



POSGRADOS

Maestría en **AUTOMATIZACIÓN PARA LA INDUSTRIA 4.0**

RPC-SO-37-NO.653-2023

Opción de Titulación:

Artículos profesionales de alto nivel

Tema:

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL IIOT PARA LA ADQUISICION DE DATOS EN PROCESOS EN MÁQUINA COEXTRUSORA DE 3 CAPAS

Autor

Ronan Damian Toapanta Velasco

Director:

Juan Carlos Domínguez Ayala

QUITO – Ecuador

2025



Autor:



Ronan Damian Toapanta Velasco.

Ingeniero Mecatrónico

Candidato a Magíster en Industria 4.0, Por la Universidad
Politécnica Salesiana- Sede Quito.

rtoapantav1@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Juan Carlos Domínguez Ayala

Ingeniero en Sistemas

Máster en Redes de Comunicaciones.

jdominguez@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2025 Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO – ECUADOR – SUDAMÉRICA

RONAN DAMIAN TOAPANTA VELASCO.

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DE MONITOREO Y CONTROL IIOT PARA LA ADQUISICION DE DATOS
EN PROCESOS EN MÁQUINA COEXTRUSORA DE 3 CAPAS**

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL IIOT PARA LA ADQUISICION DE DATOS EN PROCESOS EN MÁQUINA COEXTRUSORA DE 3 CAPAS

Ronan Damian Toapanta Velasco

Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador

Resumen

En este artículo, se realizará una evaluación de viabilidad técnica y operativa para la implementación de un sistema de control de adquisición de datos en procesos de máquinas 3.0. El objetivo es mejorar la eficiencia productiva de estas máquinas, adaptándolas al estándar de la Industria 4.0. Esto implica la recopilación de variables específicas de las máquinas, que se utilizarán para interpretar y optimizar su productividad, transformándolas así en máquinas aptas para la era de la Industria 4.0.

Abstract

For this article, a comprehensive evaluation will be conducted on the technical, economic, and operational feasibility of implementing a control system for data acquisition in processes involving 3.0 machines. The aim is to enhance the productive efficiency of these machines, raising them to the standard of 4.0 machines. This entails gathering specific machine variables, which will be utilized to interpret and optimize productivity, thereby transforming it into a machine suitable for the era of Industry 4.0.

Palabras clave— IoT; IIoT; Industria 4.0 .

1 Introducción

La evolución tecnológica ha impulsado la transformación digital en los procesos industriales, dando paso a la Industria 4.0, donde la conectividad, la automatización y la analítica avanzada permiten mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en tiempo real. En este contexto, los sistemas de monitoreo y control basados en Internet de las Cosas (IoT) han demostrado ser herramientas fundamentales para optimizar la gestión de datos operacionales en diversas industrias, incluyendo la manufactura de plásticos.

La extrusión de plásticos es un proceso altamente dependiente de la estabilidad de variables críticas como la temperatura, la presión y la humedad, cuyos valores afectan directamente la calidad del producto final. Actualmente, muchas empresas procesadoras de plásticos aún dependen de métodos convencionales de supervisión, lo que limita la capacidad de respuesta ante desviaciones en el proceso y aumenta el riesgo de defectos en la producción. La ausencia de un monitoreo en tiempo real reduce la eficiencia operativa y dificulta la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo.

1.1 Planteamiento del Problema e Hipótesis de Investigación

El monitoreo y control eficiente de los procesos industriales es un factor clave en la optimización de la producción y la reducción de pérdidas operativas. Actualmente, en la industria de plásticos, la supervisión de variables críticas como temperatura, presión y humedad en máquinas coextrusoras se realiza, en muchos casos, mediante métodos tradicionales que limitan la capacidad de reacción ante desviaciones en el proceso. La falta de un sistema automatizado de adquisición de datos impide implementar estrategias avanzadas de mantenimiento predictivo y análisis de eficiencia en tiempo real.

Ante esta problemática, surge la necesidad de integrar un sistema de monitoreo y control basado en IoT que permita capturar y gestionar datos operativos en tiempo real. En este contexto, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el impacto de la implementación de un sistema de monitoreo y control basado en IoT en la adquisición de datos en una máquina coextrusora de tres capas?

Este estudio tiene como objetivo evaluar la factibilidad técnica y operativa de una solución IoT en este tipo de maquinaria, determinando su impacto en la precisión del control del proceso, la reducción de tiempos de inactividad y la optimización de la calidad del producto final.

Hipótesis de Investigación: "La implementación de un sistema de monitoreo y control basado en IoT en una máquina coextrusora de tres capas permitirá una mejora significativa en la adquisición y gestión de datos operativos, optimizando la estabilidad de las variables del proceso, reduciendo el tiempo de respuesta ante anomalías y facilitando la toma de decisiones basada en datos."

1.2 Justificación

La incorporación de sistemas de monitoreo inteligente basados en IoT representa una oportunidad clave para la modernización del sector manufacturero, alineando los procesos industriales con los principios de la Industria 4.0. En el caso de la extrusión de plásticos, contar con un sistema que permita la adquisición y análisis de datos en tiempo real es esencial para:

- Optimizar la calidad del producto final, garantizando condiciones estables de temperatura, presión y humedad.
- Reducir los tiempos de inactividad, al detectar y corregir desviaciones en el proceso de manera temprana.
- Implementar estrategias de mantenimiento predictivo, disminuyendo los costos operativos y mejorando la disponibilidad del sistema.
- Facilitar la toma de decisiones basada en datos, a través de una plataforma en la nube accesible de manera remota.

Desde una perspectiva académica, esta investigación contribuye al estudio de la digitalización de procesos industriales, proporcionando un modelo replicable para la implementación de sistemas

IoT en la manufactura de plásticos. A nivel empresarial, se espera demostrar que la integración de esta tecnología puede mejorar la eficiencia operativa y generar un retorno de inversión positivo.

1.3 Metodología de Investigación

El estudio se desarrolla bajo un enfoque de investigación experimental, basado en la integración de dispositivos IoT en la máquina coextrusora de tres capas. Para ello, se sigue un proceso estructurado en cinco fases: análisis de requerimientos, diseño del sistema, desarrollo del prototipo, validación en condiciones reales y análisis de resultados. Inicialmente, se identificaron las variables críticas del proceso (temperatura, presión y humedad) y se seleccionaron los sensores y módulos IoT adecuados. Posteriormente, se definió la arquitectura del sistema, estableciendo la comunicación entre los sensores, el PLC y la plataforma en la nube, considerando criterios de escalabilidad y compatibilidad con la maquinaria existente.

El desarrollo del prototipo implicó la configuración del hardware y software, asegurando la transmisión en tiempo real de los datos operativos. En la fase de validación, se realizaron pruebas en la máquina para evaluar la precisión en la medición, el tiempo de respuesta del sistema y su impacto en la eficiencia operativa. Finalmente, se analizaron los datos obtenidos antes y después de la implementación del sistema IoT, permitiendo determinar su viabilidad y beneficios en términos de optimización del proceso y reducción de fallas.

1.4 Estado del Arte

1.4.1 IoT Internet de las cosas

El Internet de las Cosas (IoT) representa la integración a través de una red de redes que engloba una diversidad de dispositivos. Puede conectar todos estos dispositivos, desde electrodomésticos hasta objetos e incluso estructuras como torres de construcción, mediante interfaces de conexión sencillas y capacidades de comunicación. La premisa subyacente es mejorar la comodidad en la vida cotidiana y gestionar aspectos simples mediante la información generada por grandes volúmenes de datos, también conocidos como macrodatos o big data (López Garzón and Cárdenas López, 2019).

Esta información puede utilizarse para controlar diversos aspectos, como la temperatura en los hogares, el uso de dispositivos como vehículos y televisores, e incluso la seguridad del hogar. Aunque la idea de IoT ha estado presente durante algún tiempo, solo en la última década ha cobrado relevancia a gran escala, con inversiones significativas por parte de actores globales y potencias mundiales. Por ende, se debe explorar las potencialidades de la IoT y el big data en el contexto global actual (López Garzón and Cárdenas López, 2019).

La sociedad se encuentra inmersa en la era de la Internet de las cosas (IoT), que abarca todos los dispositivos físicos conectados a la red. Esta categoría amplia incluye tanto el IoT de consumo (CIoT) como el IoT industrial (IIoT), abarcando desde dispositivos domésticos inteligentes como termostatos, asistentes de voz y cámaras, hasta dispositivos utilizados en sectores como la fabricación, el transporte y la atención sanitaria (DigiCert, 2023).

