

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño e implementación de un sistema automatizado de supervisión de los indicadores de producción en el área de extrusión de la planta

Plastigama - Wavin

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Automatización

Presentado por:

Pablo Andrés Arellano Jiménez

John Jairo Mocha Astudillo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a todos aquellos que han estado firmemente a mi lado durante esta etapa tan significativa de mi vida.

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza y la guía necesaria para culminar con éxito mi carrera universitaria.

A mis queridos padres y hermanos, quienes han sido mi constante fuente de inspiración y apoyo incondicional a lo largo de esta travesía académica. Agradezco profundamente el amor que me han brindado cada día; su aliento ha sido el motor que impulsó mi dedicación, y les estoy eternamente agradecido por ser mis pilares en esta trascendental etapa de mi vida.

A mí siempre amada Isabel, agradezco profundamente su inquebrantable apoyo y sus palabras de aliento cuando sentía que no podía continuar. Su presencia durante esta gran etapa ha sido invaluable.

Pablo Andrés Arellano Jiménez

DEDICATORIA

A Dios, quien me ha otorgado la fortaleza necesaria para completar este proyecto. Agradezco las bendiciones que, sin duda, me han guiado y permitido superar los desafíos, culminando así en este logro significativo.

A mis queridos padres, les dedico este trabajo en reconocimiento a su inquebrantable apoyo y amor. Su constante aliento y paciencia han sido la base de mi perseverancia. A mi familia y amigos, agradezco su apoyo incondicional; su influencia positiva ha sido mi mayor motivación a lo largo de este arduo proceso.

A mis colegas y mentores, cuyo conocimiento y orientación han sido fundamental en el desarrollo de esta tesis. Agradezco sinceramente por compartir sus experiencias y por ser una fuente constante de inspiración en mi trayecto académico

John Jairo Mocha Astudillo

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por su apoyo divino que ha sido fundamental en este momento tan significativo en mi vida.

A mi familia y amigos los cuales me brindaron su apoyo constante y motivación en mi formación académica.

A mi querida Isabel por estar presente cada día, por brindarme su amor y aliento para culminar esta etapa de mi vida.

A mi compañero y gran amigo John Mocha, por permitirme realizar este proyecto en conjunto.

A todos mis profesores quienes me brindaron su conocimiento el cual me permitió crecer de manera académica y profesional.

Al PhD. Ricardo Cajo, mi tutor, y al PhD. Efrén Herrera, profesor de materia integradora, por su compromiso y responsabilidad al guiarme con dedicación y sabiduría a lo largo de este proyecto.

Este logro no solo es mío, sino el resultado del apoyo invaluable de cada uno de ustedes.

Pablo Andrés Arellano Jiménez

AGRADECIMIENTOS

Con profundo agradecimiento, quiero expresar mi reconocimiento a Dios y a mi grandiosa familia, quienes han sido los pilares fundamentales de mi vida y han hecho todo lo posible para que pudiera alcanzar mis anhelos. Su inquebrantable motivación y constante apoyo han sido la fuerza impulsora que me ha guiado en este camino.

A mi colega y gran amigo, Pablo, deseo agradecerte sinceramente por tu dedicación y habilidades excepcionales. Tu participación no solo ha enriquecido la experiencia a lo largo de esta etapa, sino que también ha convertido cada desafío en una oportunidad gratificante.

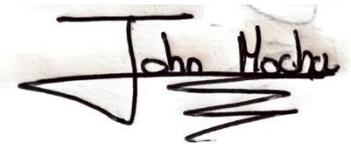
A la institución que ha sido mi hogar académico durante todos estos años, mi agradecimiento por la formación integral que me han brindado. Cada lección aprendida, cada desafío superado y cada logro alcanzado ha contribuido a mi crecimiento personal y profesional.

John Jairo Mocha Astudillo

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Pablo Andrés Arellano Jiménez y John Jairo Mocha Astudillo damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Pablo Andrés Arellano
Jiménez

A handwritten signature in black ink, appearing to read "John Mocha". The signature is stylized with a large, bold letter 'J' and a horizontal line extending to the right. Below the main signature, there are several horizontal, wavy lines that could be part of the signature or a decorative flourish.

John Jairo Mocha
Astudillo

EVALUADORES

PhD. Efrén Herrera

PROFESOR DE LA MATERIA

PhD. Ricardo Cajo

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el marco de este trabajo, el departamento de Extrusión en Plastigama-Wavin Durán, especializado en la fabricación de productos PVC como tuberías, conexiones y accesorios, busca elevar su productividad a través de la introducción de un sistema automatizado de indicadores OEE (Overall Equipment Effectiveness).

La solución propuesta aborda este objetivo mediante el diseño y prototipo de una red IIoT y un sistema de monitoreo automatizado. Durante la ejecución del proyecto, se emplearon dispositivos de programación como PLC Proxsys, interfaz hombre-máquina Delta y Raspberry Pi, utilizando protocolos de comunicación como Modbus TCP/IP y MQTT para facilitar la interacción y la transmisión de información entre los dispositivos. Además, se diseñaron interfaces para la visualización e ingreso de datos, y se desarrolló software para la gestión y almacenamiento eficiente de la información.

Los resultados preliminares de la fase piloto indican una significativa mejora en la facilidad de cálculo de los índices de producción, así como en su visualización y obtención de datos. Con base en estos hallazgos, se planea la eliminación del sistema anterior en favor de la implementación completa de esta propuesta, con el objetivo de mejorar los procesos de monitoreo de los índices de producción de manera continua.

Palabras Clave: MQTT, IIoT, OEE, Mejora Continua

ABSTRACT

Within the framework of this work, the Extrusion department at Plastigama-Wavin Durán, specialized in the manufacture of PVC products such as pipes, connections, and accessories, seeks to increase its productivity through the introduction of an automated system of OEE indicators.

The proposed solution addresses this goal by designing and prototype an IIoT network and automated monitoring system. During the execution of the project, programming devices such as Proxsys PLC, Delta man-machine interface and Raspberry Pi were used, using communication protocols such as Modbus TCP/IP and MQTT to facilitate the interaction and transmission of information between devices. In addition, interfaces for visualization and data entry were designed, and software for efficient information management and storage was developed.

Preliminary results of the pilot phase indicate a significant improvement in the ease of calculation of production indices, as well as in their visualization and data collection. Based on these findings, the elimination of the previous system is planned in favor of the full implementation of this proposal, with the aim of continuously improving the monitoring processes of production rates.

Keywords: *MQTT, IIoT, OEE, Continuously Improving*

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	I
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
EVALUADORES.....	VI
RESUMEN.....	VII
<i>ABSTRACT</i>	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 Internet de las Cosas (IIoT).....	4
1.4.2 Controladores Lógicos Programables (PLC).....	5
1.4.3 Microprocesadores.....	5
1.4.4 Interfaz Hombre-Maquina.....	6
1.4.5 Protocolos de comunicación.....	7
1.4.6 Lenguajes y entornos de programación.....	8
1.4.7 Base de Datos.....	9
1.4.8 Sensores y Actuadores.....	9
1.4.9 Indicadores de producción OEE y OEU.....	10

1.4.10	Proceso de fabricación de plásticos por extrusión	12
CAPÍTULO 2		14
2.	Metodología	14
2.1	Diagrama de bloques	14
2.2	Planificación secuencial y visual de las etapas del proyecto.....	15
2.2.1	Creación de base de datos del sistema y bróker	15
2.2.2	Línea de extrusión y adquisición de señales.....	16
2.2.3	Procesamiento de señales y cálculos de los índices de desempeño	17
2.2.4	Cálculos de índices de producción y visualización de información.....	18
2.3	Selección de equipos y tablero.....	21
2.4	Protocolos de Comunicación y lenguajes de programación	23
2.4.1	Protocolo Modbus TCP/IP	23
2.4.2	Protocolo MQTT.....	23
2.4.3	Lenguaje de programación C++	24
2.4.4	Lenguaje de programación Python.....	24
2.4.5	Lenguaje Ladder	25
2.5	Planificación secuencial y visual de las etapas del proyecto.....	25
2.5.1	Descripción programación Proxsys	26
2.5.2	Descripción interfaz Hombre-Maquina	27
2.5.3	Descripción Raspberry Pi 4	28
CAPÍTULO 3		30
3.	Resultados Y ANÁLISIS	30
3.1	Análisis de los datos obtenidos a través del protocolo MQTT	30
3.1.1	Eficacia del PROXSYS y Raspberry Pi 4	30
3.1.2	Eficiencia de la red.....	31
3.1.3	Eficiencia de los protocolos	32

3.2	Evaluación de interfaces graficas.....	33
3.2.1	Descripción de la interfaz de ingreso de datos.....	33
3.2.2	Descripción de la interfaz de visualización de información	35
3.2.3	Pruebas piloto	36
3.3	Comparación de los datos obtenidos del sistema empleado y el sistema anterior.....	38
3.3.1	Sistema anterior.....	38
3.3.2	Sistema actual.....	39
3.4	Ventajas y desventajas del sistema empleado	40
CAPÍTULO 4		42
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	42
	Conclusiones	42
	Recomendaciones	43
BIBLIOGRAFÍA		44
APÉNDICE.....		46

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OEU	Overall Equipment Utilization
IoT	Internet Of Things
IIoT	Industrial Internet of Things
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
QoS	Quality of Service
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
SQL	Structured Query Language
HMI	Human-Machine Interface
POO	Programación Orientada a Objetos
PLC	Programmable Logic Controller
PVC	Policloruro de Vinilo
PE	Polietileno
VNC	Virtual Network Computing
USB	Universal Serial Bus
CPU	Central Processing Unit
LCD	Liquid-crystal display
IDE	Integrated Development Environment

SIMBOLOGÍA

Kg	Kilogramos
V	Voltios
A	Amperios
h	Horas
m	Minutos
ms	Milisegundos
Mb	Megabits
MB	Megabytes
GB	Gigabytes
\$	Memoria volátil
\$M	Memoria no volátil
pix	Pixeles
"	Pulgadas
°C	Grado Celsius

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Tecnologías IIoT	4
Figura 2: Arquitectura protocolo MQTT	8
Figura 3: Proceso de fabricación de tuberías por extrusión.....	12
Figura 4: Diagrama sistema automatizado de supervisión	14
Figura 5: Diagrama de bloques del sistema	15
Figura 6: Interfaz gráfica del ingreso de datos	17
Figura 7: Interfaz ANDON.....	20
Figura 8: Tablero implementado en líneas de extrusión	23
Figura 9: Arquitectura SMART.....	25
Figura 10: Diagrama de flujo programación Proxsys	26
Figura 11: Diagrama de flujo programación HMI Delta	27
Figura 12: Interfaz de ingreso de datos	33
Figura 13: Interfaz de visualización de datos	35
Figura 14: Pantalla prueba ingreso de datos.....	36
Figura 15: Pantalla prueba visualización de datos	37
Figura 16: Sistema anterior de cálculo de índices de producción.....	38
Figura 17: Indicadores del sistema empleado.....	39
Figura 18: Programación HMI Delta	46
Figura 19: Pantalla principal HMI Delta	46
Figura 20: Pantalla calibración HMI Delta	47
Figura 21: Pantalla proceso HMI Delta.....	47
Figura 22: Programación PLC Proxsys	47
Figura 23: Prototipo Sistema de pesaje	47
Figura 24: Programación Raspberry OEE Extrusión.....	47
Figura 25: Programación raspberry ingreso de datos OEE	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación del OEE	11
Tabla 2: Equipos utilizados.....	21

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La globalización desempeña un papel crucial en atraer a los consumidores modernos, ya que elimina barreras y da paso a nuevas categorías de mercado. Este fenómeno genera oportunidades para las empresas actuales al ofrecer mayores posibilidades de crecimiento y aumentar sus beneficios. Como resultado, se vuelve imprescindible que las empresas se enfoquen en satisfacer y retener a los clientes para garantizar su supervivencia a largo plazo. En este sentido, las estrategias corporativas orientan a las compañías a concentrarse en sus metas principales para lograr una eficiencia operativa óptima, fomentar la competitividad y mejorar sus niveles de producción.

Por ende, el propósito de este proyecto es aumentar la productividad a través de la optimización de un sistema automatizado de indicadores de Eficiencia General de Equipos (OEE). Las empresas actualmente usan el OEE para conocer la eficiencia operativa de los equipos, dicha herramienta fue creada por Nakajima, posibilita la evaluación integral del rendimiento de la maquinaria de un proceso de producción. Toma en cuenta tres variables importantes que son: rendimiento, disponibilidad y calidad. Es imperativo que las industrias tengan un alto porcentaje de OEE para garantizar que sus equipos funcionen de manera efectiva.

En el área de Extrusión de la empresa Plastigama – Wavin, se realiza un seguimiento manual de estos indicadores. Diariamente se espera que los operadores ingresen datos que se calculan en función de los ciclos teóricos de las máquinas, lo cual implica una evaluación teórica de los indicadores. Debido a que este procedimiento es completamente manual, impide acceder a los índices diarios que podrían ser útiles para mejorar variables claves como el rendimiento, disponibilidad y calidad de toda la planta de Extrusión, que consta de 17 máquinas. En su lugar, debemos esperar hasta dos días para conocer el progreso de días anteriores.

El monitoreo de estas variables se puede mejorar desarrollando un sistema inteligente que permita obtener datos en tiempo real de cada máquina tales como encendido y apagado, peso del material elaborado, total de horas trabajadas y de mantenimiento, entre otros datos relevantes. Con esta información podemos calcular los índices de producción reales de cada línea de extrusión.

1.1 Descripción del problema

La empresa manufacturera del presente estudio opera en Ecuador en la provincia del Guayas perteneciente al cantón Durán; dedicándose al rubro de la fabricación de productos PVC que incluyen tuberías, conexiones, accesorios y otros componentes para sistema de tuberías. En la actualidad, la empresa dispone de diversas líneas de producción que incorporan los procesos relacionados con productos de PVC, en el área de producción se realiza varias etapas de compuesto, extrusora, cabezal, tina de enfriamiento, impresora, sierra, etc. En este contexto, la falta de un sistema de monitoreo en una industria puede dar lugar a una serie de problemáticas y desafíos como: la falta de visibilidad y control, ineficiencias operativas, riesgos de fallas y accidentes, calidad del producto comprometida y mayor consumo de recursos. En la mayoría de las empresas manufactureras, la medición de la Eficiencia Global del Equipo (OEE) y la Utilización General del Equipo (OEU), se utiliza ampliamente para analizar el porcentaje de productividad de la máquina. Estos índices han sido una estrategia clave crucial para maximizar el tiempo de producción y minimizar el tiempo de inactividad de la máquina. El procedimiento actual se ejecuta de manera completamente manual, lo cual presenta limitaciones para acceder a índices diarios esenciales. Estos índices son fundamentales para mejorar aspectos clave como el rendimiento, disponibilidad y calidad en nuestras operaciones. La ausencia de acceso a estos datos impide una evaluación exhaustiva y oportuna de nuestro desempeño, lo que a su vez dificulta la identificación de áreas de mejora y la implementación de acciones correctivas necesarias para optimizar nuestro rendimiento, aumentar la disponibilidad y garantizar altos estándares de calidad. La finalidad de este proyecto consiste en crear un sistema de monitoreo para los indicadores de producción OEE y OEU. usando una red IIoT para evaluar el rendimiento efectivo de sus equipos. Nuestro producto final incluye la implementación de interfaces gráficas para visualizar estos indicadores tanto dentro de la planta como en las oficinas administrativas. La totalidad de la información recopilada se almacenará en la base de datos de un servidor, lo que permitirá llevar a cabo análisis más detallados para identificar patrones o novedades susceptibles de corrección o mejora. Esto, a su vez, contribuirá a aumentar la eficiencia y los beneficios en la planta de extrusión.

