sondas RTD, debido a que tiene un desgaste continuo lo que ocasionalmente hace que difiera la temperatura deseada con la temperatura medida.

Bibliografía

- Automation, I. S. (2016). *ANSI/ISA-18.2-2016, Management of Alarm Systems for the Process Industries*. International Society of Automation: <https://www.isa.org/products/ansi-isa-18-2-2016-management-of-alarm-systems-for>
- Barrero, D. (15 de Septiembre de 2022). *Sistema SCADA de alto desempeño con proyección a la industria 4.0 a través del internet industrial de las cosas (IIOT) para la línea de embotellado número dos en la empresa ARCA CONTINENTAL Ecuador planta Santo Domingo*. Repositorio institucional Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE : <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/34021>
- Cloud. (6 de Enero de 2024). *Modelo de programación de Apache Beam*. Google Cloud: <https://cloud.google.com/dataflow/docs/concepts/beam-programming-model?hl=es-419>
- Corporation, G. (2023). *Mordazas para envasadoras verticales* . The Desing group: <https://greenercorp.com/es/soluciones/piezas-para-sellar/mordazas-de-sellado-para-sacadoras-verticales/>
- Esmeraldas, Y. (17 de Julio de 2019). *Diseño e implementación de un sistema automatizado para el proceso de pesaje y molienda d emateria prima en la producción de alimentos balanceados* . Repositorio Intitucional Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20829>
- Guzman, M. (26 de Octubre de 2023). *Influencia del Lean Manufacturing en la implementación de tecnologías de la industria 4.0 en un estudio de caso multiple en empresas manufactureras de Pichincha* . Repositorio Escuela Politécnica Nacional : <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20673>
- Ishida Co, L. (2015). *Manual de pesadora Multicabezal CCW-RE-2**W manual de intrucciones* . Kyoto : Sanno- Cho.

- Jurado, M., & Puma, L. (2006). *Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos a través de la Telefonía Móvil para Invernaderos de Rosas*. Repositorio Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/391>
- Marrone, L. (31 de Mayo de 2023). *Paradigma TCP/IP*. REpositorio Institucional de la UNLP: <https://doi.org/10.35537/10915/153750>
- National, & Instruments. (31 de Marzo de 2023). *Protocolo Modbus y su funcionamiento*. Emerson: Emerson
- Orellana, L., & Balladares, A. (Mayo de 2018). *Diseño e implementación de un sistema de control para el proceso de empaque de snacks en la planta de alimentos YUPI Ecuador utilizando autómatas programables*. Repositorio digital de la Universidad Politécnica Salesiana: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15839>
- Ponsa, P., & Ramon, V. (Octubre de 2005). *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*. Aula Politécnica : https://www.e-buc.com/portades/9788498800227_L33_23.pdf
- Rodriguez, A. (Mayo de 2012). *Sistemas SCADA, 3ra Edición* . Schneider Electric : [https://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/Sistemas%20SCADA%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](https://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/Sistemas%20SCADA%20(%20PDFDrive%20).pdf)
- System, B. F. (2021). *Manual de referencia del operador para movimiento continuo Sandriacre Veris* . Italia: Barry Wehmiller.
- Vinicio, S. (Octubre de 2010). *Diagnóstico del nivel de automatización en las pequeñas y medianas industrias de la ciudad de Cuenca*. ResearchGate: 10.17163/ings.n4.2010.05

Ynzunza, C., Izar, J., Bocarando, J., Pereyra, F., & Larios, M. (26 de Noviembre de 2017). *El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras*. Conciencia Tecnológica : <https://www.redalyc.org/journal/944/94454631006/html/>

Zapata, M., Topón, L., & Tipán, E. (20 de Junio de 2021). *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*. Repositorio Digital de la Universidad Indoamerica: <https://repositorio.uti.edu.ec//handle/123456789/2226>

Apéndice