Se vuelve complicado incorporar actuadores y sensores a objetos cotidianos, con la intención de que puedan identificar su entorno, tomar decisiones, recopilar datos y compartirlos a través de una red de comunicaciones generalmente pública, ha presentado ante nosotros un escenario peculiar para el cual la legislación actual se encuentra insuficientemente preparada por los costos de aplicación (Evelyn Brindha and Anitha Mary, 2023).

- **Motores:** Entre los actuadores más comúnmente utilizados se encuentran los motores, los cuales presentan diversas formas y tipos de control. La modulación por ancho de pulso (PWM) es la técnica típicamente empleada para gestionar estos motores. Consiste en enviar pulsos de ancho variable para que el motor se mueva en proporción a la duración del pulso (Jesús González García et al., 2017).

- **Servomotores:** Estos actuadores posibilitan el control preciso de la posición dentro de un rango específico, manteniendo estable dicha posición. La señal PWM también se utiliza para controlarlos, siendo la duración de los pulsos indicativa de la posición o el ángulo de rotación. En ausencia de señal, el servo queda en reposo ([Jesús González García et al., 2017](#)).
- **Motores paso a paso (Steppers):** Estos motores avanzan en pasos o grados predeterminados en su eje. Se requiere un circuito para generar señales que se envían al motor, permitiendo movimientos precisos de pocos grados en cada paso ([Jesús González García et al., 2017](#)).
- **Electroválvulas:** Válvulas controladas electrónicamente que regulan el paso de líquidos o gases. Su funcionamiento es simple, con dos posiciones: abierto o cerrado, facilitando un control directo ([Jesús González García et al., 2017](#)).

Los principales riesgos dentro de una clasificación de activos pueden ser organizadas de acuerdo a su categoría, tipo, nivel de impacto y los activos IoT potencialmente afectados. En términos de categorías de incidentes, se han examinado diversas situaciones, como ataques o abusos, intersección o secuestro, caídas, daños, fallos o averías, desastres y ataques físicos ([Cartuche Calva et al., 2021](#)).

Los sistemas de identificación y prevención de intrusiones (IDS/IPS) son herramientas especializadas que monitorizan el tráfico en la red, detectando y bloqueando actividades maliciosas, permitiendo únicamente el tráfico benigno, y al mismo tiempo, mejorando la seguridad integral de la red, los dispositivos y la información ([Gómez Castaño et al., 2023](#)).

La perspectiva de la Internet de las Cosas (IoT) abarca un ecosistema global altamente conectado, donde todos los dispositivos con capacidades de comunicación se integran de forma ubicua en la red. Sin embargo, lograr el pleno potencial de la IoT no se limita a la simple conexión de dispositivos a Internet; también implica que estos dispositivos se comuniquen e interactúen entre sí ([Yacchirema Vargas, 2019](#)).

Lamentablemente, la construcción de un ecosistema global en el que los dispositivos se conecten sin problemas es prácticamente un desafío insuperable en la actualidad. La complejidad radica en que la IoT está compuesta por una amplia gama de dispositivos heterogéneos en cuanto a formato de datos y componentes de comunicación, incluyendo hardware, tecnologías y protocolos de comunicación ([Yacchirema Vargas, 2019](#)).

1.4.2 Industria 4.0

La cuarta revolución industrial, denominada Industria 4.0, propugna la conexión de los sistemas físicos industriales con el ámbito digital, instando a las organizaciones a abandonar su situación actual. Este fenómeno constituye un punto de partida para que las organizaciones asimilen esta nueva revolución y transiten hacia este paradigma desde su posición actual ([Mora-Sánchez and Guerrero-Marín, 2020](#)).

Al abordar los desafíos que implica la cuarta revolución industrial para las organizaciones, destacando su importancia y características, y explicando su influencia en aspectos relacionados con la implementación organizacional ([Mora-Sánchez and Guerrero-Marín, 2020](#)).

Al abordar los desafíos que implica la cuarta revolución industrial para las organizaciones, destacando su importancia y características, y explicando su influencia en aspectos relacionados con la implementación organizacional ([Mora-Sánchez and Guerrero-Marín, 2020](#)).

En la actualidad, cualquier organización, empresa o entidad, independientemente de su industria y volumen de transacciones, requiere herramientas tecnológicas para garantizar el éxito de su gestión y mantenerse a la vanguardia en el ámbito tecnológico. Desde la perspectiva

tecnológica, la educación está estrechamente vinculada al acceso y la gestión efectiva de la información ([JONATHAN JOSE RODRIGUEZ QUINDE, 2020](#)).

La visión de la empresa abarca un sistema de energía inteligente que integra tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT) y la Realidad Virtual (RV), así como funciones de medición, control de iluminación, automatización y control de procesos industriales. El objetivo es mejorar la productividad, confiabilidad y disponibilidad ([Jiménez, 2023](#)). En este contexto, la multinacional alemana busca fomentar el desarrollo tecnológico industrial y liderar la transformación digital en México con la meta de hacer al país más competitivo y consolidarlo como la potencia industrial de América Latina ([Jiménez, 2023](#)).

Se exploran las conexiones entre la implementación de Big Data e Internet de las cosas (IoT) y el comportamiento de los empleados en la industria de fabricación de productos químicos, centrándose especialmente en el papel intermedio de la innovación organizacional. Al usar una naturaleza cuantitativa, involucrando encuestas a empleados, análisis estadístico y pruebas de mediación ([Nuryanto et al., 2024](#)). Los resultados principales indican que la adopción de Big Data tiene un impacto positivo significativo en la innovación organizacional, lo que se traduce positivamente en el comportamiento ciudadano organizacional (OCB) de los empleados. En contraste, la adopción de IoT influye positivamente en la innovación organizacional, pero no tiene un efecto directo en el OCB ([Nuryanto et al., 2024](#)).

La Industria 4.0 presenta beneficios significativos al hacer que las operaciones sean más eficientes, lo cual resulta en una reducción de costos y un aumento en la productividad empresarial. Además, agiliza los tiempos de producción, otorgándoles mayor flexibilidad. Asimismo, mejora los procesos de entrega de servicios y la experiencia del cliente al permitir la adaptación de productos según las necesidades y preferencias individuales ([di Nardo, 2023](#)).

1. El análisis de grandes volúmenes de datos, conocido como Big Data, que abarca diversos tipos de información con el propósito de descubrir y analizar patrones ocultos para la toma de decisiones y las redes móviles que buscan la conectividad no solo entre personas, sino también con el Internet de las cosas (IoT), complementadas por aplicaciones y servicios de red en la nube ([Aya](#)).
2. La telemedicina, que mejora la accesibilidad a las citas médicas, beneficiando a pacientes con movilidad reducida y superando limitaciones geográficas con la ciberseguridad, que se ocupa de proteger contra accesos no autorizados a la información, especialmente crucial en la gestión de la telemedicina y fichas médicas ([Aya](#)).
3. El marketing digital, con roles como la social media manager y el Community Manager, quienes desempeñan funciones clave en su ejecución además de la realidad virtual, aumentada y los videojuegos, que se han convertido en pilares de diversas industrias, permitiendo el desarrollo de prototipos virtuales y procesos de capacitación ([Aya](#)).

En el ámbito de la Interconexión, la mejora de la eficiencia de la fabricación y la reducción de la carga de trabajo mediante el intercambio de datos entre dispositivos pueden aumentar la susceptibilidad de los sistemas de red a diversos ataques de intrusión. Existe una necesidad evidente de desarrollar algoritmos de detección de intrusiones eficientes para dispositivos conectados ([Sun et al., 2024](#)).

Debido al rápido crecimiento previsto de la población en los años venideros y a la limitada capacidad de las cadenas de suministro para atender la creciente demanda mundial de alimentos, Siemens, la empresa alemana, y el startup mexicana Verde Compacto han establecido una colaboración con el propósito de demostrar los beneficios de la digitalización y la incorporación de tecnología en la agricultura. La iniciativa propone la implementación de granjas verticales en áreas urbanas que enfrentan restricciones de espacio y recursos naturales ([Jiménez, 2023](#)).