1.2 Justificación del problema

La implementación de redes IIoT ofrece una ventaja clave al permitir la recolección y procesamiento de grandes volúmenes de datos de producción en tiempo real. Esto, a su vez, facilita la toma de decisiones de manera eficiente destinadas a optimizar el rendimiento. En el contexto específico de la extrusión de plástico, el uso de una red IIoT para adquirir datos y calcular los índices de producción OEE y OEU brinda a Plastigama – Wavin la capacidad de monitorizar en tiempo real la operación de la planta de extrusión. Con esta información podríamos obtener mejoras en los tiempos de mantenimiento, reducción de costos y aumento de la productividad, entre otros. Además, este trabajo de tesis y su evolución servirán como un ejemplo guía para empresas dedicadas a la producción de PVC que estén explorando opciones para mejorar la productividad y adoptar sistemas automatizados de indicadores de producción. En resumen, la implementación una red IIoT posibilita la automatización del área de extrusión de Plastigama – Wavin al permitir una comunicación en tiempo real entre sensores y actuadores, lo que a su vez habilita el cálculo de los índices de producción y la realización de mejoras significativas en la industria.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema de monitoreo para los índices de producción OEE y evaluar el rendimiento efectivo de sus equipos, a través de controladores lógicos programables y microprocesadores.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar la red IIoT estableciendo el protocolo MQTT como comunicación principal para el uso de microprocesadores raspberry.
2. Realizar la programación de los diferentes controladores para la recepción de datos, envío de datos, cálculos de los índices de producción y visualización de información.
3. Elaborar interfaces gráficas programadas en Python y C++ con el fin de presentar de manera visual los datos relacionados a los indicadores de producción.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Internet de las Cosas (IIoT)

Si bien, aunque el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) está relacionado con el Internet de las Cosas (IoT), la distinción fundamental radica en que el IIoT se centra en la interconexión de maquinaria y dispositivos en sectores industriales como manufactura, atención médica y logística. En contraste, el término IoT es comúnmente utilizado para hacer referencia a dispositivos de consumo, como Fitbits, así como a una amplia gama de productos para el hogar inteligente, incluyendo refrigeradores, timbres de video, sistemas de iluminación, termostatos y alarmas (Gastreich, 2020).

Un sistema típico de Internet Industrial de las Cosas (IIoT) consta de varios componentes fundamentales: equipos inteligentes que recopilan, almacenan y transmiten datos; redes de comunicación, ya sean públicas o privadas, que sirven como infraestructura para la transmisión de información; aplicaciones analíticas y herramientas de monitoreo. El IIoT tiene el poder de agilizar y automatizar procesos, lo que conlleva a un aumento notable en la productividad empresarial. Esto se traduce en una mejora significativa de la eficiencia operativa, una reducción de los costos de operación y un incremento en la generación de ingresos. Asimismo, los niveles superiores de automatización contribuyen a una mayor calidad del producto, y cuando se combinan con operaciones eficientes, facilitan la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo.

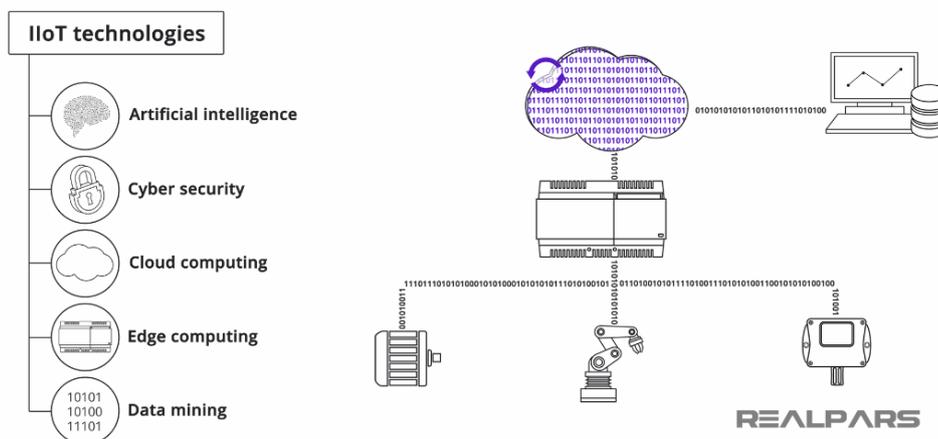


Figura 1: Tecnologías IIoT (RealPars, 2023)

1.4.2 Controladores Lógicos Programables (PLC)

“Los controladores Lógicos Programables, o PLC's, son dispositivos electrónicos usados ampliamente en la automatización industrial. Un PLC controla la lógica de operación de maquinarias, instalaciones y procedimientos industriales, gestionan señales digitales y analógicas, además de ser capaces de implementar estrategias de control” (Logicbus, 2023).

Los PLC's destacan por su gran versatilidad y se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones industriales, abarcando desde la gestión de líneas de producción en fábricas hasta el control de tráfico y equipos de automatización en plantas de energía. El uso de PLC's ofrece ventajas como la flexibilidad en la reprogramación, la capacidad de monitorear y diagnosticar el estado del sistema en tiempo real, y la integración con otros sistemas de control y equipos en la planta.

PLC Proxsys CP-WS13/4DO4DIXAI ETH

Proxsys se dedica a la creación, ensamblaje y aplicación de controladores lógicos programable en diversos sectores del mercado. Todos los modelos son compatibles con el protocolo de comunicación MODBUS y pueden operar como esclavos en la red. (Proxsys, s.f.)

El controlador CP-WS13/4DO4DIXAI fue desarrollado para cumplir con los requisitos de pequeñas aplicaciones de control industrial en las que involucra entradas y salidas digitales, entradas analógicas para medición/control de temperatura a través de termopar tipo J, célula de carga, PT100, DS18B20, 0-5Vcc/4-20mA. Posee interfaces RS-232, RS485, Ethernet TCP/IP y Wi-Fi.

1.4.3 Microprocesadores

Los microcontroladores son dispositivos electrónicos altamente integrados que combinan un procesador central (CPU), memoria, periféricos de entrada/salida y a menudo interfaces de comunicación en un solo chip. Están diseñados específicamente para controlar tareas específicas en sistemas embebidos, donde la eficiencia en el espacio y el consumo de energía son críticos. A diferencia de los microprocesadores que son unidades de procesamiento central (CPU, por sus siglas en inglés) que forman el núcleo

de una computadora o dispositivo electrónico. Son circuitos integrados complejos que ejecutan instrucciones y realizan operaciones en datos para llevar a cabo tareas específicas.

Raspberry Pi 4

La Raspberry Pi 4 es una computadora de dimensiones reducidas y costo asequible, aproximado al tamaño de una tarjeta de crédito. Puede conectarse a un monitor de computadora o televisor, y se utiliza con periféricos estándar como mouse y teclado. Funciona con un sistema operativo Linux que brinda la oportunidad a personas de todas las edades de explorar la informática y aprender a programar en lenguajes como Scratch y Python. A pesar de su tamaño, esta pequeña computadora puede realizar la mayoría de las tareas comunes de un ordenador de escritorio, incluyendo la navegación por internet, reproducción de videos en alta resolución, manipulación de documentos de ofimática, y ejecución de juegos. (Raspberry Pi, 2012).

Raspberry Pi pueden ser una solución valiosa en ciertos escenarios industriales, no son adecuadas para todas las aplicaciones. En entornos más exigentes o críticos, es posible que se requiera hardware industrial más robusto y confiable. Además, es importante contar con medidas adecuadas de seguridad y redundancia para garantizar el funcionamiento seguro y confiable de los sistemas industriales.

1.4.4 Interfaz Hombre-Maquina

HMI son las siglas de Human-Machine Interface, y se refiere al enlace entre el proceso y los operadores; es el panel de instrumentos del operario. Esta herramienta se usa principalmente para mostrar datos en tiempo real y permiten al usuario supervisar y dirigir los procesos industriales y de fabricación (COPADATA, s.f.). Su función principal es transformar variables de procesos complejos en información práctica y procesable.

Delta HMI DOP-110WS

La pantalla HMI modelo DOP-110WS de la marca Delta Electronics de la familia DOP-100 Series cuenta con un display de 10.1" LCD a 65536 colores y una resolución de 1024x600 pix. Memoria Flash 256Mb, RAM 512MB, puerto ethernet, USB y 2 puertos de comunicación serial RS232 y RS485 (Delta Electronics, 2024).

1.4.5 Protocolos de comunicación

Un protocolo de comunicación se define como un conjunto de normas que permite la interacción de dos o más entidades dentro de un sistema de comunicación. Los protocolos de red incorporan métodos para que los dispositivos se reconozcan y creen enlaces entre sí, además de normas de presentación que detallan la estructura de los paquetes y la información contenida en los mensajes que son enviados y recibidos.

Protocolo Modbus TCP/IP

Modbus es un protocolo de comunicación de código abierto utilizado para la transmisión de datos entre diferentes dispositivos a través de redes en serie. El término "maestro" se refiere al dispositivo que inicia la solicitud de información, mientras que los dispositivos que proporcionan la información son llamados "esclavos". (Aula 21, 2023).

Cabe destacar que los dispositivos esclavos no proporcionan información de manera autónoma, debe esperar a que se realice la petición correspondiente. El maestro, se encarga de leer y/o escribir datos en los registros/bobinas de los esclavos.

Dentro de una red Modbus, se encuentra un maestro y puede haber hasta 247 esclavos, donde cada esclavo tiene una dirección única asignada en el rango de 1 a 247.

Modbus TCP/IP se introdujo para aprovechar las infraestructuras LAN actuales, por lo que cada dispositivo está identificado por una dirección IP única y un número de puerto. Por lo que teóricamente podemos obtener un número grande de dispositivos dentro de nuestra red Modbus TCP/IP, limitado por el espacio de direcciones IP disponibles en la red.

Protocolo MQTT

"MQTT es una abreviatura de MQ Telemetry Transport, aunque inicialmente se identificaba como Message Queuing Telemetry Transport. Este protocolo de comunicación máquina a máquina pertenece a la categoría de message queue." (Llamas, 2019)

MQTT opera como un sistema de mensajería de tipo publicador/suscriptor a través de TCP/IP.

Para organizar los mensajes que son enviados a cada cliente se dispone de tópicos organizados jerárquicamente, por tanto, un cliente puede publicar un mensaje en un

tópico determinado, dicho mensaje es recibido por el broker MQTT, el cual se encarga de replicar el mensaje hacia los suscritores a este tópico.

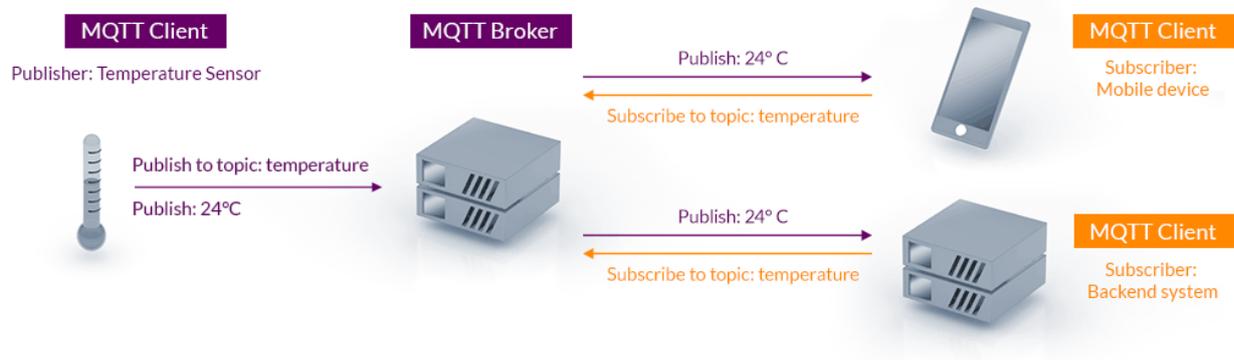


Figura 2: Arquitectura protocolo MQTT (MQTT, 2022)

1.4.6 Lenguajes y entornos de programación

Qt Creator

Qt Creator, es un entorno de desarrollo integrado (IDE) multiplataforma diseñado para optimizar la eficiencia del desarrollador. Qt es compatible con asistentes de codificación como GitHub Copilot durante el proceso de programación, facilitando a los desarrolladores la creación de software destinado a plataformas integradas, móviles y de escritorio (Qt Group, 2024).

Programación en Python

Python es un lenguaje de programación utilizado para la programación de Raspberry Pi debido a sus características y beneficios. Al utilizar Python, los programadores pueden acceder a una gran biblioteca de módulos y herramientas de software de código abierto para ayudar a desarrollar proyectos en Raspberry Pi.

Programación en Ladder

La programación Ladder, o diagrama en escalera, es un lenguaje de programación gráfico conocido en los controladores lógicos programables basados en esquemas eléctricos de control clásicos. Por lo que cualquier ingeniero o técnico eléctrico/electrónico puede adaptarse a este tipo de programación.

La energía fluye de izquierda a derecha en lugar de arriba hacia abajo como comúnmente se conoce. En un circuito típico los contactos se encuentran en la parte izquierda y finalizan con una bobina del lado derecho. La lógica de programación puede inferirse como la lógica de los contactos y como concluyente la bobina

1.4.7 Base de Datos

MariaDB

MariaDB Server se destaca como una de las bases de datos relacionales de código abierto más prominentes, siendo desarrollada por el equipo de MySQL. Ampliamente integrada en entornos en la nube y establecida como la opción predeterminada en numerosas distribuciones de Linux. MariaDB se basa en los principios de rendimiento, estabilidad y transparencia.

1.4.8 Sensores y Actuadores

Célula de Carga

Un transductor de fuerza, conocido como celda de carga, es un dispositivo electromecánico empleado para la medición de fuerza o peso. Su estructura se fundamenta en la interacción entre la fuerza aplicada, la deformación del material y el flujo eléctrico.

Cuando se le aplica fuerza al cuerpo de la celda de carga, este se flexiona levemente bajo la tensión, dicha deformación es sutil y por tanto no visible por lo que para medir esta deformación las galgas extensiométricas se unen de manera fija al cuerpo de la celda de carga en puntos específicos, lo que permite una deformación uniforme. Este movimiento altera la resistencia eléctrica de las galgas en proporción a la deformación provocada por la carga aplicada y a través de componentes electrónicos para el acondicionamiento de señales, se puede medir la resistencia eléctrica de las galgas y así obtener la señal resultante en peso o fuerza (Flintec, 2024) .

Sensor óptico

Un sensor óptico, también conocido como fotoeléctrico, tiene la capacidad de identificar la presencia de un objeto a cierta distancia mediante la variación en la intensidad de la

luz. Estos dispositivos se fundamentan en la cantidad de luz detectada o reflectividad de los objetos por lo que es posible la detección de varios materiales.

Válvula solenoide

Conocida también como válvula de operación eléctrica, utiliza la fuerza electromagnética como medio de funcionamiento. Al pasar corriente eléctrica a través de la bobina, se genera un campo magnético que posibilita el movimiento de la varilla de metal. Permanecen en la posición accionada mientras la bobina se encuentre energizada, caso contrario vuelve a su posición inicial.

1.4.9 Indicadores de producción OEE y OEU

“El OEE, acrónimo de Eficiencia Global de Equipamiento (Overall Equipment Effectiveness), es un indicador empleado para evaluar la eficiencia de los equipos en una industria, siendo uno de los principales índices en el análisis de la productividad industrial.” (Kreutzfeld, 2020). Se puede calcular mediante la expresión (1):

$$OEE = Disponibilidad \times Desempeño \times Calidad \quad (1)$$

Disponibilidad

La proporción de tiempo durante el cual la máquina estuvo preparada para operar o producir en comparación con el tiempo de producción planificado, es decir, mide el tiempo verdaderamente productivo. Se puede calcular mediante la expresión (2):

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ produciendo}{Tiempo\ programado\ para\ producir} \times 100 \quad (2)$$

Desempeño

Indica la eficiente utilización de la capacidad de la máquina durante el período de funcionamiento. Las reducciones en el rendimiento suelen ser causadas por breves interrupciones o fluctuaciones de velocidad, que se sitúan por debajo de la capacidad nominal de la máquina. Se puede calcular mediante la expresión (3):

$$Desempeño = \frac{Cantidad\ de\ producción\ real}{Cantidad\ de\ producción\ teórica} \times 100 \quad (3)$$

Calidad

Se refiere a la cantidad de unidades fabricadas que cumplen con los estándares de calidad establecidos en relación con la producción total, ya sean productos de calidad aceptable o defectuosa. Las unidades producidas pueden clasificarse como de calidad aceptable, de segunda calidad o defectuosas. El OEE solo tiene en cuenta las unidades de calidad aceptable producidas inicialmente, excluyendo las de segunda calidad; por lo tanto, estas últimas se consideran como unidades defectuosas. La calidad se calcula dividiendo el número de unidades de calidad aceptable producidas entre el total de unidades producidas, incluyendo las reprocesadas y desechadas. Se puede calcular mediante la expresión (4):

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Cantidad de productos buenos}}{\text{Cantidad total producida}} \times 100 \quad (4)$$

Por otro lado, el OEU mide la productividad del equipo (Nurul Huda & Embong, 2021). Se calcula mediante la expresión (5):

$$\text{OEU} = \frac{\text{Tiempo de carga} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Tiempo de carga}} \quad (5)$$

La Disponibilidad, el Rendimiento y la Calidad son medidas que varían en un rango de 0 a 1; por ende, el OEE también se sitúa en el intervalo $[0, 1]$, aunque comúnmente se expresa en porcentaje. El valor resultante del OEE tiene una connotación específica y representa una evaluación para la maquinaria, facilitando la clasificación de una o más líneas de producción, o incluso de toda una planta, en comparación con las que son consideradas las mejores en su categoría y que han alcanzado un nivel de excelencia. En general, este indicador se clasifica en cinco rangos detallados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 1: Clasificación del OEE

OEE	Valoración	Descripción
$OEE < 65\%$	Deficiente (Inaceptable)	Se generan considerables pérdidas económicas y la competitividad es muy limitada.

$65\% \leq OEE < 75\%$	Regular	Considerado aceptable únicamente si se encuentra en un proceso de mejora, esta situación conlleva a pérdidas económicas y una competitividad reducida.
$75\% \leq OEE < 85\%$	Aceptable	Es necesario seguir mejorando para lograr una evaluación positiva. Se registran pérdidas económicas moderadas y la competitividad presenta una ligera disminución.
$85\% \leq OEE < 95\%$	Buena	Alcanza niveles de excelencia reconocidos a nivel mundial. Exhibe una competitividad destacada.
$95\% \leq OEE < 100\%$	Excelente	Se sitúa en los estándares de excelencia a nivel mundial y exhibe una competitividad elevada.

1.4.10 Proceso de fabricación de plásticos por extrusión

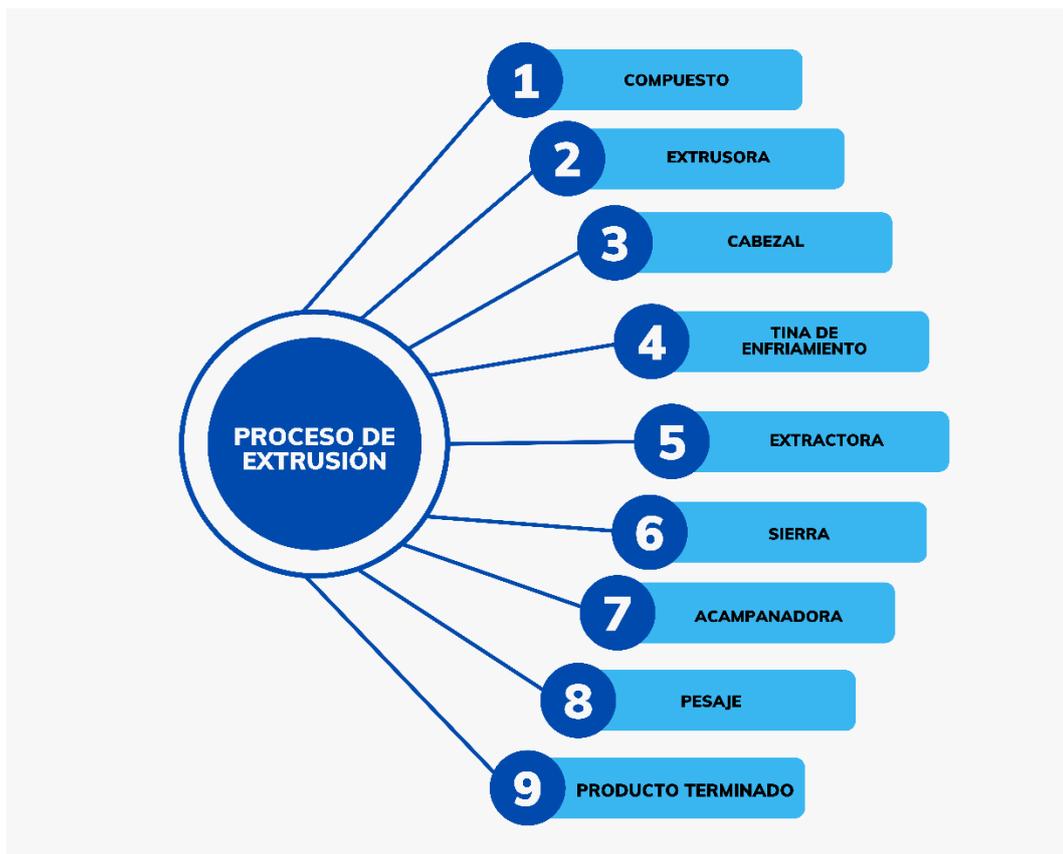


Figura 3: Proceso de fabricación de tuberías por extrusión

La fabricación de plásticos mediante extrusión es un método ampliamente utilizado en la industria para la producción de tubos de plásticos con dimensiones estandarizadas.

Cada línea de extrusión puede variar en cuanto a sus etapas, y no todas las líneas de extrusión poseen todos los procesos disponibles. En este contexto, la implementación del sistema de pesaje forma parte integral del alcance de este proyecto. A continuación, se describen detalladamente las etapas comunes que se encuentran en cada línea de extrusión:

1. **Compuesto:** Es la encargada de recibir el material, almacenándolo adecuadamente en condiciones controladas para mantener su calidad antes de su uso en el proceso de extrusión. La etapa inicial es crítica para el éxito de las etapas posteriores en el proceso de extrusión del PVC. Cualquier variación en la composición o calidad del compuesto puede afectar significativamente las características finales del producto extruido, como la resistencia, durabilidad, color y otras propiedades físicas.
2. **Extrusora:** Es la encargada de calentar el material a 180°C para poder moldearlo y darle la forma correspondiente.
3. **Cabezal:** Proceso para dar forma al material fundido y extruirlo en la forma deseada, determina la forma, tamaño y calidad del producto extruido de PVC.
4. **Tina de enfriamiento:** Como el material se encuentra a una temperatura elevada se lo coloca en la tina de enfriamiento para que llegue a una temperatura ambiente.
5. **Extractor:** A medida que se va formando el tubo se tiene una jaladora que permite sacar el tubo de la máquina con la fuerza necesaria para no dañarlo.
6. **Sierra:** Encargada de cortar el tubo a 3 o 6 metros dependiendo de la línea de extrusión.
7. **Acampanadora:** Calienta en un extremo el tubo para darle una forma de campana, esta modificación permite que el tubo pueda unirse a otro sin problemas.
8. **Pesaje:** Sistema para medir y registrar el peso del material extruido de manera precisa y constante. El objetivo principal de esta etapa es monitorear y controlar la cantidad de material de que se está produciendo, lo que resulta fundamental para garantizar la consistencia en la calidad del producto final.
9. **Amarradora:** Cuenta 10 tubos generados por ciclo, para juntarlos y encintarlos para que el operador los lleve a la bodega correspondiente

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se explicará la arquitectura IIoT que consta de componentes tanto hardware como software para capturar, analizar y presentar datos relevantes relacionados con el rendimiento de los equipos industriales y la eficiencia de la producción.

2.1 Diagrama de bloques



Figura 4: Diagrama sistema automatizado de supervisión

En la Figura 4 se detalla las etapas del sistema automatizado desarrollado en el proyecto integrador. Este documento explora en detalle las fases clave que se siguieron durante la ejecución de dicho proyecto.

2.2 Planificación secuencial y visual de las etapas del proyecto

La Figura 5 representa las fases del proyecto para la arquitectura IIoT y los cálculos de los índices de producción OEE y OEU. Cada etapa en este proceso desempeña un papel fundamental para el funcionamiento completo y efectivo del sistema. Las diferentes etapas son:

1. Creación de base de datos del sistema y bróker
2. Línea de extrusión y adquisición de datos
3. Procesamiento de señales
4. Ingreso de datos de la línea Extrusora
5. Cálculos de los índices de desempeño y visualización de información

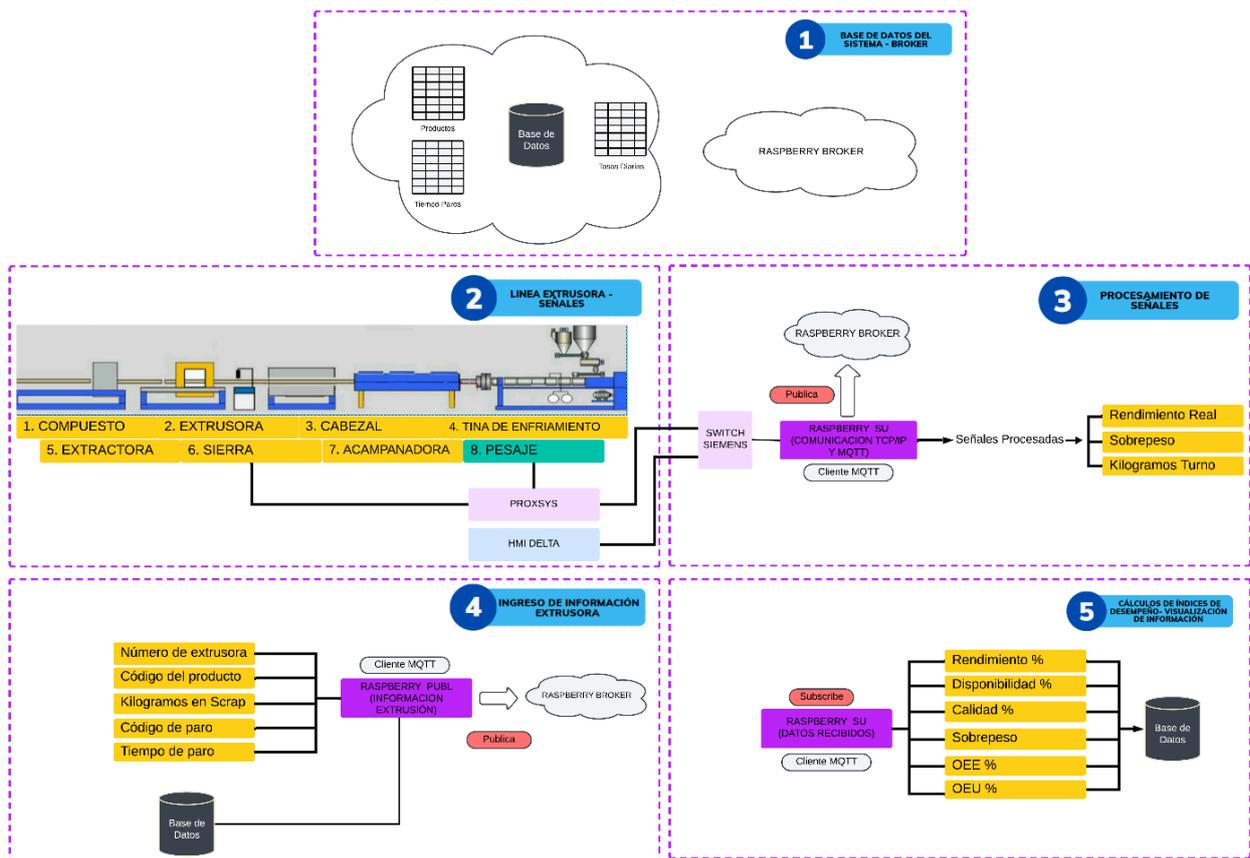


Figura 5: Diagrama de bloques del sistema

2.2.1 Creación de base de datos del sistema y bróker

En la primera etapa se realizó la creación de la base de datos MariaDB y el bróker MQTT. Entre las bases de datos más populares esta MySQL cuenta con 2 tipos de

licenciamiento: licencia publica general y licencia comercial, es considerada la base de datos de código abierto más popular del mundo, que cuenta con un sistema de gestión de bases de datos llamado MariaDB. Se usa la raspberry pi para crear la base de datos MySQL, en la cual se crearon 3 Tablas: primera tabla para ingresar los códigos de cada producto que se elabora en cada línea de extrusión con su respectivo rendimiento teórico, segunda tabla para almacenar las tasas diarias de producción (Rendimiento, Disponibilidad, Calidad, Sobrepeso, OEE, OEU) y por último una tabla para ingresar los tiempos de paros en cada turno.

Además, se implementó el Mosquitto Broker instalado en una raspberry Pi considerado las siguientes razones: bajo consumo de recursos, escalabilidad, fácil configuración y administración y compatibilidad con dispositivos. El bróker MQTT es un intermediario en la comunicación entre dispositivos para enviar y recibir mensajes.

2.2.2 Línea de extrusión y adquisición de señales

Durante la segunda fase, se establecen las conexiones necesarias para adquirir las señales procedentes de la extrusora y se procede a la programación de cada controlador. En el sistema Proxsys, se utiliza el lenguaje Ladder para llevar a cabo la programación, abarcando tareas como la calibración del peso, el conteo de tubos, la gestión de los tiempos de corte y la medición del peso de cada tubo. Este proceso genera datos esenciales, tales como el número de tubos, los intervalos entre cortes y el peso respectivo de cada tubo.

En paralelo, en la interfaz de usuario HMI Delta, se efectúa la visualización de datos y operaciones relacionadas con el rendimiento, el sobrepeso y los kilogramos producidos por turno. Desde este punto, se envían datos pertinentes, como el rendimiento real, el sobrepeso y la cantidad de kilogramos producidos por turno.

La lectura de datos se realiza por medio del protocolo de comunicación entre el PLC Proxsys, HMI DELTA y raspberry Pi conectados con un switch para interconectar los múltiples dispositivos. Todos estos dispositivos están dentro del tablero SMART colocado en cada línea de extrusión.

2.2.3 Procesamiento de señales y cálculos de los índices de desempeño

En la tercera etapa, se utiliza una raspberry Pi para el procesamiento de señales, es decir, a través del protocolo Modbus TCP/IP obtiene los datos como el sobrepeso, el rendimiento real y los kilogramos que se realiza por cada turno. Estos valores por medio del protocolo MQTT se envían por medio de mensaje con su respectivo tópico al bróker de extrusión.