Con la perspectiva inminente de la llegada de la Industria 5.0 se plantean desafíos y ventajas, siendo uno de ellos la preparación del recurso humano encargado de llevar a cabo los nuevos

procedimientos vinculados a la transformación digital durante la implementación de la cuarta revolución industrial. La responsabilidad de desarrollar un capital humano con habilidades de pensamiento digital en un entorno hiperconectado recae no solo en el Estado, sino también de manera fundamental en los sistemas educativos de nivel medio y superior (Cuchillac, 2023).

1.4.3 Aplicaciones prácticas del IIoT(Industrial Internet of Things)

Con la llegada de la cuarta revolución industrial, la humanidad se encuentra inmersa en una rápida transición hacia la digitalización de procesos, permitiendo el acceso, la gestión y la administración de actividades tanto en entornos empresariales como domésticos a través de Internet (Gómez Castaño et al., 2023).

En la actualidad, diversas herramientas, aplicaciones y sistemas contribuyen a fortalecer la seguridad de los dispositivos, programas e información en las redes de datos. Ejemplos de estos son los firewalls, las redes privadas virtuales, programas antivirus y antimalware, así como técnicas de criptografía (Gómez Castaño et al., 2023).

Como ejemplo de esto se puede mencionar el proyecto de Patiño donde se crea una arquitectura de control redundante mediante el uso de IoT, con el propósito de mejorar su eficiencia. Este enfoque se inicia con la aplicación de un modelo matemático no lineal de un tanque cónico en conexión con un controlador en la nube a través del protocolo MQTT. Se implementa un control local proporcional-integral (PI) con la capacidad de transferir automáticamente el control del sistema en caso de una posible falla en la red IoT (Patiño-Forero et al., 2022).

Los resultados obtenidos revelan un incremento en la disponibilidad del sistema de control frente a fallas reales en la comunicación del sistema de control de nivel del tanque. Además, se demuestra la integración eficaz de tecnologías de bajo costo. La estructura de esta investigación se organiza de la siguiente manera: se realiza una revisión de trabajos relacionados, se sigue la metodología que abarca el modelado del tanque y los pasos para llegar a la implementación de la arquitectura de control redundante (Patiño-Forero et al., 2022).

Explorar las tendencias del mantenimiento futuro en la INDUSTRIA 4.0 a través de las innovaciones tecnológicas de Fracttal, que habilitan una gestión de mantenimiento más sostenible, segura y eficiente (Fracttal, 2022).

Es posible gracias a tecnologías como Cloud, Mobile y Machine Learning, integradas en las soluciones de Smart Maintenance ofrecidas por Fracttal. Los gerentes obtienen una visión centralizada y digital de su departamento de mantenimiento, con acceso a los KPI's de los resultados de la implementación de este sistema (Fracttal, 2022).

Los planificadores tienen la capacidad de ejecutar su estrategia de mantenimiento y optimizarla paso a paso, manteniéndose siempre informados y conectados. Los técnicos pueden llevar a cabo sus tareas diarias de mantenimiento de manera completa, en una sola plataforma, desde cualquier ubicación, con toda la información disponible directamente desde la nube (Fracttal, 2022).

En el contexto de la Industria 4.0, se identifican diversas áreas donde la innovación del Internet de las cosas (IoT) tiene un impacto significativo, convirtiéndola en una de las áreas más utilizadas para una amplia gama de aplicaciones como se puede observar en la Figura 2. Entre estas, se destacan los sistemas de integración horizontal y vertical, esenciales en la industria, así como la ciberseguridad, que desempeña un papel crucial en la protección de los sistemas informáticos y de las infraestructuras industriales. Otra área de aplicación relevante es la realidad aumentada, que ofrece oportunidades para la innovación mediante aplicaciones específicas.

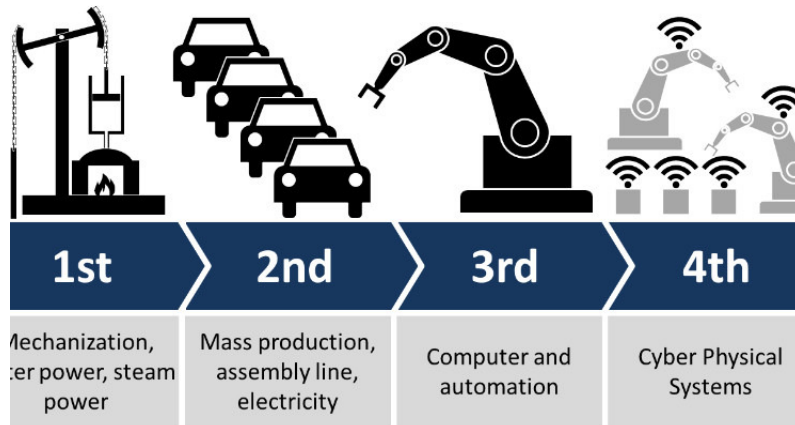


Figura 1: Revoluciones Industriales



Figura 2: Industria 4.0

La computación en la nube emerge como una herramienta fundamental, especialmente en la recolección de datos de robots autónomos para evaluar la eficiencia productiva de las máquinas. Esta convergencia se alinea con el Internet Industrial de las Cosas, una piedra angular de la Industria 4.0, donde el análisis de datos masivos (Big Data) se utiliza para obtener información valiosa de las máquinas, impulsando así la eficiencia, productividad y confiabilidad en el entorno industrial.

De aquí en adelante, este artículo está organizado de la siguiente manera: en la Sección 2, se presenta el estado del arte, donde se analiza la evolución de las tecnologías IoT aplicadas en la manufactura y su impacto en la optimización de procesos industriales. En la Sección 3, se describe la metodología empleada para el desarrollo e implementación del sistema de monitoreo, detallando los componentes utilizados y el enfoque adoptado. Los resultados obtenidos y el análisis de su impacto en el proceso de extrusión de plásticos se presentan en la Sección 4, junto con una discusión sobre su relevancia en el contexto de la Industria 4.0. Finalmente, en la Sección 5, se exponen las conclusiones, resaltando las mejoras logradas y las posibles aplicaciones futuras del sistema propuesto.

2 Sección 2: Materiales y Métodos

2.1 Entorno de estudio

2.1.1 Descripción de la industria

La presente investigación se desarrolla en una empresa que desarrolla materiales a partir de plásticos, un sector fundamental dentro de la manufactura moderna debido a la creciente demanda de materiales plásticos en diversas aplicaciones industriales. La máquina objeto de estudio es una co-extrusora de tres capas, cuya operación es crucial para la producción de películas plásticas de alta calidad. Este tipo de maquinaria representa un pilar en los procesos de extrusión, donde la precisión y el control de variables operativas, como temperatura, presión y velocidad, son esenciales para garantizar la calidad del producto final. En el contexto de la Industria 4.0, la actualización tecnológica mediante la implementación de sistemas de monitoreo y control basados en IoT no solo mejora la operatividad, sino que también posiciona a las empresas del sector como referentes de innovación y competitividad en el mercado global.

2.1.2 Necesidades operativas

Ante la creciente complejidad y demanda para la calidad en los procesos industriales, surge la necesidad de implementar un sistema de monitoreo basado en IoT que permita la adquisición y supervisión de datos en tiempo real. Este enfoque no solo facilita la gestión de variables críticas, como temperatura, presión y velocidad en la máquina co-extrusora, sino que también habilita la integración con una nube de datos, garantizando un acceso seguro y centralizado a la información procesada. Esta necesidad se fundamenta en la importancia de modernizar las operaciones industriales, optimizando recursos y asegurando un mejor control sobre los parámetros clave, lo que se traduce en mayor estabilidad del proceso y reducción de tiempos de inactividad. Además, esta implementación permite a las empresas avanzar hacia la digitalización completa, alineándose con los principios de la Industria 4.0 y fortaleciendo su competitividad en un mercado global cada vez más exigente.

2.2 Materiales utilizados

2.2.1 Hardware

- La arquitectura de hardware incluye sensores de temperatura, presión y humedad, seleccionados para garantizar la captura precisa de las variables críticas del proceso. También se incorpora el router IoT DX-2300LN-WW, un dispositivo clave para la conectividad que permite la transmisión segura y confiable de datos hacia la nube mediante protocolos de comunicación modernos como Wi-Fi y Ethernet. Además, se utilizan fuentes de alimentación robustas para mantener la estabilidad energética del sistema y módulos de integración que conectan los sensores con la infraestructura IoT.
- Estos componentes permiten un control y monitoreo remoto de las máquinas, brindando capacidades avanzadas para la adquisición de datos y el diagnóstico preventivo de fallas.