The screenshot displays the 'INGRESO DE DATOS OEE EXTRUSION' web interface. It is organized into three main functional areas:

- PRODUCCION POR MAQUINA:** This section allows the user to select a machine (e.g., XT-12A NOVALOC) and enter a product code (926548). Upon clicking 'CONSULTAR', it displays performance metrics: RPM MAX (1154), REND. (KG/H) (184), REND. (UNI/H) (135.29), and PESO (KG) (1.36). An 'ENVIAR' button is also present.
- PAROS POR MAQUINA:** This section allows the user to select a machine (e.g., XT-36 PVC (PELLETIZADORA)), enter a stop code (1001), and specify the stop duration in hours (2) and minutes (15). After clicking 'CONSULTAR', it shows the cause ('Energía Eléctrica') and type ('Otros'). An 'ENVIAR' button is also present.
- SCRAP POR MAQUINA:** This section allows the user to select a machine (e.g., XT-40 NOVAFORT) and enter the scrap weight in kilograms (5.7). An 'ENVIAR' button is also present.

A status message at the bottom left of the interface reads: 'Codigo enviado correctamente'.

Figura 6: Interfaz gráfica del ingreso de datos

En la interfaz correspondiente se presentan tres procesos distintos:

- **Producción por Máquina:** El operador elige la extrusora específica, ingresa el código del producto y realiza una consulta en la base de datos. Si el código se encuentra en la base de datos, toda la información asociada se muestra en la parte derecha de la pantalla. Esta información se envía por MQTT a la Raspberry encargada de realizar las operaciones correspondientes.
- **Paros por Máquina:** El operador selecciona la extrusora, introduce el código de paro y consulta la base de datos. Si el código existe en la base de datos, se refleja toda la información en la parte derecha de la pantalla. Luego, se ingresa el tiempo de paro, y esta información se envía por MQTT.

- **SCRAP por Máquina:** El operador elige la línea deseada e ingresa la cantidad de scrap en kilogramos. Al pulsar el botón de envío, la información se transmite por MQTT, facilitando el registro y seguimiento del scrap para esa máquina específica.

2.2.4 Cálculos de índices de producción y visualización de información

En la fase final del proceso, se emplea la Raspberry Pi para llevar a cabo las operaciones destinadas al cálculo de índices de desempeño, tales como Rendimiento, Calidad, Disponibilidad, OEE (Overall Equipment Efficiency) y OEU (Overall Equipment Utilization). A través de la comunicación MQTT, la Raspberry Pi se suscribe a distintos tópicos, recibiendo información del bróker de extrusión para realizar operaciones conforme a las fórmulas detalladas posteriormente.

La interfaz de usuario facilita el ingreso de valores correspondientes a cada línea, actualizando la pantalla cada 5 segundos. La interactividad de la pantalla se realiza tanto de forma manual, permitiendo registrar los diferentes estados de cada etapa de línea, como de manera automática, presentando valores de rendimiento, disponibilidad, calidad, sobrepeso, OEE y OEU. Estos datos se registran en la base de datos cada 5 minutos y se visualizan mediante el software DBeaver, ofreciendo una visión integral de toda la información recopilada.

Para obtener las tasas de producción deseadas, se llevan a cabo varias operaciones definidas por el área de Producción de Plastigama-Wavin. A continuación, se detallan y explican estas operaciones que constituyen parte integral del proceso de cálculo.

Disponibilidad

Para calcular el porcentaje de disponibilidad se estableció la ecuación (6):

$$\%Disponibilidad = \frac{8h - HOP - HFM - HN - HM - HA - HSU - HP}{8h - HSU} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

- **8h:** Cantidad de horas disponibles por turno
- **Otros paros (HOP):** Tiempo que la maquina paró por: fallas de programación, compuesto, equipos auxiliares, logística, entre otras.
- **Falla de molde (HFM):** Tiempo que la maquina paró por problemas de moldes.

- **Norma (HN):** Tiempo que la maquina paró por normalización.
- **Mantenimiento (HM):** Tiempo que la maquina paró por problemas mecánicos y/o eléctricos.
- **Arranque (HA):** Tiempo que la maquina paró por problemas de arranque.
- **Set Up (HSU):** Tiempo que la maquina paró por final del programa, cambio de moldes, calentamiento de máquina, entre otros.
- **Pruebas (HP):** Tiempo que la maquina paró por pruebas.

Calidad

Para calcular el porcentaje de calidad se estableció la siguiente ecuación (7).

$$\%Calidad = \frac{Kilogramos\ Producción}{Kilogramos\ Producción + Scrap} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

- **Kilogramos Producción:** Kilogramos de producción elaborados en dicho turno
- **Scrap:** Kilogramos de perdida en la producción

Desempeño

Para calcular el porcentaje de desempeño se estableció la siguiente ecuación (8).

$$\%Desempeño = \frac{Rendimiento\ Real}{Rendimiento\ Teorico} \times 100 \quad (8)$$

Donde:

$$Rendimiento\ real = \frac{Peso}{TiempoCorteA} + \frac{Peso}{TiempoCorteB} \quad (9)$$

- **Peso:** Kilogramos del tubo elaborado
- **TiempoCorteA:** Tiempo entre cortes del lado A de la cortadora
- **TiempoCorteB:** Tiempo entre cortes del lado B de la cortadora
- **Rendimiento Teórico:** Dato ingresado por el operador, el cual representa el rendimiento objetivo de la máquina.

OEE

Para calcular el porcentaje OEE se realiza el producto de las 3 variables calculadas anteriormente.

$$\%OEE = \frac{\%Disponibilidad}{100} \times \frac{\%Desempeño}{100} \times \frac{\%Calidad}{100} \times 100 \quad (10)$$

OEU

Para calcular el porcentaje OEU, se toma en cuenta el valor de OEE calculado y tiempo total disponible.

$$\%OEU = \frac{\%OEE}{Tiempo\ total\ disponible} \times 100 \quad (11)$$

Donde:

- **Tiempo total disponible:** Horas que la maquina ha estado disponible

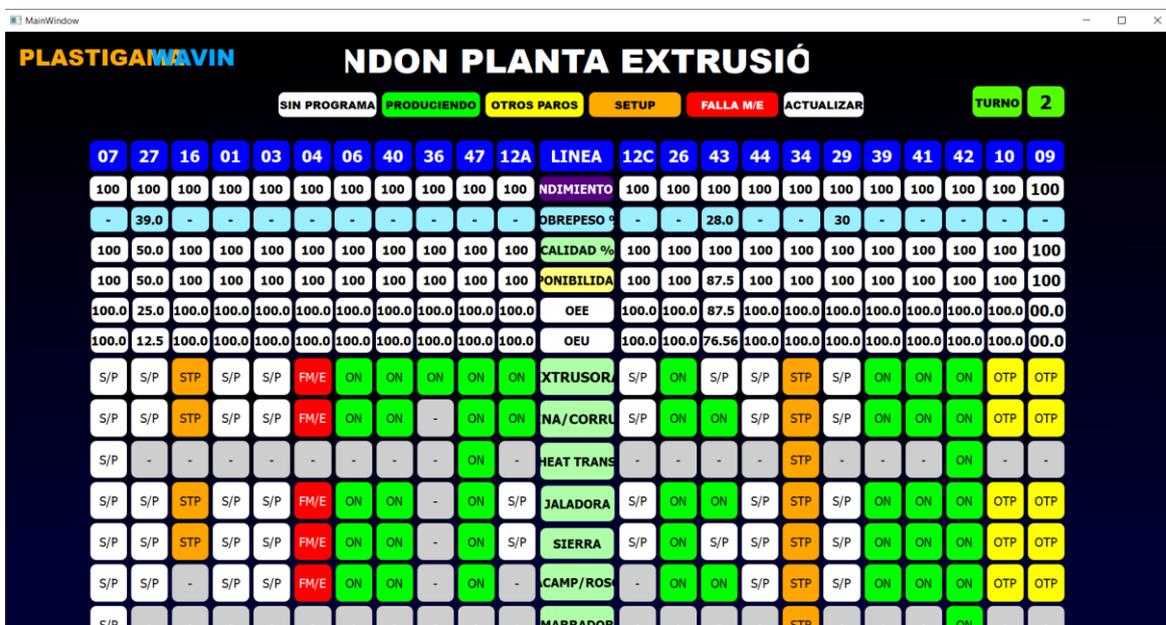


Figura 7: Interfaz ANDON

En la Figura 7, se presenta una columna dedicada a cada línea, acompañada de sus respectivos índices de producción y sobrepeso. Además, se visualizan los estados correspondientes a cada etapa de la línea.

En el "Modo Automático", los índices de producción y sobrepeso se ingresan automáticamente, siguiendo las operaciones previamente indicadas. Estos valores son recibidos a través del protocolo MQTT, y la información mostrada en la pantalla se actualiza directamente en la base de datos.

Por otro lado, en el "Modo Manual", los estados de cada etapa se ingresan de manera manual. Esto indica si la línea está en proceso de producción, experimentando paros, en configuración (setup) o si se ha detectado alguna falla. Esta flexibilidad permite al

operador realizar ajustes y actualizaciones precisas según las condiciones específicas de la línea en tiempo real.

2.3 Selección de equipos y tablero

Los equipos utilizados para la implementación se escogieron con la ayuda y criterio de los Ingenieros eléctricos y personal encargado de cada línea de extrusión. Estos equipos fueron elegidos con la finalidad de mejorar la toma de decisiones del área de Producción, tomando señales de cada línea y visualizando la información en las distintas pantallas, actualmente estos equipos se encuentran dentro de un tablero eléctrico instalado en cada extrusora.

Tabla 2: Equipos utilizados

Equipo	Figura
Raspberry Pi 4 modelo B	
Proxsys CP-WS13/4DO4DIXAI ETH	
HMI DELTA MODEL DOP-110WS	

Celda de carga RL1040



Sensor inductivo PNP, alimentación 24V



Televisor (SAMSUNG, LG)



SWITCH Siemens



La mayor parte de estos dispositivos está alojada en un tablero eléctrico que ha sido instalado en la extrusora, como se evidencia en la imagen adjunta. En dicha imagen, se destaca la presencia de un interruptor de protección que abarca todo el circuito, así como una extensa cantidad de bloques de conexión. El propósito de este diseño es mantener la organización de las señales, las cuales están meticulosamente etiquetadas para facilitar su identificación y manejo.



Figura 8: Tablero implementado en líneas de extrusión

2.4 Protocolos de Comunicación y lenguajes de programación

2.4.1 Protocolo Modbus TCP/IP

Este protocolo establece la comunicación entre la Raspberry Pi, PLC Proxsys y HMI DELTA. Existen varias bibliotecas de comunicación Modbus TCP disponibles para Raspberry Pi, como pymodbus, RPi.GPIO y python-modbusTCP. Estas bibliotecas permiten que la Raspberry Pi actúe como un maestro Modbus TCP o como esclavo como es el caso, recibiendo solicitudes de lectura de registros del HMI DELTA. Por otro lado, el Proxsys también debe ser configurado como un servidor Modbus TCP, en este caso se ingresa al calibrador del controlador y se realiza la configuración para la comunicación, con la asignación correcta de direcciones de Modbus y los registros que se desean intercambiar.

2.4.2 Protocolo MQTT

El protocolo MQTT opera como un servicio de mensajería push bajo el modelo publicador/suscriptor (pub-sub). En esta infraestructura, los clientes se conectan a un servidor central conocido como bróker. Para organizar y filtrar los mensajes dirigidos a cada cliente, se utilizan tópicos dispuestos en una estructura jerárquica. Un cliente tiene

la capacidad de enviar un mensaje a un tópico específico. Otros clientes pueden suscribirse a ese mismo tópico, y el bróker se encargará de enviarles los mensajes correspondientes a sus suscripciones.

Mencionado lo anterior, en la tercera fase de procesamiento de señales, la raspberry Pi actúa como cliente Publicador que mediante un único tópico específico publica los datos obtenidos del HMI y Proxsys. En la cuarta fase, el ingreso de datos la raspberry pi actúa como publicador que publica datos en diferentes tópicos para él envió de datos como el rendimiento teórico, los tiempos de paros y el Scrap. En la última fase, la raspberry pi actúa como suscriptor que mediante el tópico específico recibe los diferentes valores ingresados al bróker.

2.4.3 Lenguaje de programación C++

C++ se destaca como un lenguaje de programación orientado a objetos (POO) que ofrece ventajas significativas en el desarrollo de interfaces de usuario. La ventaja clave radica en la capacidad de encapsular datos y comportamientos en clases, lo que facilita la creación de estructuras modulares y reutilizables. En el contexto de una pantalla de ingreso de datos, esto permite diseñar objetos que representen de manera coherente los elementos visuales y las interacciones asociadas, facilitando la organización del código y mejorando la mantenibilidad del sistema. C++ en POO permite aprovechar la herencia, el polimorfismo y otros conceptos fundamentales de la programación orientada a objetos, brindando flexibilidad y extensibilidad al desarrollar aplicaciones con interfaces interactivas y eficientes.

2.4.4 Lenguaje de programación Python

Python, como lenguaje de programación orientado a objetos (POO), ofrece ventajas notables en la creación de interfaces de usuario. La principal fortaleza de Python en este contexto radica en su sintaxis clara y legible, que simplifica el diseño y la implementación de clases y objetos. La naturaleza dinámica de Python facilita la adaptabilidad de las estructuras de datos, permitiendo una construcción ágil de interfaces de usuario interactivas. Además, la amplia gama de bibliotecas y frameworks disponibles en Python, como PyQt, simplifican la creación de interfaces gráficas ricas en funcionalidades. La

versatilidad de Python en POO permite desarrollar pantallas de visualización de datos de manera eficiente, promoviendo la reutilización de código y la creación de aplicaciones intuitivas y flexibles

2.4.5 Lenguaje Ladder

El uso del lenguaje Ladder en controladores programables, como el Proxsys, desempeña un papel crucial en el diseño y desarrollo de sistemas, como los sistemas de pesaje. La importancia radica en su enfoque gráfico e intuitivo, que permite representar lógica y secuencias de operación de manera fácilmente comprensible. La representación visual de las instrucciones a través de símbolos lógicos imita la lógica de relés eléctricos, simplificando la transición para aquellos familiarizados con esquemas eléctricos tradicionales. Esta característica facilita la programación, reduciendo los errores y acelerando el desarrollo del sistema. Además, la visualización clara y estructurada del código Ladder en Proxsys simplifica la depuración y el mantenimiento del sistema, mejorando la eficiencia operativa y garantizando un control preciso en aplicaciones como el pesaje industrial.