2.2.2 Software

- El software implementado incluye herramientas especializadas para la programación, análisis de datos, la configuración y control. Adicionalmente, se emplea la plataforma DIACLOUD, que facilita el almacenamiento en la nube, la supervisión en tiempo real y el acceso remoto a los datos de operación. Esta solución gratuita destaca por su capacidad para optimizar la prestación de servicios mediante la integración de múltiples dispositivos y su interfaz amigable para el diagnóstico remoto de fallas.
- Con estas herramientas, se habilita un sistema de monitoreo centralizado que soporta la toma de decisiones basada en datos y la optimización continua de los procesos industriales.

2.2.3 Infraestructura

- La infraestructura se basa en un módulo de conexiones diseñado específicamente para integrar todos los componentes del sistema IoT. Este módulo incluye un controlador local PLC DVP AS2, una interfaz HMI DOP103WQ y una fuente de alimentación de 24VDC 3.1 Amp. Además, el módulo incorpora breakers para el control y protección de fuerza, garantizando la seguridad operativa. El diseño del módulo permite adaptarse a diferentes requerimientos, facilitando su actualización y escalabilidad según las variables que se necesiten monitorear. Gracias a esta flexibilidad, cualquier máquina industrial puede ser modernizada y transformada en un sistema habilitado para IoT, maximizando su funcionalidad.
- En la figura 3, se observa la representación gráfica de la infraestructura con la conexión entre hardware y software.

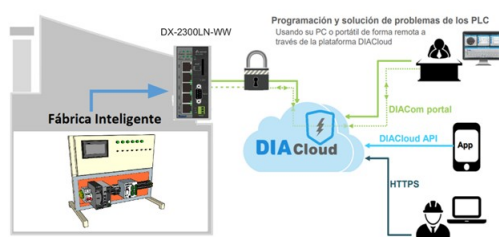


Figura 3: Conceptualización

2.3 Diseño Conceptual del Sistema

2.3.1 Esquema general del sistema IoT

El diseño conceptual del sistema IoT se estructura entorno a una interacción entre sensores, un controlador central y un sistema de almacenamiento de datos en la nube. Los sensores de temperatura, presión y humedad están conectados al controlador local PLC DVP AS2, que actúa como núcleo del sistema. Este controlador recibe las señales analógicas y digitales de los sensores, procesa los datos y los transmite a través del router IoT DX-2300LN-WW hacia la plataforma DIACLOUD. La plataforma en la nube almacena los datos, permitiendo su acceso remoto para el monitoreo y análisis en tiempo real.

- La interfaz HMI DOP103WQ ofrece una visualización local de los parámetros clave, permitiendo al operador interactuar directamente con el sistema para ajustar configuraciones o verificar alarmas. Este esquema asegura que cada componente funcione de manera coordinada, optimizando tanto la recolección como la interpretación de los datos operativos.

2.3.2 Identificación de las variables clave del proceso

Las variables críticas monitoreadas incluyen:

1. **Temperatura:** Control esencial para garantizar la calidad del producto durante el proceso de extrusión.
2. **Presión:** Indicador crucial para mantener la estabilidad del sistema y prevenir fallas operativas.
3. **Humedad:** Parámetro relevante para evitar defectos en los materiales procesados y asegurar condiciones óptimas de operación.

Este diseño permite que el sistema IoT se adapte a diferentes entornos industriales, proporcionando flexibilidad y escalabilidad para futuras integraciones tecnológicas.

2.3.3 Configuración de red y método de comunicación

La solución IoT incluye una configuración de red robusta basada en el módulo IoT DX-2300LN-WW, que actúa como un punto de enlace entre los sensores de la máquina y la plataforma DIACLOUD. Los datos capturados por los sensores son transmitidos al módulo IoT a través de conexiones RS-485 o Ethernet. Posteriormente, el módulo utiliza redes WAN para enviar los datos a la nube de manera segura, empleando protocolos HTTPS y garantizando la integridad de la información. Esta configuración permite el monitoreo en tiempo real de variables como la producción, el estado operativo de la máquina y las necesidades de mantenimiento preventivo. Además, la integración con DIACLOUD habilita el acceso remoto desde cualquier lugar, lo que facilita la solución de problemas sin necesidad de presencia física en la planta. Este enfoque optimiza la producción, minimiza tiempos de inactividad y asegura que las máquinas operen bajo parámetros ideales.

En la figura 4, se observa un diagrama conceptual de todos los medios de monitoreo que ofrece el módulo.

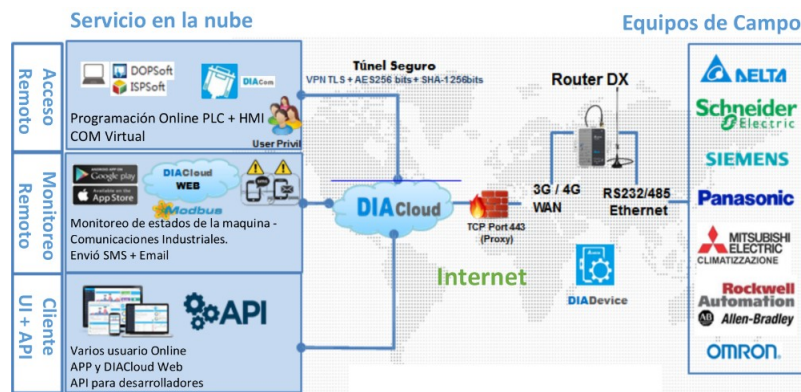


Figura 4: Diseño conceptual

2.4 Métodos

El presente estudio adopta un enfoque de investigación experimental aplicada, en el cual se implementa y evalúa un sistema IoT para el monitoreo y control de una máquina coextrusora de tres capas en un entorno industrial real. La metodología empleada se estructuró en varias etapas clave: diseño del sistema, selección de tecnología, adquisición de datos, validación y análisis de desempeño, con el objetivo de evaluar la viabilidad y efectividad de la solución propuesta.

En la fase de diseño del sistema, se definió una arquitectura IoT basada en sensores industriales, un PLC como unidad de control y un módulo de comunicación IoT para la transmisión de datos en tiempo real a una plataforma en la nube. La selección de tecnología se realizó bajo criterios de precisión, compatibilidad con entornos industriales y capacidad de escalabilidad. Se optó por sensores RTD Pt100 para temperatura, transductores de presión con salida 4–20 mA, y sensores de humedad digital, debido a su estabilidad y fiabilidad en procesos de extrusión. El PLC Delta DVP-AS2 fue elegido por su capacidad de integración con los circuitos de la máquina, y la plataforma DIACLOUD se seleccionó por su facilidad de acceso remoto y compatibilidad con el hardware implementado. Para la transmisión de datos, se utilizó el protocolo MQTT, garantizando una comunicación eficiente y estable.

El procedimiento de adquisición de datos inició con la instalación de sensores en puntos estratégicos de la máquina, asegurando una captura precisa de temperatura, presión y humedad. Los valores obtenidos fueron transmitidos al PLC y enviados al sistema en la nube mediante un módulo IoT, permitiendo la supervisión en tiempo real a través de interfaces gráficas configuradas en DIACLOUD.

Para garantizar la confiabilidad de los datos, se realizaron calibraciones iniciales comparando

las lecturas del sistema con instrumentos de referencia certificados, asegurando un margen de error inferior al 5%. Además, se implementó un análisis de redundancia de datos para detectar inconsistencias en las mediciones y se verificó la estabilidad de la comunicación IoT para evitar pérdidas de información.

El análisis de resultados se basó en indicadores de desempeño clave, como la disponibilidad del sistema, latencia de comunicación, precisión de los datos y confiabilidad de la transmisión. Se compararon las mediciones obtenidas antes y después de la implementación del sistema, permitiendo evaluar su impacto en la eficiencia operativa de la máquina coextrusora y la viabilidad de su adopción en entornos industriales.

Esta metodología permite validar la aplicación de tecnologías IoT en procesos de manufactura avanzada, alineándose con los principios de la Industria 4.0 y proporcionando una base técnica para futuras implementaciones en sistemas de monitoreo y control industrial.

3 Sección 3:Procedimiento

3.1 Análisis preliminar

3.1.1 Evaluación de las características y necesidades de la máquina co-extrusora

Una co-extrusora de tres capas es esencial en la producción de películas plásticas multicapa, combinando diferentes materiales para optimizar propiedades mecánicas. El proceso de co-extrusión implica la fusión y conformado simultáneo de múltiples polímeros, resultando en una película con capas distintas que ofrecen ventajas como mayor resistencia y propiedades de sellado mejoradas.

3.1.2 Características de la Máquina Co-extrusora de Tres Capas

- **Extrusoras:** Estas máquinas cuentan con tres tornillos extrusores individuales, cada una equipada con husillos de diámetros variables, comúnmente entre 20 mm y 80 mm, con una relación L/D (longitud a diámetro) de 30:1. Estas extrusoras procesan diferentes polímeros que se combinan en el cabezal de coextrusión para formar la estructura de tres capas.
- **Cabezal de Coextrusión:** El cabezal está diseñado para combinar los flujos de polímeros fundidos de las extrusoras, formando una película de tres capas. Los diámetros de los cabezales varían, siendo comunes los de 230 mm y 350 mm, dependiendo de la capacidad de producción y el ancho de la película deseada.
- **Sistema de Rebobinado:** Equipado con sistemas de rebobinado que permiten enrollar la película producida en bobinas de diferentes anchos y diámetros, facilitando su manipulación y almacenamiento.


3.1.3 Identificación de variables críticas a monitorear

- **Temperatura:** El control preciso de la temperatura en las zonas de calentamiento de las extrusoras y en el cabezal de coextrusión es fundamental para garantizar la viscosidad adecuada de los polímeros fundidos, asegurar una fusión homogénea y prevenir defectos en la película final. Las temperaturas típicas de operación oscilan entre 160 °C y 300 °C, dependiendo de los materiales procesados.
- **Presión:** La presión en las extrusoras y en el cabezal debe ser monitoreada para asegurar un flujo constante y uniforme de los polímeros fundidos. Las fluctuaciones en la presión pueden indicar obstrucciones o problemas en el proceso, afectando la calidad de la película. Los rangos de presión generalmente se encuentran entre 100 y 300 bar.
- **Humedad:** El contenido de humedad en los polímeros es crítico, ya que la presencia de humedad puede causar defectos como burbujas o puntos débiles en la película. Es esencial secar adecuadamente los materiales antes de la extrusión y monitorear la humedad ambiental en el área de producción para evitar la absorción de humedad durante el proceso.

3.1.4 Revisión de Tecnología

- **Selección del Módulo IoT DX-2300LN-WW:** La revisión de tecnologías disponibles llevó a la selección del módulo IoT DX-2300LN-WW, ideal para la integración en una industria de plásticos debido a sus características avanzadas. Este módulo ofrece conectividad a través de WAN y soporte para múltiples protocolos de comunicación, como Ethernet y RS-485, permitiendo una comunicación con sensores y controladores.

Su rango de operación de -20 °C a 70 °C lo hace adecuado para entornos industriales exigentes, mientras que su capacidad de integración con la plataforma DIACLOUD garantiza almacenamiento seguro y acceso remoto a los datos. Además, su montaje en riel DIN facilita la instalación dentro de módulos de control existentes. Comparado con otros modelos, como el DX-2100RW-WW y DX-3001H9, el DX-2300LN-WW destaca por su equilibrio entre funcionalidad, robustez y compatibilidad con las necesidades específicas del proceso de coextrusión. La comparación de los diferentes módulos se observa en la figura 5.



	(3G)	(WAN)	(3G + WAN)
	DX-2100RW-WW	DX-2300LN-WW	DX-3001H9
3G / GSM / GPRS		x	✓
Acceso a Internet	✓	1	1
puerto WAN	-	1	1
Ethernet 10/100	1	4	4
RS-232	1	1	1
RS-485	1	1	1
Instalación	Montaje en panel	Riel DIN / montaje en panel	Riel DIN / montaje en panel
Número de tarjetas SIM	1	-	2
Temperatura operación		-20 °C a 70 °C	
Conectividad	DIACloud	DIACloud	DIACloud / VPN

Figura 5: Comparación de routers

3.2 Diseño del Sistema IoT

3.2.1 Arquitectura del Sistema

- La arquitectura diseñada para el sistema IoT se basa en la interacción coordinada entre sensores, microcontroladores y plataformas de gestión. Los sensores instalados de fábrica en los puntos estratégicos de la máquina co-extrusora capturan las variables críticas del proceso, como temperatura, presión y humedad, en el diseño transmiten estas señales al controlador local PLC DVP AS2. Este controlador procesa los datos y los dirige al módulo IoT DX-2300LN-WW, que actúa como puente para la comunicación con la plataforma DIACLOUD.
- A través de la plataforma DIACLOUD, los datos se almacenan y gestionan de manera centralizada, permitiendo el acceso remoto mediante portales web, aplicaciones móviles o APIs dedicadas. Esto facilita la supervisión en tiempo real y la toma de decisiones basada en datos. Adicionalmente, el sistema incluye la interfaz HMI DOP103WQ, que ofrece una representación visual de los parámetros operativos y permite ajustes locales según sea necesario.
- Este esquema asegura una conectividad robusta entre los sensores y las plataformas de gestión, optimizando la detección de anomalías, la recopilación de datos y el control en tiempo real del proceso de coextrusión.
- La configuración de red y el método de comunicación implementados en este sistema IoT están diseñados para garantizar un monitoreo y en tiempo real de las operaciones industriales. Basado en la imagen referencial, el módulo IoT DX-2300LN-WW actúa como un nodo central

que conecta los sensores de la máquina a la plataforma DIACLOUD a través de redes WAN, utilizando protocolos de comunicación seguros como HTTPS. Esta arquitectura no solo permite la supervisión remota de variables críticas como producción, estado de la máquina y mantenimiento preventivo, sino que también habilita el acceso a través de dispositivos móviles y estaciones de trabajo. Esto proporciona a los operadores y equipos técnicos la capacidad de responder rápidamente a anomalías, optimizar procesos productivos y reducir tiempos de inactividad, todo mientras se asegura la integridad de los datos en el entorno.

La arquitectura básica del modelo se puede visualizar en la figura 6, donde se evidencia la interconexión que guiará la adquisición de datos.



Figura 6: Arquitectura del sistema

3.3 Implementación del sistema

3.3.1 Instalación del hardware

- El proceso de montaje del módulo IoT se diseña para satisfacer las necesidades específicas de la máquina co-extrusora, maximizando la operatividad, la simulación gráfica del mismo se puede observar en la figura 7. La estructura del módulo incorpora una estación que integra los siguientes elementos: un controlador PLC DVP AS2, que actúa como núcleo operativo; una interfaz HMI DOP103WQ, instalada en la parte frontal para supervisión y control local; y el router IoT DX-2300LN-WW, que facilita la conectividad remota mediante redes WAN y protocolos seguros como HTTPS. Además, los sensores de temperatura, presión y humedad están distribuidos estratégicamente en la máquina para capturar datos críticos, conectándose al PLC.

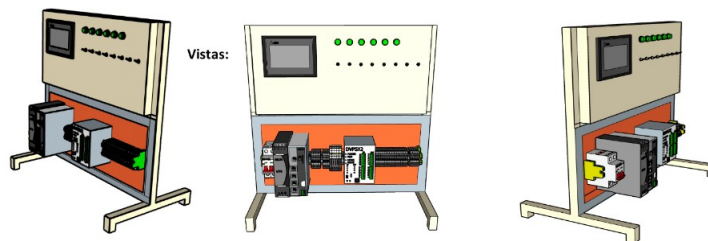


Figura 7: Módulo

- La alimentación del sistema se garantiza mediante una fuente de voltaje de 24VDC junto con disyuntores que proporcionan protección eléctrica. Durante la instalación, se asegura un cableado ordenado y conexiones necesarias según esquemas técnicos predefinidos.

3.3.2 Configuración del software

La configuración del software DIACLOUD para el sistema IoT se desarrolla en tres etapas fundamentales:

- **Creación de usuario y red segura:** Se accede al sitio oficial de DIACLOUD para registrar un usuario y generar un túnel seguro que garantice la conexión encriptada de los dispositivos.