2.5 Planificación secuencial y visual de las etapas del proyecto

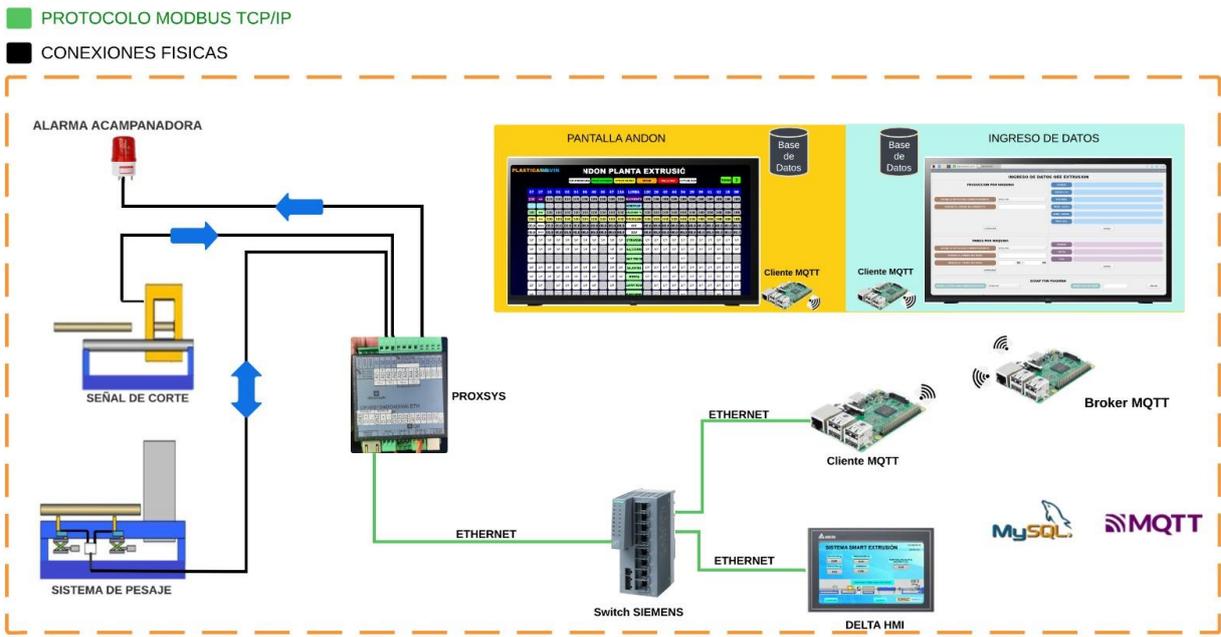


Figura 9: Arquitectura SMART

Se realiza las conexiones físicas de la extrusora con el PLC Proxsys. Las señales son: Señal de corte A, Señal de corte B, Sensor óptico. Se usa el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP mediante ethernet para conectar el HMI Delta (Client), PLC Proxsys (Server) y Raspberry (Server) de forma cableada utilizando un switch para interconectar los múltiples dispositivos. Tanto en el HMI Delta como en la raspberry se comunicación entre sí, para publicar por medio de MQTT a bróker de extrusión. Determinado un tiempo establecido por los operadores y/o personal de la maquina se escoge el tiempo en el cual se deben enviar a la base de datos la información calculada. Dado que la raspberry posee conexión Wifi, publica los datos mediante protocolo MQTT usando la red interna de la planta. Con otra raspberry se suscribe recibe los datos, realiza los cálculos de los índices de producción y muestra mediante la interfaz gráfica realizada en Python y C++.

2.5.1 Descripción programación Proxsys

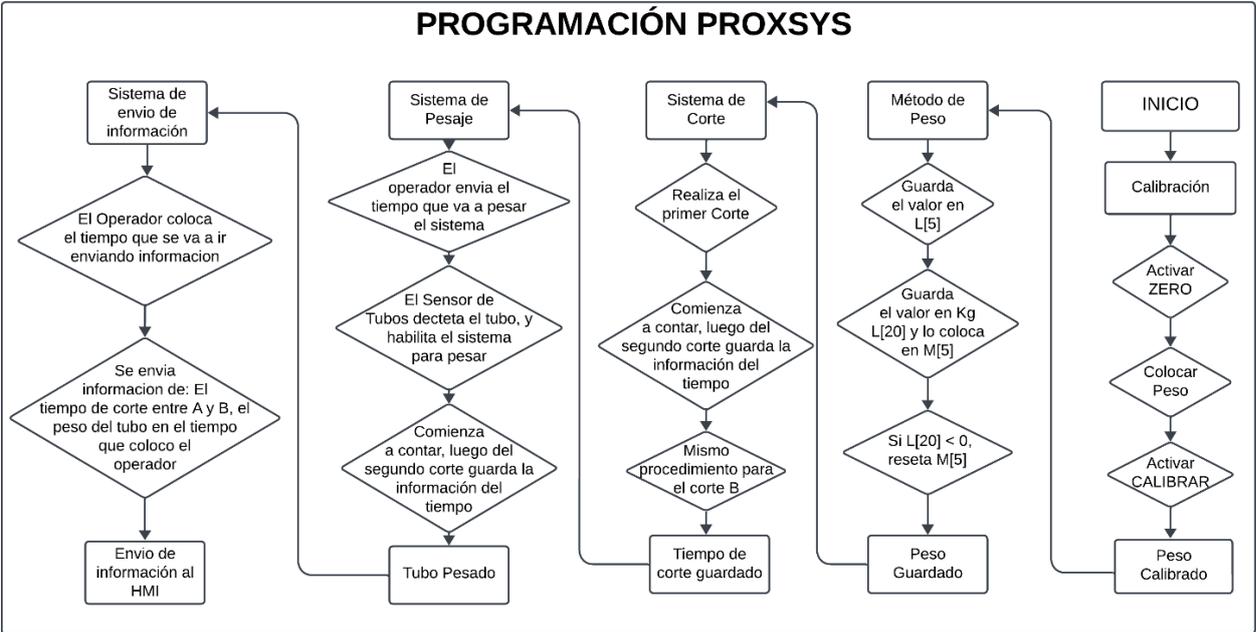


Figura 10: Diagrama de flujo programación Proxsys

- 1. Calibración Proceso:** El proceso de calibración consiste en resetear la indicación través de M157 y ajustar el valor de memoria M155 al valor de peso conocido y configurando M156=1.

2. **Método de Peso:** El peso que envía la celda de carga lo guarda L [5] (Ej: M155=10000, L[5]=100,00). Luego se lo pasa a Kg, dividiendo para 10 y lo guarda en L [20], dicho valor se lo guarda en la marca M[5]
3. **Sistema de corte:** Cada vez que se activa el sensor de corte A dos veces, envía el valor del tiempo de corte de un tubo. Se repite el procedimiento para el corte B.
4. **Sistema de pesaje:** El operador envía el tiempo en el que el sistema va a pesar (Tiempo de subida, tiempo de envío de información, Tiempo de bajada de los cilindros).
5. **Sistema de envió de información:** El operador envía el tiempo en el que se va a enviar información al HMI, de lo cual se va a enviar el dato del número de tubos, el peso, el tiempo de los cortes A y B.

2.5.2 Descripción interfaz Hombre-Maquina

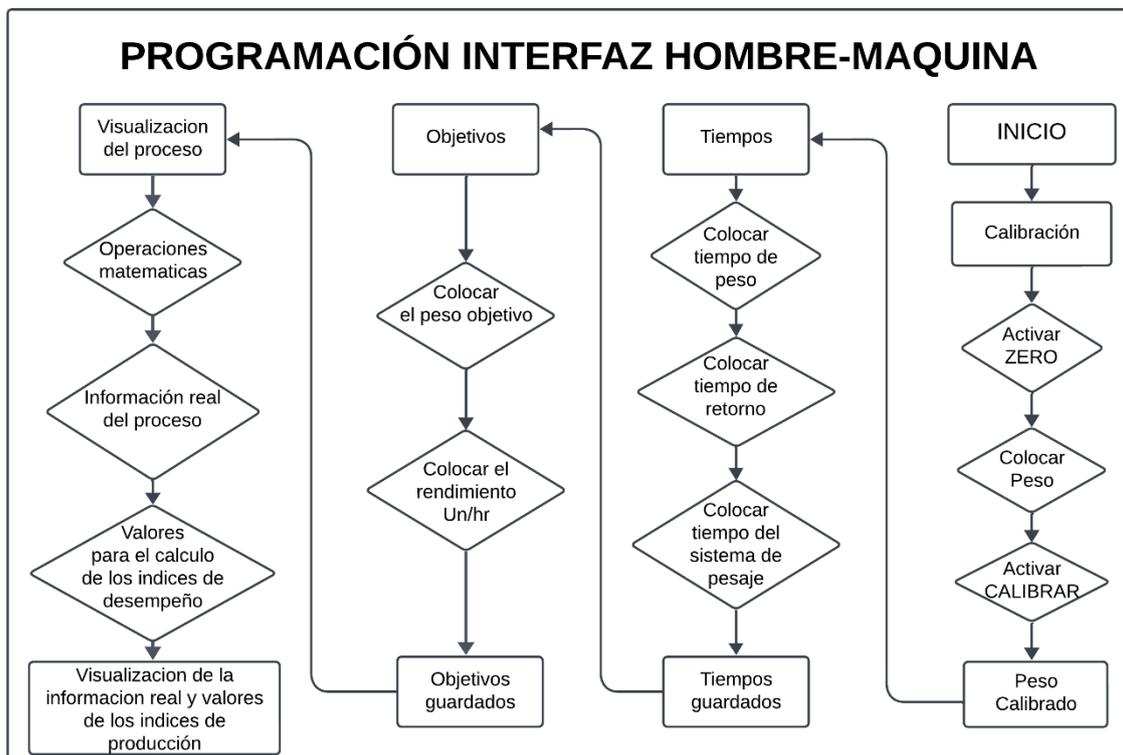


Figura 11: Diagrama de flujo programación HMI Delta

La programación de la Interfaz Hombre-Máquina (HMI) desempeña un papel fundamental al visualizar datos provenientes del Proxsys, dividiendo el proceso en dos etapas esenciales: "Calibración" y "Proceso". Durante la etapa de "Calibración", se lleva

a cabo el ajuste preciso del peso del tubo, así como la configuración de los tiempos del sistema de pesaje, abarcando la duración del peso, el tiempo de retorno y el período en el cual el sistema de pesaje está operativo. Por otro lado, la fase de "Proceso" se encarga de establecer los valores objetivos específicos para la línea y el material, definiendo el peso en kilogramos y el rendimiento en unidades por hora. A través de esta programación, se calculan y visualizan los valores reales del proceso, incluyendo los tiempos de corte, el peso en kilogramos y el rendimiento real. Además, la interfaz realiza operaciones que permiten visualizar los kilogramos por turno, el número de tubos producidos, el rendimiento teórico y el desempeño global de la línea, proporcionando una visión integral y precisa de la operación del sistema automatizado.

2.5.3 Descripción Raspberry Pi 4

En el desarrollo del proyecto, se implementaron diversas Raspberry Pi con programación en lenguajes Python y C++. En la Raspberry destinada a la base de datos, se empleó MySQL a través de la terminal para crear tablas con información relevante, utilizando la IP de la red de manufactura de la planta. Para la Raspberry designada como broker, se instaló y configuró Mosquitto mediante la terminal, creando un broker en la nube con su respectivo tópico para recibir información, también empleando la IP de la red de manufactura.

La Raspberry dedicada al procesamiento de señales utilizó programación en Python para la comunicación modbus TCP/IP con la librería pyModbusTCP.server. Además, se empleó mysql.connector para la conexión con la base de datos y paho.mqtt.client para la comunicación MQTT. En resumen, esta Raspberry facilita la comunicación TCP/IP entre la interfaz hombre-máquina y el Proxsys, recibiendo información que se envía por MQTT y actualizándose a intervalos regulares leyendo de la base de datos.

Para la Raspberry encargada del ingreso de información, se utilizó programación en C++ con QtCreator para crear una interfaz de ingreso de datos. Esta interfaz consulta la base de datos y envía la información por MQTT.

La Raspberry encargada de la visualización de datos empleó programación en Python para calcular los índices de producción mediante los valores obtenidos por MQTT. Utilizando QtDesigner, se creó una interfaz para visualizar estos valores, incluyendo estados de producción y paros en cada fase de la línea extrusora. Este enfoque integral

de las Raspberry Pi y la programación en diversos lenguajes contribuyó a la implementación eficiente y coordinada del sistema automatizado.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Análisis de los datos obtenidos a través del protocolo MQTT

3.1.1 Eficacia del PROXSYS y Raspberry Pi 4

Raspberry: El despliegue de múltiples Raspberry Pi 4 Model B en diversas funciones críticas, como la gestión de base de datos, actuar como broker, la comunicación a través de MQTT y Modbus TCP/IP, así como el manejo de interfaces de pantalla para ingreso y visualización de datos, ha resultado altamente eficaz en este proyecto.

Desde el análisis de rendimiento, la Raspberry Pi 4 ha demostrado ser una elección factible para el tráfico de red, procesamiento y gestión de datos. La capacidad de procesamiento mejorada y la conectividad Gigabit Ethernet de la Raspberry Pi 4 han contribuido a un manejo eficiente del tráfico de red, garantizando una comunicación fluida entre las distintas Raspberry Pi.

La implementación de lenguajes de programación como Python y C++ ha demostrado ser adecuada para la eficacia en el procesamiento de datos y la interacción con la base de datos. La flexibilidad de estos lenguajes ha permitido un desarrollo ágil y adaptativo, facilitando cambios de código y mejoras continuas en el sistema.

En cuanto a la durabilidad y la prevención de daños futuros, la Raspberry Pi 4 ha mostrado robustez en entornos industriales. Sin embargo, se recomienda realizar un monitoreo continuo de la temperatura y proporcionar un sistema adecuado de refrigeración para garantizar un rendimiento óptimo y prevenir posibles problemas térmicos.

Proxsys: La eficiencia del controlador Proxsys ha sido notable en la implementación del sistema de pesaje, especialmente en el manejo de celdas de carga y sus operaciones asociadas. Aunque se ha demostrado efectivo en la operación actual, surge un desafío significativo relacionado con la falta de información disponible y la poca notoriedad de este PLC en comparación con otras opciones más comunes.

La escasez de información sobre el Proxsys puede plantear dificultades en el estudio detallado de su funcionamiento interno y configuración. Esto podría traducirse en un

desafío potencial en futuros casos, especialmente cuando se deba abordar problemas o realizar ajustes en el sistema. La falta de documentación estándar y recursos en línea podría requerir una mayor dependencia de la experiencia interna o del soporte técnico del proveedor.

Es esencial considerar la posibilidad de establecer una documentación interna detallada que capture los detalles específicos del controlador Proxsys utilizado. Esto podría incluir diagramas de conexiones, configuraciones clave y procedimientos de resolución de problemas. Además, la colaboración estrecha con el proveedor del controlador puede resultar valiosa para obtener información detallada y mitigar posibles desafíos en el futuro.

3.1.2 Eficiencia de la red

La eficacia de la red de Manufactura ha sido esencial para el desarrollo exitoso para el proyecto integrador, permitiendo la comunicación efectiva de protocolos tanto a través de conexiones Wi-Fi como físicas. La capacidad de esta red para manejar eficientemente la transferencia de datos ha respaldado el intercambio de información entre dispositivos, como las Raspberry Pi, controladores Proxsys y el HMI Delta.

Sin embargo, al considerar el posible futuro de la eficacia de la red, surge la cuestión de la sobresaturación. Si bien la red tiene un espacio disponible para 254 dispositivos y actualmente se están utilizando alrededor de 100 dispositivos, es importante evaluar cómo este nivel de ocupación podría afectar la eficiencia y la estabilidad.

Cuando una red se acerca a su capacidad máxima, pueden surgir problemas potenciales, como la congestión de la red, el aumento de los tiempos de respuesta y la posibilidad de pérdida de paquetes. Si bien la red Manufactura está dentro de su capacidad especificada, es crucial monitorear continuamente su rendimiento a medida que se agregan más dispositivos.

Para garantizar una eficacia sostenible, se recomienda implementar prácticas de gestión de red, como la segmentación de red para dividir cargas, la optimización de protocolos y el monitoreo constante del tráfico. Además, la expansión futura debería considerar la posibilidad de migrar a una infraestructura de red más robusta si la demanda de dispositivos sigue creciendo para evitar posibles problemas de rendimiento.

3.1.3 Eficiencia de los protocolos

Al evaluar la eficacia del protocolo MQTT en el proyecto, se consideraron varios aspectos cruciales:

Cantidad de temas y subtemas:

Cada máquina extrusora, equipada con una Raspberry Pi como publicador, es parte de la red de la planta de extrusión que consta de 17 máquinas, de las cuales 5 están destinadas a enviar datos. Para garantizar un envío ordenado y evitar confusiones al presentar los valores de cada extrusora en el suscriptor, se asignó un tópico específico a cada máquina. Esta práctica permite que la información sea adquirida únicamente por los equipos pertinentes, aprovechando la ligereza del protocolo MQTT en redes con ancho de banda limitado, lo cual es beneficioso dada la cantidad de dispositivos en el proyecto.

Tamaño del mensaje:

La eficacia del protocolo se evaluó considerando el tamaño del mensaje. Para garantizar un envío rápido y eficiente, se estableció un formato uniforme para los datos, todos enviados como cadenas de texto con una extensión máxima de 9 letras. En el caso de los valores, se limitaron a dos decimales y ninguno supera la centena, contribuyendo así a la optimización del ancho de banda.

Calidad del servicio (QoS):

La calidad del servicio, determinada por el nivel de QoS elegido para los mensajes, fue evaluada cuidadosamente. A pesar de que un aumento en el nivel de QoS puede ofrecer mayor garantía de entrega, se optó por un nivel de cero para todos los mensajes. Esta elección, respaldada por la frecuencia de las publicaciones y la organización eficiente de los tópicos, asegura una comunicación eficaz sin riesgo de sobrecargar el broker.

Frecuencia de publicación:

La frecuencia de publicación, un factor crítico para la calidad y eficiencia del protocolo se estableció en un minuto. Esta decisión, alineada con la lógica del programa que realiza múltiples operaciones simultáneamente, asegura que el broker no experimente

sobrecargas, ya que siempre está monitoreando un máximo de 4 tópicos, adaptándose así a la naturaleza del tráfico de datos en el proyecto.

Escalabilidad del sistema:

La capacidad del broker implementado en la IIoT de Plastigama-Wavin, desarrollado en una Raspberry Pi 4 con 4 GB de RAM y 64 GB de memoria, se consideró al medir la escalabilidad del sistema. Aunque esta solución es viable para una red local, se reconoce que la cantidad de dispositivos que envían información al broker puede estar limitada por los recursos de la Raspberry Pi. Esta restricción sugiere que, a medida que se incrementen los dispositivos, podría ser necesario contemplar soluciones de hardware más robustas para asegurar la escalabilidad del sistema.

3.2 Evaluación de interfaces graficas

3.2.1 Descripción de la interfaz de ingreso de datos

The screenshot shows a web browser window titled 'INGRESO DE DATOS OEE EXTRUSION'. The interface is organized into three main data entry sections, each with a dropdown menu for selecting an extruder (currently 'XT-01 PVC') and a text input for a product code. The 'PRODUCCION POR MAQUINA' section includes a 'CONSULTAR' button and a table with columns for 'CODIGO', 'PRODUCTO', 'RPM MAX', 'REND. (KG/H)', 'REND. (UNI/H)', and 'PESO (KG)', with an 'ENVIAR' button below. The 'PAROS POR MAQUINA' section includes a 'CONSULTAR' button and a table with columns for 'CODIGO', 'CAUSA', and 'TIPO', with an 'ENVIAR' button below. The 'SCRAP POR MAQUINA' section includes an 'ENVIAR' button and a text input for 'INGRESE KG DE SCRAP'. Annotations on the left and right sides describe various UI elements like dropdowns, input fields, and buttons.

Figura 12: Interfaz de ingreso de datos

Diseño Intuitivo:

La disposición estratégica de las secciones "Producción por máquina", "Paros por máquina" y "SCRAP por máquina" ha sido diseñada de manera intuitiva, facilitando la navegación del operador. Esta estructura optimizada minimiza el tiempo necesario para acceder a funciones específicas, mejorando la eficacia general del sistema.

Rapidez en la Visualización de Datos:

La velocidad de respuesta inmediata contribuye a la eficacia operativa al permitir que el operador tenga acceso rápido a datos esenciales.

Sencillez de Utilización:

La operación sencilla de la interfaz es un componente clave de su eficacia. Diseñada para una interacción natural y sin complicaciones, facilita al operador la selección de extrusoras, ingreso de códigos y consulta de la base de datos de manera fluida. Esta simplicidad minimiza posibles errores, agilizando el proceso global.

Optimización del Flujo de Trabajo:

La estructura de la interfaz está cuidadosamente orientada a optimizar el flujo de trabajo del operador. La capacidad de realizar consultas rápidas a la base de datos y el ingreso eficiente de información de paros y registros de SCRAP contribuyen a una gestión ágil y efectiva de las operaciones diarias.

3.2.2 Descripción de la interfaz de visualización de información



Figura 13: Interfaz de visualización de datos

Claridad en la Presentación de Datos:

La disposición ordenada de información, como índices de producción, sobrepeso y estados de cada etapa de la línea extrusora, facilita la interpretación rápida y precisa por parte del operador.

Actualización Continua de Datos:

La pantalla se actualiza constantemente cada 5 segundos, proporcionando información en tiempo real sobre rendimiento, disponibilidad, calidad, sobrepeso y eficiencia. Esta actualización continua garantiza que el operador tenga acceso a datos recientes y relevantes para evaluar el desempeño de la línea extrusora.

3.2.3 Pruebas piloto

Durante el proceso de desarrollo, se llevaron a cabo exhaustivas pruebas en las distintas pantallas diseñadas con el objetivo de verificar la integridad tanto en la presentación como en la arquitectura de cada interfaz. Este análisis se centró en identificar posibles errores, asegurando que la experiencia del usuario fuera fluida, coherente y libre de problemas técnicos.

PRODUCCION POR MAQUINA	
ESCOJA LA EXTRUSORA CORRESPONDIENTE:	XT-27 NOVAFORT
INGRESE EL CODIGO DEL PRODUCTO:	926004
CONSULTAR	ENVIAR

PAROS POR MAQUINA	
ESCOJA LA EXTRUSORA CORRESPONDIENTE:	XT-07 PVC
INGRESE EL CODIGO DEL PARO:	1563
INGRESE EL TIEMPO DEL PARO:	0 [H] : 40 [M]
CONSULTAR	ENVIAR

SCRAP POR MAQUINA	
ESCOJA LA EXTRUSORA CORRESPONDIENTE:	XT-29 PVC
INGRESE KG DE SCRAP:	8
ENVIAR	

Figura 14: Pantalla prueba ingreso de datos

Durante la evaluación de la interfaz de ingreso de datos a través del software RealVNC, se realizó un análisis detallado, combinando la observación directa de la pantalla con el diálogo directo con el cliente para brindar una inducción efectiva sobre el proceso. Se examinó la presentación visual, la disposición de los elementos y la fluidez de la navegación. Además, se llevó a cabo una sesión de inducción con el cliente para comprender sus expectativas y se recopiló retroalimentación específica sobre él envió y consulta de datos.

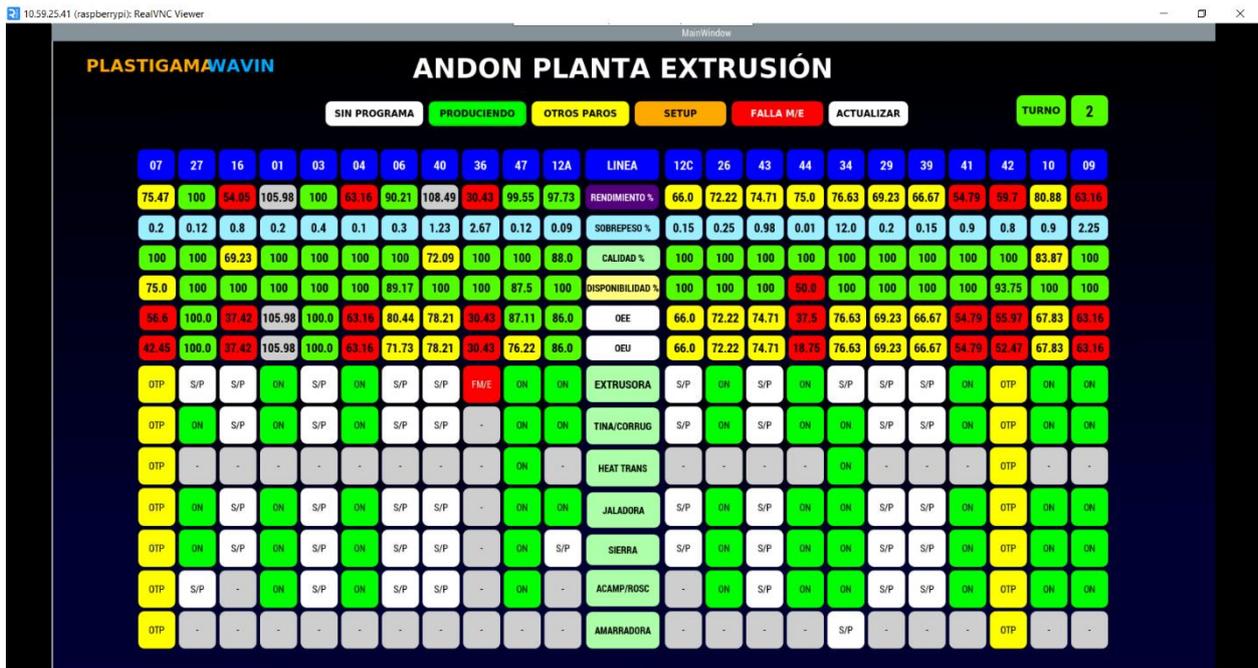


Figura 15: Pantalla prueba visualización de datos

Durante la revisión de la interfaz de ingreso de datos, se proporcionó al cliente una explicación detallada de cada aspecto, abordando tanto la entrada manual como la automática, así como los indicadores asociados con cada rango de porcentaje. La retroalimentación recibida del cliente se centró en la posibilidad de combinar ambas interfaces de ingreso de datos y visualización en una única pantalla. Adicionalmente, al subir los datos a la base de datos, la pantalla permanece en modo automático durante 5 segundos, lo cual generó comentarios por parte del cliente. Se planteó la inquietud de si es posible reducir el tiempo de espera o evitar que la pantalla se interrumpa por 5 segundos en cada carga de datos.

3.3 Comparación de los datos obtenidos del sistema empleado y el sistema anterior

3.3.1 Sistema anterior

Process	Date	Month	Line	Machine builder	Real Mech. Hours	Scrap Hrs	Overweight Hours	Net Hour	Real U/Hrs	Real Kg/Hr	U/Hrs Theoret	Kg/ Hour Theoret	Estimated Hours	Utilization Rate	Availability Rate	Performance Rate	Quality Rate	OEE	OE
Extrusion PVC	05-Dec-23	December	XT-39	Máquina Blax T-Flex 195-30 (39)	107,20	11,46	0,98	94,76	6,83	536,13	6,03	536,13	107,20	22%	78%	100%	88%	78%	88%
Extrusion PVC	05-Dec-23	December	XT-18	EXT KRAUSS MAFFEI KMD-110 - EXT 16	260,80	13,94	6,66	239,81	71,80	175,78	71,80	175,78	260,80	55%	75%	100%	92%	75%	92%
Extrusion PVC	05-Dec-23	December	XT-40	EXT Novafort Coma T-Flex 195-30 (40)	148,70	23,63	4,37	120,70	18,38	204,34	18,38	204,34	148,70	35%	84%	100%	80%	84%	80%
Extrusion PVC	05-Dec-23	December	XT-43	KRAUSS MAFFEI KMD 90-36 E2R(43)	125,70	12,01	0,72	112,97	27,86	197,90	27,06	197,90	125,70	44%	43%	100%	90%	39%	17%
Extrusion PVC	05-Dec-23	December	XT-44	KRAUSS MAFFEI KMD 114 (110-500)	196,30	18,55	-2,42	180,17	15,54	317,26	15,54	317,26	196,30	32%	90%	100%	92%	83%	27%
Extrusion PVC	05-Dec-23	December	XT-27	EXT DALLIAN SJS2-9991(27)	249,50	11,90	2,16	230,38	4,80	990,51	4,80	990,51	249,50	40%	74%	100%	92%	74%	34%
Extrusion PVC	05-Dec-23	December	xxx	xxx	4.332,24	229,57	113,97	3.991,69	189,63	324,44	189,63	324,44	4.332,24	46%	82%	100%	92%	76%	35%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-01	EXT ROLLEPALL WP 05 - EXT 01	1.539,20	10,06	77,95	1.349,19	14,00	329,96	13,68	322,94	1.577,08	25%	94%	100%	88%	74%	16%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-03	EXT ROLLEPALL T-FEX 05 - EXT 03	5.120,30	152,97	207,92	4.719,41	57,60	345,69	59,48	356,94	4.958,90	64%	91%	97%	92%	81%	42%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-04	EXT MAPLAN TS 100 - EXT 04	3.008,60	19,81	63,93	2.830,86	49,06	519,26	49,21	520,83	2.997,50	39%	80%	100%	94%	81%	32%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-06	EXT WEBER OS 22 - EXT 06	5.263,80	165,37	144,70	4.933,74	67,85	242,54	670,99	241,67	5.278,39	67%	90%	100%	94%	89%	37%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-07	EXT KRAUSS MAFFEI KMD-90 - EXT 07	4.817,30	184,07	111,68	4.491,54	200,74	266,85	198,79	264,06	4.864,58	60%	92%	100%	93%	86%	32%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-24	EXT ROLLEPALL TREX-90 - EXT 24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-25	EXT THEYSON TTM - 989-28 EXT 25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-26	EXT Krauss Maffei - KMD 75 - 36 Flex 26	490,70	24,42	29,98	436,70	174,46	161,14	166,63	144,68	546,54	7%	80%	100%	88%	72%	5%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-34	Krauss Maffei KMD 75-36 ER - EXT 34	4.918,80	96,36	54,44	4.768,10	203,84	368,90	191,12	345,86	5.247,48	67%	92%	100%	97%	89%	35%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-41	Krauss Maffei KMD 75-36 ER - EXT 41	4.614,90	122,94	104,43	4.387,53	163,26	372,63	163,66	373,60	4.602,92	59%	89%	100%	95%	86%	34%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-42	BATTENFELD CINCINNATI TWINEX 114-34R-EXT 42	5.163,20	79,00	55,77	5.028,43	251,52	832,99	251,69	833,52	5.199,87	64%	92%	100%	97%	90%	38%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-46	EXT Twin Screw 75 mm - EXT 46 (2016-10-11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-47	Krauss Maffei KMD 90 - XT 47	4.246,00	175,52	97,36	3.972,13	127,77	291,99	161,21	265,57	4.687,33	54%	89%	100%	94%	85%	48%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-29	Máquina Blax (29)	1.657,50	120,70	103,82	1.432,97	19,20	452,57	19,94	446,54	1.882,60	26%	83%	100%	88%	73%	5%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-39	Máquina Blax T-Flex 195-30 (39)	483,60	61,00	20,00	402,30	5,46	549,20	5,34	537,09	494,51	8%	67%	100%	83%	56%	5%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-16	EXT KRAUSS MAFFEI KMD-110 - EXT 16	3.776,70	39,33	50,41	3.516,98	85,45	185,27	87,65	190,05	3.689,28	5%	69%	100%	93%	77%	39%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-37	EXT Cimrinna Mission DA160 - EXT 37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-21	EXT CINCINNATI CM - 04 - EXT 21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-35	EXT DALLIAN SJS2-9991(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-40	EXT Novafort Coma T-Flex 195-30 (40)	3.210,50	230,63	34,93	2.944,94	15,83	366,82	16,72	387,50	3.039,16	45%	80%	95%	91%	78%	32%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-43	KRAUSS MAFFEI KMD 90-36 E2R(43)	2.842,30	259,52	144,95	2.437,83	70,54	236,30	81,65	246,38	2.733,00	44%	75%	96%	89%	74%	38%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-44	KRAUSS MAFFEI KMD 114 (110-500)	2.971,20	177,66	51,22	2.642,32	18,80	429,76	19,95	418,44	3.041,99	35%	85%	100%	92%	79%	38%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	XT-27	EXT DALLIAN SJS2-9991(27)	3.202,40	273,72	12,35	2.916,33	4,88	860,61	4,90	863,21	3.192,73	48%	77%	100%	91%	76%	33%
Extrusion PVC	05-Dec-23	Acumulado	xxx	xxx	57.424,40	2.730,88	1.94,02	53.510,30	162,21	403,98	160,97	400,89	57.886,66	45%	87%	99%	93%	80%	38%

Figura 16: Sistema anterior de cálculo de índices de producción

Como se puede apreciar, la gestión de cálculos de índices de producción se realizaba a través de una hoja de Excel que incluía datos como kilogramos producidos, Scrap, horas trabajadas, horas de paros por Set Up, horas de paros por mantenimiento, horas de otros paros, horas de paros programados, tiempo de operación planificado, tiempo de operación real, pérdidas por calidad, pérdidas por rendimiento, tasa de utilización, tasa de disponibilidad, tasa de rendimiento, tasa de calidad, OEE y OEU.