- **Configuración de dispositivos:** Mediante el software DIADevice, los dispositivos son vinculados a la cuenta, asegurando sincronización y operatividad a través de túneles seguros adicionales.
- **Configuración de puertos y alarmas:** Se ajustan los puertos de comunicación y se establecen alarmas configurables mediante DIACOM, habilitando notificaciones automáticas en caso de eventos críticos.
- **Asignación de Dirección IP:** Se debe asignar manualmente una dirección IP a la PC dentro del mismo rango de subred del dispositivo DX, por ejemplo, 192.168.3.7. Este paso asegura la conectividad fluida entre la PC y el dispositivo.
- **Uso del Software DIADevice:** El software detecta automáticamente los dispositivos DX conectados mediante una red LAN, simplificando el proceso de registro y configuración.

El diagrama del proceso y la visualización de la interfaz se observan en las figuras 8, 9.



Figura 8: Diagrama de Proceso

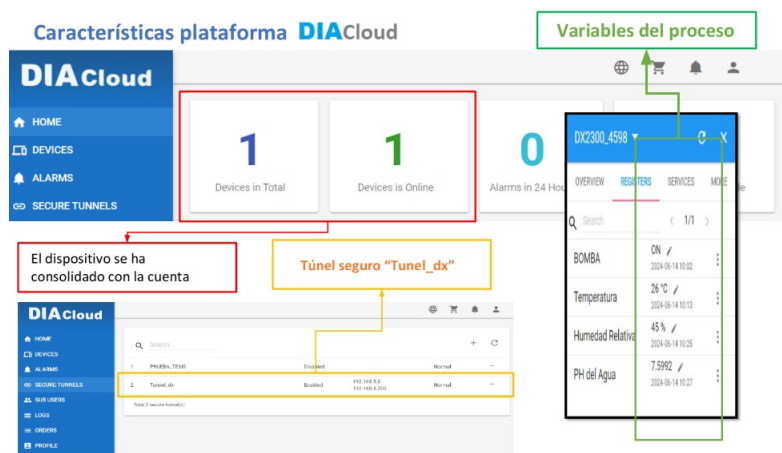


Figura 9: Interfaz DIACloud

4 Resultados y discusión

4.1 Funcionamiento del Sistema IoT

- El sistema IoT diseñado para la máquina co-extrusora opera mediante la integración de sensores, un controlador local y un sistema de transmisión de datos hacia la nube. Los sensores ubicados estratégicamente en la máquina recolectan información sobre las variables críticas del proceso: temperatura, presión y humedad. Estos datos son enviados al controlador PLC DVP AS2, que los procesa y optimiza para su transmisión segura al router IoT DX-2300LN-WW.

- El router IoT actúa como un puente entre los datos recopilados y la plataforma DIACLOUD, utilizando redes WAN y protocolos seguros para enviar la información en tiempo real. Una vez almacenados en la nube, los datos son accesibles a través de portales web o aplicaciones móviles, lo que permite a los operadores supervisar el estado de la máquina, realizar ajustes y detectar anomalías sin necesidad de estar físicamente presentes en la planta.
- La plataforma DIACLOUD también permite la configuración de alarmas para notificar sobre eventos críticos, como cambios inesperados en las variables del proceso. Este enfoque garantiza una operación continua, minimizando el tiempo de inactividad y optimizando los recursos de mantenimiento. Además, la interfaz HMI instalada en la máquina proporciona un acceso local para los operadores, asegurando que puedan supervisar y ajustar parámetros directamente en el lugar de operación.
- Esta solución IoT no solo mejora la precisión del control del proceso, sino que también habilita a la empresa para avanzar hacia una operación completamente digitalizada, alineándose con los principios de la Industria 4.0.

4.2 Adquisición y Monitoreo de Datos

- Para el monitoreo de datos, se realizó una simulación que permitió capturar y analizar las lecturas de las variables críticas del proceso: temperatura, presión y humedad. Estas lecturas fueron registradas y visualizadas en tiempo real mediante la interfaz: la gráfica de los valores simulados de temperatura se puede observar en la figura 10, estos datos se representan en la tabla 1, la variable de presión de en la figura 11, estos datos se representan en la tabla 2 y la variable de de humedad en la figura 12, estos datos se representan en la tabla 3. En estas tablas se presentan los datos obtenidos durante las pruebas, los cuales reflejan la estabilidad y consistencia del sistema implementado. La representación gráfica adicionalmente destaca las tendencias de cada variable a lo largo del tiempo, proporcionando una visión clara del desempeño de la máquina.

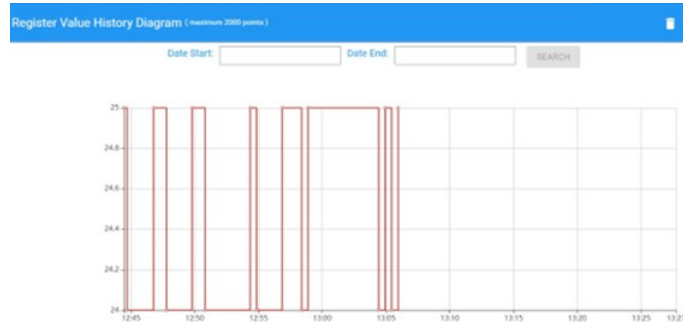


Figura 10: Variable de Temperatura

Tabla 1: Temperatura

<i>Hora</i>	<i>Temperatura(° C)</i>
12:45	24.0
12:50	24.8
12:55	25.0
13:00	24.6
13:05	25.0
13:10	24.4



Figura 11: Variable de presión

Tabla 2: Presión

<i>Hora</i>	<i>Presión (BAR)</i>
16:53	6.88
17:00	6.91
17:10	6.93
17:15	6.92
17:20	6.93
17:25	6.91

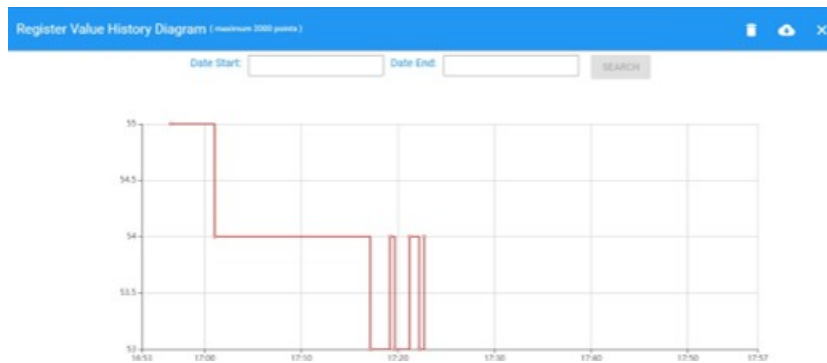


Figura 12: Variable de humedad

Tabla 3: Humedad

<i>Hora</i>	<i>Humedad (%)</i>
16:53	55.0
17:00	54.0
17:10	54.0
17:15	54.0
17:20	54.5
17:25	54.5

- Este proceso de monitoreo no solo permite verificar el correcto funcionamiento del sistema IoT, sino también garantizar que los procesos operen dentro de los parámetros establecidos, asegurando la calidad del producto y previniendo posibles fallas. Además, la capacidad de visualizar estas variables en tiempo real y de manera remota optimiza la toma de decisiones,

permitiendo ajustes inmediatos para mantener la operatividad.

4.3 Análisis del Proceso de Integración

4.3.1 Proceso de Integración del Módulo IoT en la Máquina

1. **Preparación e inspección:** Realizar una inspección inicial de la máquina para identificar puntos estratégicos para los sensores y verificar las conexiones eléctricas disponibles. Configurar el módulo IoT DX-2300LN-WW con una dirección IP dentro de la subred de la planta y garantizar la conectividad con el PLC y la interfaz HMI.
2. **Montaje e instalación:** Instalar el módulo IoT en el riel DIN del panel de control y conectar los sensores al PLC DVP AS2 en sus ubicaciones asignadas. Alimentar el sistema con una fuente de 24VDC, asegurando la protección de las conexiones eléctricas con disyuntores.
3. **Integración y configuración:** configurando los parámetros de comunicación y estableciendo un túnel seguro para la transferencia de datos.