Esta información se ingresaba dos veces al mes, específicamente los días 1 y 23. El encargado de ingresar estos datos esperaba reportes por parte de los operadores de cada máquina del día anterior para completar todos los campos y calcular los indicadores. Sin embargo, muchos de estos datos eran teóricos, sin una metodología para verificarlos, y se basaban en estimaciones. Las tasas principales, como la de disponibilidad, dependían de horas de paro, pero algunas de estas horas no se consideraban en los cálculos, lo que llevaba a una tendencia siempre cercana al 100%. La tasa de rendimiento, influenciada por tiempos de corte y peso del tubo, también se estimaba en su mayoría, generando valores cercanos al 100% o a veces muy bajos. La tasa de calidad, por su parte, solía ser cercana al 100% debido a que la cantidad de Scrap producida era pequeña en comparación con los kilogramos producidos, y esto no se reflejaba adecuadamente en los cálculos. El índice de OEE consistentemente superaba el 90%, ya que las tres tasas principales se encontraban en ese rango, lo que

indicaba un posible deterioro prematuro de la máquina. Además, la recopilación de estos valores solo ocurría dos veces al mes, lo que generaba informes poco precisos por máquina y ofrecía una representación inexacta de los índices de producción.

3.3.2 Sistema actual

ABC LINEA	ABC RENDIMIENTO	ABC SOBREPESO	ABC CALIDAD	ABC DISPONIBILIDAD	ABC OEE
XT-26	72.22	0.25	100	100	72.22
XT-43	74.71	0.98	100	100	74.71
XT-44	75.0	0.01	100	50.0	37.5
XT-34	76.63	12.0	100	100	76.63
XT-29	69.23	0.2	100	100	69.23
XT-39	66.67	0.15	100	100	66.67
XT-41	54.79	0.9	100	100	54.79
XT-42	59.7	0.8	100	93.75	55.97
XT-10	80.88	0.9	83.87	100	67.83
XT-09	63.16	2.25	100	100	63.16
XT-07	75.47	0.2	100	66.67	50.32
XT-27	214.69	0.12	74.29	92.71	147.87
XT-16	54.05	0.8	69.23	100	37.42
XT-01	105.98	0.2	100	100	105.98
XT-03	100	0.4	100	100	100.0
XT-04	63.16	0.1	100	100	63.16
XT-06	90.21	0.3	100	89.17	80.44
XT-40	108.49	1.23	72.09	100	78.21
XT-36	30.43	2.67	100	100	30.43
XT-47	99.55	0.12	100	87.5	87.11
XT-12a	97.73	0.09	88.0	100	86.0
XT-12c	66.0	0.15	100	100	66.0

Figura 17: Indicadores del sistema empleado

El sistema piloto de cálculo de índices de producción ha sido diseñado para proporcionar información en tiempo real a los responsables, incluyendo al encargado, supervisores, superintendente y gerente. Facilita la evaluación continua de la producción al permitir el ingreso de productos de acuerdo con la programación establecida y calcular las tasas clave de rendimiento, disponibilidad, calidad y OEE. Además, el sistema se encarga de ajustar estos datos automáticamente en caso de cambios en las variables que afectan a las tasas. Cuando se presentan variaciones en el ciclo de producción, el sistema recalcula el rendimiento considerando el ciclo real. Asimismo, si se produce un paro en la máquina, el sistema puede registrar automáticamente ese tiempo para obtener un valor de disponibilidad más preciso, y lo mismo ocurre con los datos de Scrap para obtener una medida real de calidad.

Es relevante señalar que los datos se actualizan de manera constante cada intervalo de 5 minutos y se transmiten en tiempo real a la base de datos, incorporando la información pertinente al turno en ejecución. Esto contrasta con el sistema previo, que proporcionaba estimaciones y solo actualizaba la información dos veces al mes.

3.4 Ventajas y desventajas del sistema empleado

Ventajas:

- La regularidad en la actualización y envío de datos asegura una información más puntual y minuciosa. Este enfoque mejora la capacidad de supervisión y la toma de decisiones, posibilitando una gestión más eficiente de la producción. En contraste con el sistema previo, que actualizaba los datos únicamente dos veces al mes, el sistema piloto actualiza la información de forma constante, brindando a los usuarios acceso a datos más precisos y recientes sobre la producción en tiempo real.
- El sistema utilizado automatiza el registro de eventos, como los paros en la máquina, a través de la intervención del operador. Este proceso ajusta de manera instantánea las tasas de disponibilidad, llevando a cabo cálculos precisos basados en los ciclos reales de producción, lo que resulta en mediciones más confiables. Esta capacidad contribuye a una gestión más eficiente de la producción al proporcionar información en tiempo real y optimizar la toma de decisiones.

Desventajas:

- Los operadores para adaptarse al cambio en el uso de nuevas pantallas pueden presentar desafíos significativos en el entorno operativo. Una de las principales desventajas radica en la dificultad que los operadores podrían experimentar durante la transición. La falta de disposición para familiarizarse con la nueva interfaz puede generar obstáculos, afectando la eficiencia del sistema en general. Además, operadores que no se sienten cómodos con las nuevas pantallas podrían cometer equivocaciones durante la entrada de datos o la manipulación de la información, afectando la precisión y calidad de los procesos operativos.
- La eficacia del sistema se encuentra estrechamente vinculada al adecuado funcionamiento de la tecnología, abarcando tanto el software como los

dispositivos, así como la calidad de la conexión a la red. Cualquier inconveniente técnico que se presente podría ocasionar una interrupción en la recopilación de datos en tiempo real.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se diseñó la arquitectura de la red usando protocolo MQTT, el cual es la vía principal de comunicación entre los diferentes dispositivos, el cual nos permite un control y monitoreo en tiempo real, aprovechando la inherente ligereza del protocolo MQTT, se logra una eficiente transmisión de datos debido a su bajo consumo de ancho de banda y recursos. Esta característica permite una rápida y efectiva comunicación entre dispositivos, optimizando la eficiencia del sistema en términos de velocidad y uso de recursos.
- Se realizó la programación en los microprocesadores Raspberry Pi 4, los cuales están encargados de obtener los datos de la línea de extrusión, envío de datos y cálculo de los índices de producción. Se estableció una comunicación directa y eficiente entre las líneas de producción y el control, el cual nos permite disminuir significativamente los errores de los operarios, dado que el sistema anterior era totalmente manual. Cabe destacar que el sistema desarrollado permite su integración eficiente en una variedad de proyectos futuros. Su diseño versátil y la flexibilidad de sus componentes posibilitan una implementación física.
- El desarrollo de las interfaces gráficas en Qt Designer (Python) y Qt Creator (C++) permite la visualización de datos de los índices de producción de cada línea de extrusión. Dichas interfaces son intuitivas las cuales permiten una comprensión directa para la interpretación de los indicadores, El uso de Qt Designer y PyQt5 ofrecen una simplicidad no solo de implementación sino de interpretación del código debido a la sencillez de su sintaxis. Por otro lado, el uso de Qt Creator en lenguaje C++ ofrecen optimización en tiempo de ejecución debido a que su lenguaje es de bajo nivel, el cual nos permite manipular el uso de la memoria dinámica lo cual implica menos requerimientos del sistema.

Recomendaciones

- Es importante tener la arquitectura debidamente definida desde el inicio del proyecto para garantizar la eficiencia del proceso. Entre ellos incluye la organización de los tópicos de cada dispositivo, identificación del tiempo adecuado para el envío de datos evitando el pico de botella en el protocolo de comunicación, de igual manera para la base de datos evitando datos basura, y, por último, mejorar la calidad de servicio del protocolo MQTT para asegurar la exitosa transmisión y recepción de datos.
- El PLC Proxsys ha demostrado eficacia en el manejo actual de celdas de carga y operaciones de pesaje, la falta de información disponible plantea preocupaciones potenciales para la sostenibilidad y la resolución de problemas a largo plazo. Se recomienda abordar este desafío mediante la creación de documentación interna detallada y la colaboración continua con el proveedor para garantizar una gestión efectiva del controlador en futuros escenarios.
- Se recomienda proporcionar un detalle exhaustivo de cada paso ejecutado en cada etapa del proyecto, abordando aspectos como la funcionalidad de la programación y de cada sistema implementado. Esta medida contribuirá significativamente a facilitar la comprensión del proyecto para las personas que puedan estar involucradas en el futuro, permitiéndoles realizar mejoras de manera más efectiva. La claridad en la documentación facilita la identificación en el desarrollo continuo del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Aula 21.* (2023). Obtenido de Centro de Información Técnica para la Industria: <https://www.cursosaula21.com/modbus-que-es-y-como-funciona/#:~:text=Modbus%20es%20el%20protocolo%20de,para%20conectar%20dispositivos%20electr%C3%B3nicos%20automatizados.>
- (s.f.). *Controlador lógico programable - PLC* -. Buenos Aires. Obtenido de <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/34/33734/5ec0cdabf060392904acb56348c3b8a9.pdf>
- COPADATA.* (s.f.). Obtenido de <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data/>
- Delta Electronics.* (2024). Obtenido de <https://www.deltaww.com/en-us/products/Touch-Panel-HMI-Human-Machine-Interfaces/ALL/>
- Farnell.* (2023). Obtenido de <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>
- Flintec.* (2024). Obtenido de <https://www.flintec.com/co/sensores-de-peso/celdas-de-carga/what-is-a-load-cell-and-how-does-it-work>
- Gastreich, W. (16 de Noviembre de 2020). *REALPARS.* Obtenido de <https://realpars.com/iiot/>
- Kreutzfeld, F. (11 de Febrero de 2020). *Delta Máquinas Textiles.* Obtenido de ¿Qué es y cómo calcular el índice OEE de su producción?: <https://www.deltamaquinastexteis.com.br/es/que-es-y-como-calcular-el-indice-oee-de-su-produccion/>
- Llamas, L. (18 de Abril de 2019). *Luis Llamas.* Obtenido de Ingeniería, informática y diseño: <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iiot/>
- Logicbus.* (2023). Obtenido de <https://www.logicbus.com.mx/plc.php>
- MQTT.* (2022). Obtenido de The Standard for IoT Messaging: <https://mqtt.org/>
- Nurul Huda, S., & Embong, H. (2021). *Overall Equipment Utilisation (OEU) Monitoring and Remote Quality Check in Legacy Machine with Raspberry Pi.* Malaysia.
- Proxsys.* (s.f.). Obtenido de <https://www.proxsys.com.br/>
- Qt Group.* (2024). Obtenido de <https://www.qt.io/product/development-tools>

Raspberry Pi. (2012). Obtenido de <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>

RealPars. (2023). Obtenido de <https://www.realpars.com/blog/iiot>

TECmikro. (2023). Obtenido de <https://tecmikro.com/modulos-shields/598-modulo-wifi-esp8266-nodemcu.html#:~:text=El%20chip%20ESP8266%20es%20un,facilita%20su%20conexi%C3%B3n%20y%20programaci%C3%B3n>