4.3.2 Beneficios del proceso de integración

La integración de módulos IoT ofrece un monitoreo continuo en tiempo real de las variables críticas del proceso, lo que garantiza una supervisión más precisa y un control de calidad mejorado. Este sistema permite acceder remotamente a los datos y recibir notificaciones automáticas ante cualquier anomalía, reduciendo significativamente los tiempos de inactividad gracias a una respuesta rápida ante fallas. Además, la gestión centralizada de los datos optimiza los recursos al facilitar la toma de decisiones fundamentadas y estratégicas. Se puede observar la lectura de datos en diferentes horarios, donde se puede constatar que el monitoreo es continuo y se puede visualizar mediante la interfaz en cualquier momento. La solución es altamente escalable, lo que permite incorporar nuevos sensores o ampliar su implementación a otras máquinas dentro de la planta, asegurando flexibilidad y adaptación a las necesidades futuras de la industria.

4.3.3 Retos a superar y su Impacto

1. **Compatibilidad del hardware:** Inicialmente, se enfrentaron dificultades para integrar sensores de diferentes fabricantes al controlador PLC. Esto se resolvería configurando protocolos de comunicación estandarizados.
2. **Seguridad de la información:** Implementar conexiones seguras mediante túneles encriptados fue un desafío, pero el uso de DIACLOUD aseguró la protección de los datos transmitidos.
3. **Adopción del sistema:** La capacitación del personal operativo para interactuar con el nuevo sistema representó un esfuerzo adicional, que se abordó mediante entrenamientos específicos.

4.3.4 Impacto de los resultados obtenidos

- **Mejora en la productividad:** La capacidad de monitorear y ajustar las variables en tiempo real ha permitido un control más preciso del proceso de extrusión, reduciendo desperdicios y defectos.
- **Ahorro de costos:** La detección temprana de fallas y el mantenimiento predictivo han disminuido los gastos operativos asociados con reparaciones inesperadas.
- **Transformación digital:** Este proyecto ha sentado las bases para una transición hacia una planta inteligente, alineada con los principios de la Industria 4.0.

4.4 Análisis de errores y confiabilidad de los datos

El sistema IoT implementado monitorea temperatura, presión y humedad en la máquina coextrusora, por lo que es crucial evaluar la precisión de estas mediciones. Se realizaron calibraciones iniciales comparando las lecturas de los sensores con instrumentos de referencia certificados, asegurando un margen de error inferior al 5. % en los valores registrados.

Esto implica que la discrepancia entre el sistema IoT y equipos patrón es mínima, aumentando la confianza en los datos obtenidos. En cuanto a los sensores empleados, la elección de un RTD Pt100 para temperatura, transductores de presión con señal analógica estándar (4–20 mA) y sensores digitales de humedad se justifica por su estabilidad y fiabilidad en entornos industriales de extrusión. Un sensor Pt100 de clase A típicamente presenta una tolerancia de apenas décimas de grado Celsius (e.g. $\pm 0,2$ °C alrededor de 25 °C), lo que garantiza una medición altamente precisa dentro del rango operativo de la extrusora. De igual manera, los transductores de presión industriales suelen tener una incertidumbre del orden del 0,5–1 % de la escala completa, y los sensores de humedad digitales modernos logran precisiones alrededor de ± 2 % de humedad relativa. Estas especificaciones aseguran que cualquier fluctuación en las lecturas (p. ej., variaciones menores en la temperatura o presión) se deba más a cambios reales del proceso que a ruido o errores del sensor. Durante las pruebas, las lecturas de las tres variables mostraron una estabilidad consistente, sin picos anómalos, lo que indica un bajo nivel de ruido y confirma la confiabilidad del sistema de adquisición de datos.

Otro aspecto crítico es la confiabilidad de la transmisión de datos. El diseño incluyó un módulo IoT (router industrial) que envía los datos a la nube (plataforma DIACloud) mediante protocolos seguros. La comunicación en tiempo real no evidenció pérdidas de datos ni retardos significativos durante las pruebas controladas. La latencia de la red fue baja, permitiendo que la información de los sensores llegara a la plataforma casi de inmediato. Esto es esencial para mantener la integridad de la monitorización: un retraso mínimo significa que cualquier variación en las condiciones de proceso se detecta y reporta sin demoras. Gracias a la calibración adecuada, el uso de sensores de alta calidad y una infraestructura de red robusta, el sistema ofrece datos confiables y precisos. La precisión de los datos se mantuvo dentro de los márgenes esperados en todo momento, y la confiabilidad de la transmisión garantiza que los operadores puedan tomar decisiones basadas en información veraz y oportuna.

4.5 Comparacion con estudios previos

Los resultados obtenidos en este proyecto se alinean con las tendencias reportadas en la literatura sobre IoT industrial, a la vez que aportan evidencia específica en el contexto de la industria plástica (extrusión). Diversos estudios coinciden en que la integración de IoT en entornos industriales mejora la eficiencia operativa y la visibilidad del proceso. Por ejemplo, la implementación de sistemas de monitoreo IoT con adquisición de datos en tiempo real y análisis avanzados ha demostrado elevar la eficiencia, la seguridad y la confiabilidad operacional, habilitando mantenimiento predictivo y reduciendo tiempos muertos no planificados [Siddeshwarmath et al. \(2024\)](#).

Estas mejoras se deben a la capacidad de IoT para proporcionar monitoreo continuo, alertas tempranas y análisis de datos automatizados, algo que también se evidenció en nuestra aplicación al lograr detectar condiciones anómalas de proceso al instante. En estudios previos de casos similares, se han monitoreado parámetros industriales como temperatura, humedad y presión mediante redes de sensores conectadas a la nube, obteniendo resultados positivos en productividad y mantenimiento. [Siddeshwarmath et al. \(2024\)](#) describen un sistema IoT que recopila y transmite datos de esos parámetros a una plataforma centralizada, empleando algoritmos de aprendizaje automático para generar alertas de mantenimiento predictivo y prevenir fallas de equipos, optimizando así el rendimiento de la planta [Siddeshwarmath et al. \(2024\)](#).

La aproximación de nuestro proyecto es comparable en cuanto a los objetivos de supervisión y control; si bien en esta fase se centró en el monitoreo en tiempo real y el control básico de

variables, los hallazgos refuerzan el valor de dicha implementación. Hemos comprobado, al igual que en la literatura, que la supervisión remota y continua permite reaccionar más rápido a desviaciones (por ejemplo, ajustes de temperatura fuera del rango óptimo) y disminuir rechazos o desperdicios de producción. Un aspecto destacado en la comparación es el impacto en la eficiencia y costos. Las investigaciones indican que la transformación digital mediante IoT conlleva mejoras sustanciales en indicadores operativos. Un estudio de McKinsey reporta que las empresas que integran IoT en sus operaciones pueden reducir hasta un 30% sus costos operativos, gracias a optimizaciones en tiempo real y menor incidencia de fallas [M. \(2024\)](#).

Los resultados de nuestro proyecto apuntan en la misma dirección: la disponibilidad de la máquina aumentó debido a la detección temprana de condiciones anormales (lo que evita paradas imprevistas) y se vislumbra un potencial de ahorro en costos de mantenimiento al migrar de un enfoque reactivo a uno predictivo. Asimismo, en línea con otros trabajos, la calidad del producto final puede sostenerse o mejorar al mantener las variables de proceso dentro de rangos estrictos. En resumen, la implementación desarrollada aporta nuevas perspectivas en el ámbito de extrusión de plásticos al confirmar que incluso maquinaria tradicional (3.0) puede escalar hacia niveles de Industria 4.0 con beneficios tangibles, complementando la evidencia previa en otras industrias. Esta investigación refuerza el consenso de que la monitorización IoT industrial no solo mejora la eficiencia, sino que también habilita prácticas de mantenimiento moderno y toma de decisiones basada en datos.