APÉNDICE

Interfaz Hombre-Maquina

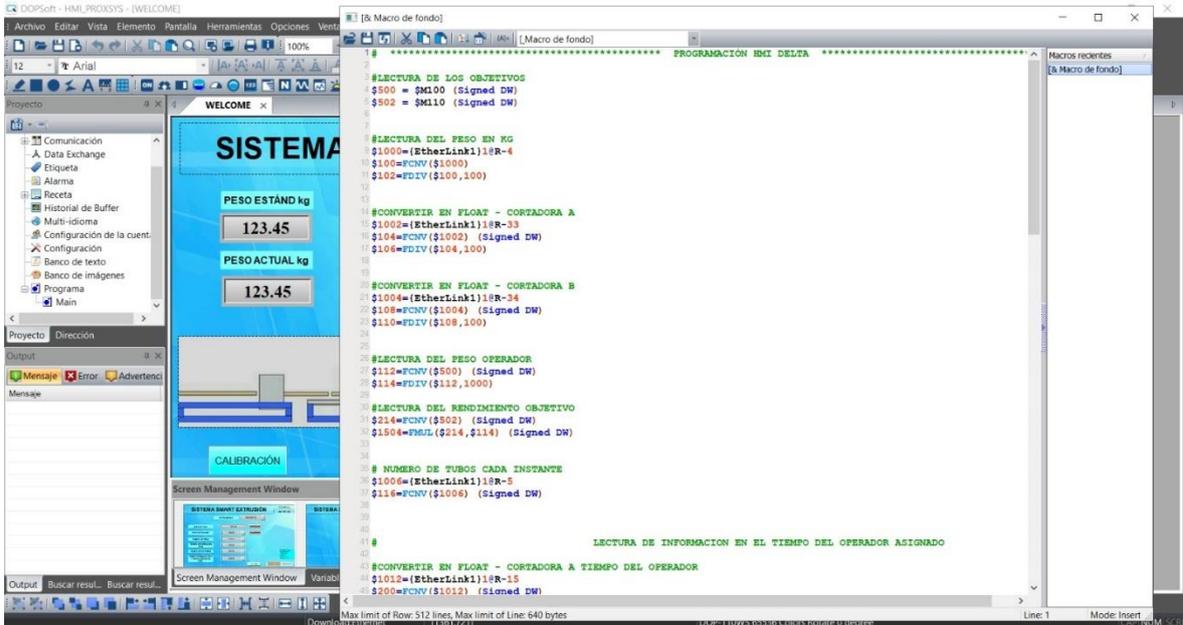


Figura 18: Programación HMI Delta

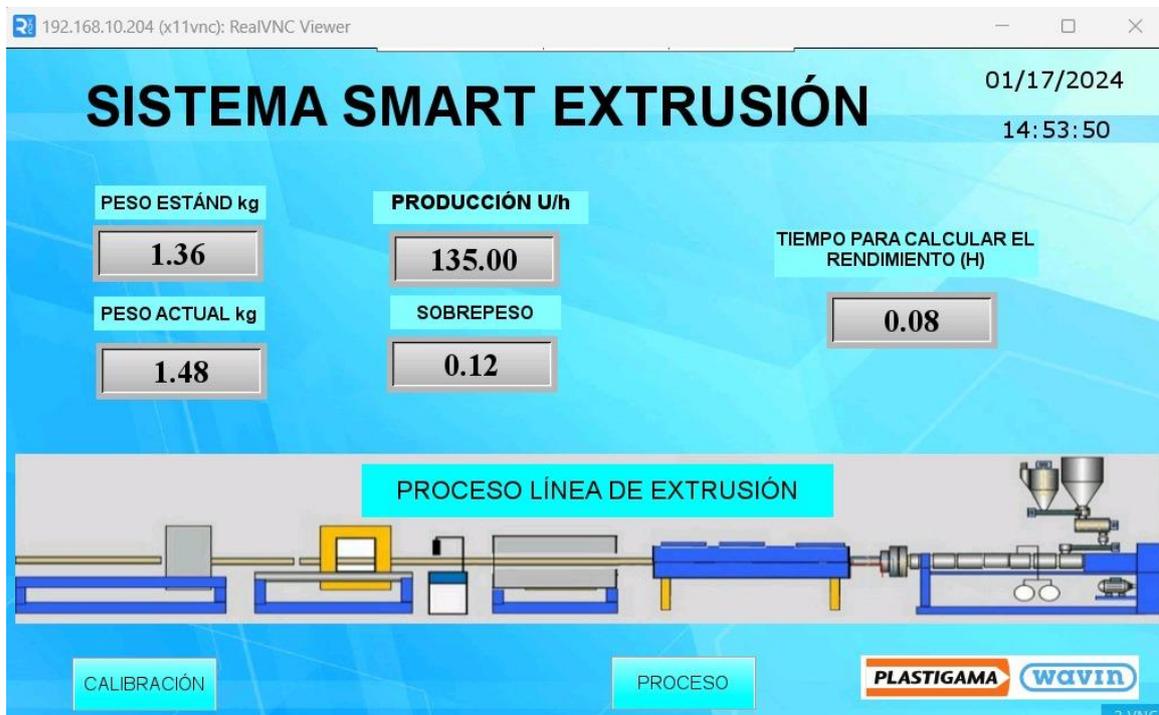


Figura 19: Pantalla principal HMI Delta

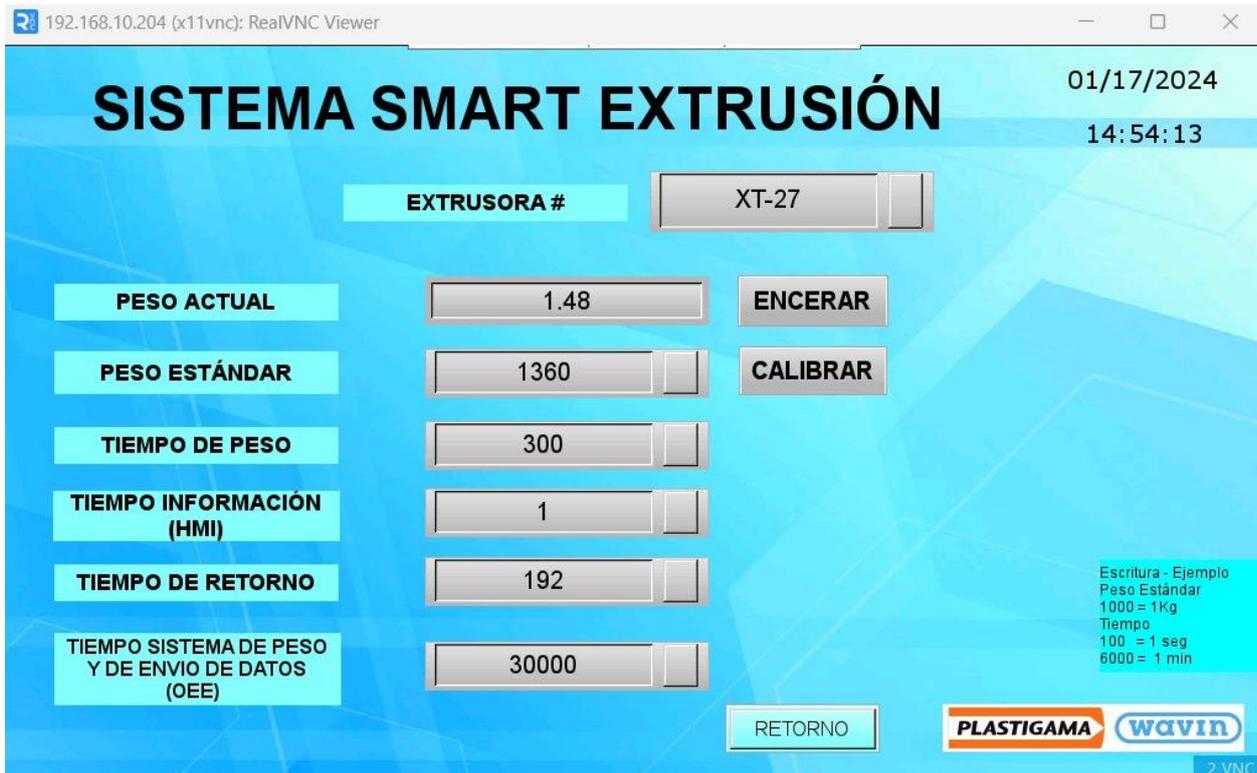


Figura 20: Pantalla calibración HMI Delta

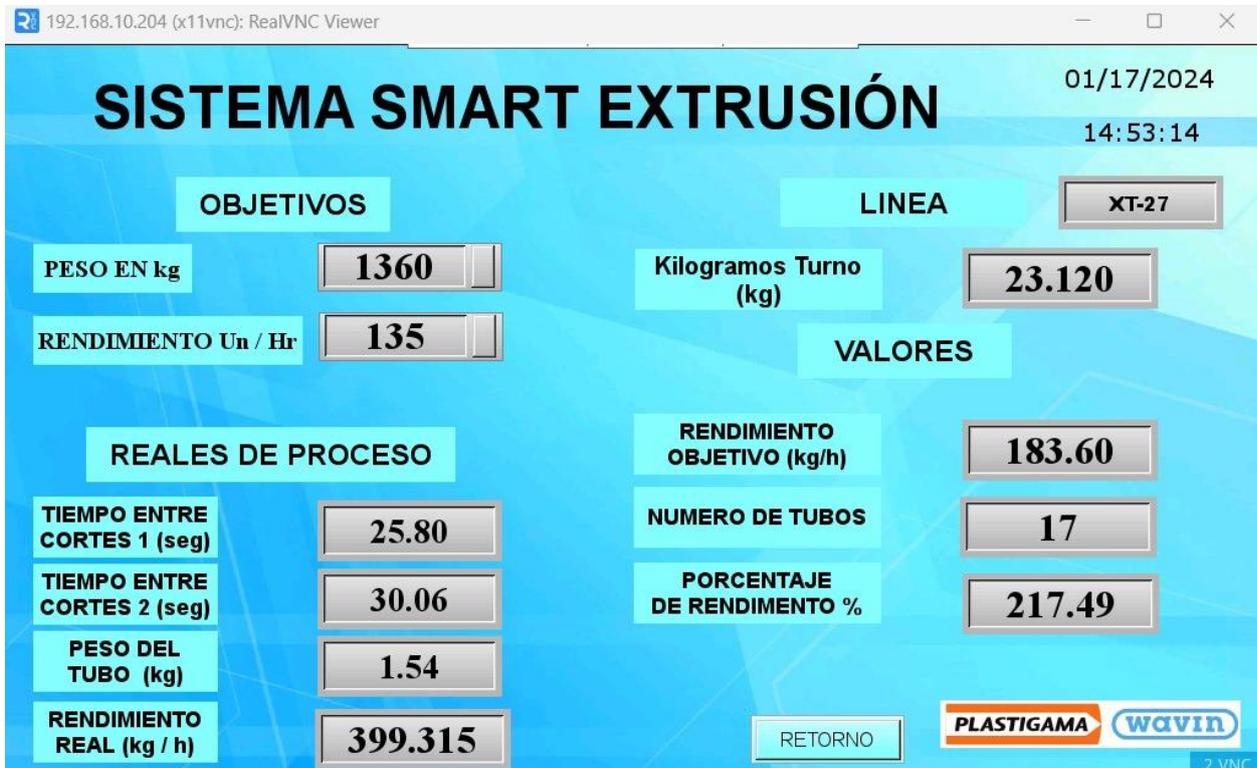


Figura 21: Pantalla proceso HMI Delta

PLC Proxsys

Editor LADDER >>> SCPWS1

Arquivo Comunicação Simulações

Localizar

Compila Conecta / Grava PLC

Depuração - Ativada Simul - Desativada

Bobinas e Final de linha

TON CNT MENU MOV P1 P2 MAT

Contatos e Edição

inserir Eliminar Limpiar IHM

Matemática e Comparação

Controladores Proxsys

CP-WS13/4D04D11AI-Celula de Carga/ETH

www.proxsys.com.br

Lin: 1 Col: 1

L1: CALIBRACIÓN: M156=1 ; M155:PESO DEL P

R20

L2: ZERO: SE RESETEA LA BASCULA A "0"

R21

L3: PESO DE LA CARGA EN KG

L[5] / k:10 L[20] =

L4: GUARDA EL PESO EN KG EN LA M5

R10

PESO ESTANDAR LO PASA A M155

R10

VISUALIZA LA INFORMACION DEL TIEMPO ENVINP

R10

M1-M60	M61-M120	M121-M180	M181-M240	M241-M250
M1	?		M31	1360
M2	?		M32	?
M3	?		M33	?
M4	?		M34	300
M5	148		M35	1
M6	17		M36	192
M7	154		M37	30000
M8	148		M38	30000
M9	?		M39	?
M10	?		M40	?
M11	?		M41	1
M12	?		M42	192
M13	?		M43	30000
M14	?		M44	?
M15	?		M45	?
M16	?		M46	?
M17	?		M47	?
M18	?		M48	?
M19	?		M49	?
M20	?		M50	?
M21	3006		M51	?
M22	2580		M52	2580
M23	?		M53	3006
M24	?		M54	?
M25	?		M55	?
M26	?		M56	?
M27	?		M57	?
M28	?		M58	?
M29	?		M59	?
M30	?		M60	?

Figura 22: Programación PLC Proxsys



Figura 23: Prototipo Sistema de pesaje

Raspberry OEE Andon Extrusión

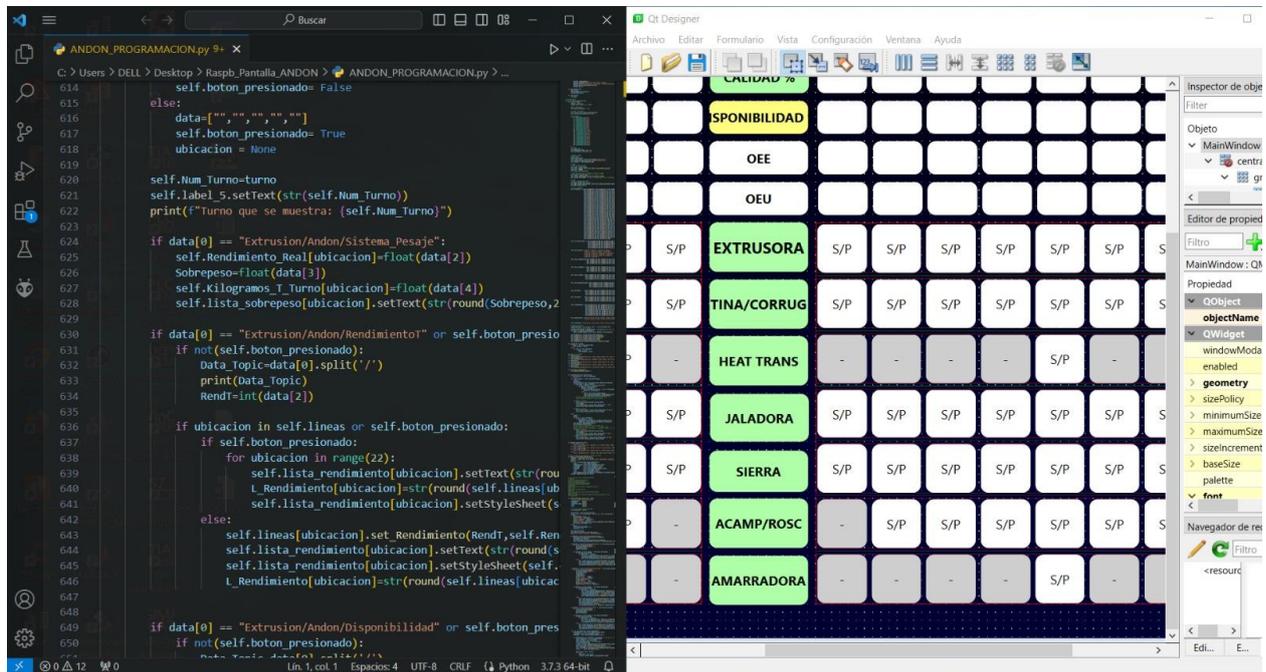


Figura 24: Programación Raspberry OEE Extrusión

Raspberry Ingreso Datos OEE

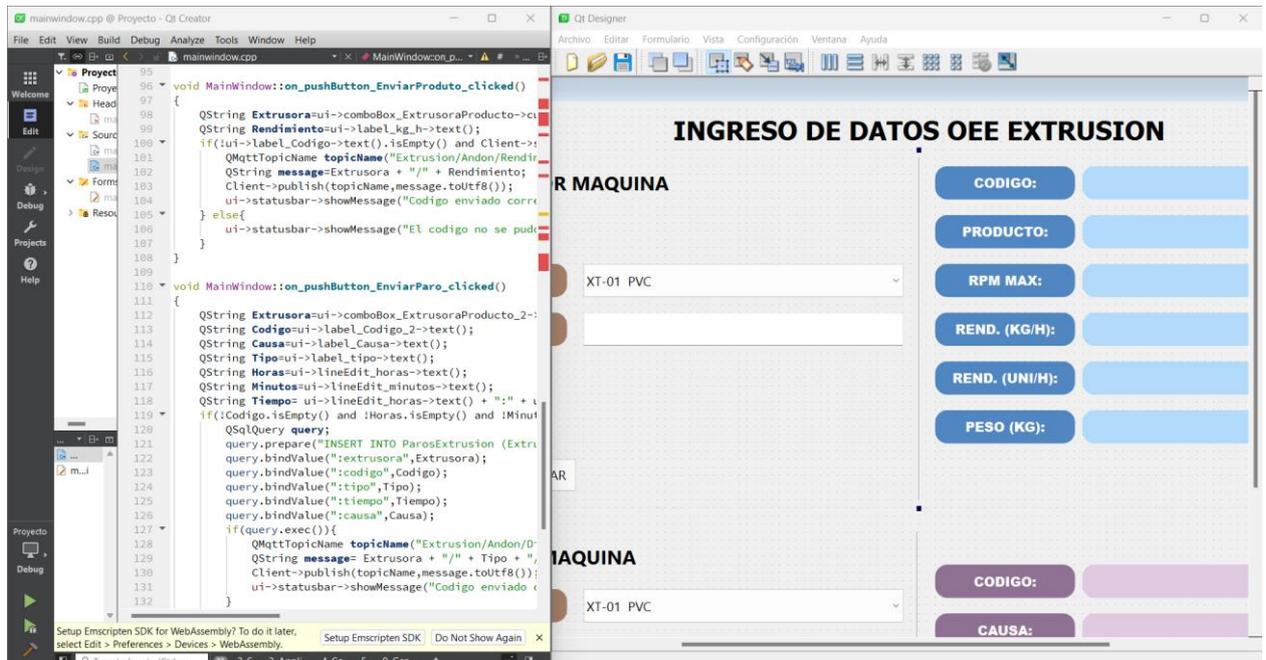


Figura 25: Programación raspberry ingreso de datos OEE