4.6 Propuestas de mejora

Considerando las limitaciones identificadas y con miras a optimizar el sistema de monitoreo y control IoT en futuras aplicaciones industriales, se proponen las siguientes mejoras y recomendaciones:

- **Mejoras en sensores y adquisición de datos:** Incorporar sensores de mayor precisión o robustez según la variable. Por ejemplo, utilizar Pt100 de clase AA o con electrónica de acondicionamiento de señal mejorada podría reducir aún más la incertidumbre en temperatura. Del mismo modo, podrían añadirse nuevos sensores para ampliar el panorama de monitoreo: sensores de vibración en motores o reductores, medidores de corriente eléctrica de motores, o sensores de calidad del producto (p.ej., medición de espesor de la película plástica en línea). Estos datos adicionales complementarían las variables actuales, permitiendo una visión más holística del estado de la máquina. También se sugiere implementar técnicas de filtrado de señal y promediado en el software del PLC para suavizar posibles ruidos en las lecturas sin perder capacidad de respuesta ante cambios reales.
- **Optimización de la plataforma de gestión de datos:** Si bien la plataforma en la nube empleada (DIACloud) ha sido efectiva para visualización y alarmas, futuras implementaciones podrían beneficiarse de analítica de datos más avanzada. Una mejora sustancial sería integrar herramientas de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático para analizar las tendencias históricas y en tiempo real. Esto permitiría desarrollar capacidades de mantenimiento predictivo más allá de las reglas predefinidas, identificando patrones complejos que preceden a una falla. Estudios recientes sugieren que la convergencia de IoT con IA puede prever fallos de equipos y optimizar planes de mantenimiento analizando los grandes volúmenes de datos generados [Siddeshwarmath et al. \(2024\)](#). La plataforma podría incorporar módulos de machine learning que aprendan del comportamiento de la extrusora: por ejemplo, correlacionar variaciones sutiles de temperatura o presión con eventos de mantenimiento pasados, para anticipar necesidades de intervención antes de que ocurra una avería.
- **Integración con otros sistemas industriales:** Para maximizar el impacto del sistema, este debe integrarse dentro del ecosistema de automatización de la planta. Una propuesta es conectar la solución IoT con el sistema SCADA existente, de modo que los operadores puedan ver todas las variables en sus monitores habituales y no en plataformas separadas. También sería útil la integración con sistemas MES (Manufacturing Execution System) o de gestión de mantenimiento (CMMS). Por ejemplo, las alertas críticas podrían automáticamente generar

órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo en el software de gestión, cerrando el ciclo desde la detección hasta la acción correctiva.

- **Mejoras en la conectividad y arquitectura IoT:** Para mitigar la dependencia de la conexión a internet, se sugiere implementar un esquema de computación en el borde (edge computing). Esto implica que cierta inteligencia (procesamiento de datos y lógica de control) resida localmente cerca de la máquina, por ejemplo en el PLC o en un gateway local, de forma que ante una caída de conexión la operación crítica no se vea interrumpida. La computación en el borde puede reducir la latencia y el tráfico hacia la nube al procesar los datos en sitio, lo cual es beneficioso para respuestas en tiempo real [Siddeshwarmath et al. \(2024\)](#). Por ejemplo, algoritmos de detección de anomalías podrían ejecutarse localmente y solo enviar a la nube eventos relevantes o datos ya resumidos, aliviando la carga de red.

En conjunto, estas propuestas de mejora apuntan a robustecer el sistema IoT en todos sus frentes: desde la capa de adquisición de datos hasta la de aplicación y usuario final. Al implementar sensores más capaces, aprovechar analytics avanzados, asegurar la conectividad y vincular el sistema con la operación diaria de la planta, se podrá potenciar la eficiencia y la confiabilidad del monitoreo industrial. En el marco de la Industria 4.0, la evolución continua de estos sistemas es esperada; las futuras iteraciones podrían incluso incorporar más tecnologías emergentes (como gemelos digitales del proceso, inteligencia artificial distribuida, etc.) para llevar la automatización industrial a nuevos niveles de rendimiento y resiliencia. Cada mejora propuesta responde a una limitación identificada o a una oportunidad de aprovechar mejor los datos, asegurando que el sistema IoT de monitoreo y control no solo cumpla con los requisitos actuales, sino que también se mantenga escalable, seguro y alineado a las mejores prácticas de la industria inteligente.

5 Conclusiones

5.1 Conclusión General

La investigación demuestra que la incorporación de tecnologías IoT en la industria plástica es una estrategia efectiva para mejorar la supervisión, optimizar la eficiencia operativa y reducir costos asociados a fallas inesperadas. El prototipo desarrollado cumplió con los objetivos planteados y representó una solución viable para el monitoreo y control de variables clave en la máquina coextrusora. Además, la escalabilidad del sistema permite su adaptación a otras máquinas y procesos, consolidando una infraestructura inteligente alineada con los principios de la Industria 4.0.

5.2 Conclusiones Específicas

1. Se logra establecer la importancia de monitorear y controlar las variables de humedad, temperatura y presión, considerando su impacto directo en la calidad del producto final. La implementación de sensores adecuados permite una adquisición de datos precisa y en tiempo real, asegurando que las condiciones operativas de la máquina se mantuvieran dentro de los parámetros óptimos. Asimismo, se evidencia que la estabilidad de estas variables es fundamental para minimizar defectos en la película plástica producida, lo que refuerza la necesidad de un sistema de monitoreo automatizado.
2. Tras el análisis comparativo de distintas plataformas IoT disponibles en el mercado, se selecciona DIACLOUD como la solución óptima debido a su costo accesible, facilidad de integración, soporte técnico y escalabilidad. Este sistema permite el acceso remoto a los datos de la coextrusora, facilitando la supervisión en tiempo real y el almacenamiento seguro de información. La plataforma demuestra ser una alternativa robusta y confiable, alineada con las necesidades específicas de la empresa y con capacidad de expansión a otras máquinas dentro de la planta.
3. Se diseña e implementa en un prototipo adaptado a los requerimientos operativos de la máquina coextrusora, integrando los sensores y un módulo IoT DX-2300LN-WW para la transmisión de datos a la nube. La arquitectura del sistema permite una comunicación fluida entre los sensores, el controlador PLC y la plataforma IoT, consolidando un esquema de supervisión eficiente y de fácil acceso. La modularidad del diseño asegura la posibilidad de futuras mejoras y adaptaciones en función de la evolución de las necesidades de la empresa.
4. Durante las pruebas operativas, el sistema evidencia una alta disponibilidad, tiempos de respuesta rápidos y precisión en la medición de datos críticos. La capacidad de acceder a la información en tiempo real permite a los operadores optimizar la toma de decisiones, reduciendo los tiempos de inactividad y mejorando la estabilidad del proceso. Adicionalmente, la interfaz del sistema resulta intuitiva y fácil de usar, lo que facilita la adopción de la tecnología por parte del personal. Estos resultados demuestran que la integración de IoT en procesos industriales no solo mejora la eficiencia, sino que también representa un paso significativo hacia la digitalización de la manufactura.

6 Agradecimientos

En esta nueva etapa de mi vida, quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a las personas que han sido fundamentales en mi crecimiento personal y profesional. En primer lugar, a mi padre, quien siempre fue un ejemplo de constancia, determinación y una firmeza inquebrantable en sus valores. Su enseñanza y su actitud ante la vida me han inspirado a ser la persona que soy hoy, una persona íntegra y comprometida con mis principios, lo que ha sido clave para lograr ser no solo un mejor ser humano, sino también un excelente profesional.

A mi madre, cuyo aliento constante, apoyo incondicional e inagotable paciencia han sido esenciales en cada paso de mi vida. Su amor y su dedicación han sido los cimientos sobre los que he construido mis logros, y gracias a ella, he podido culminar esta etapa y muchas otras, siempre

con la seguridad de que contaba con su respaldo inquebrantable. Su sabiduría y su capacidad para guiarme en los momentos de incertidumbre me han permitido avanzar con confianza.

A mi hermano, por ser una presencia constante en mi vida, por su ayuda incondicional y por ser un pilar fundamental en los momentos de duda y dificultad. Su apoyo ha sido esencial en los momentos en los que sentí que el camino era incierto. Gracias a él, siempre he tenido a alguien en quien confiar plenamente, sin importar las circunstancias. Su lealtad y su presencia en cada paso que he dado me han dado la fortaleza para seguir adelante, y por eso le estaré eternamente agradecido. Y, por supuesto, a mi pareja sentimental, quien ha sido un pilar fundamental en mi vida. Siempre he contado con su paciencia, comprensión y apoyo incondicional en todos los momentos. Su presencia constante me ha dado la tranquilidad de saber que no estoy solo en este camino, y su apoyo ha sido clave para seguir adelante.

Por consiguiente, quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor, Mgtr. Juan Carlos Domínguez, quien, con su guía, paciencia y valiosas sugerencias durante el desarrollo de esta investigación, fue fundamental para el avance y culminación de este trabajo. A mi coordinador de sede, Mgtr. William Montalvo, gracias a su comprensión, apoyo y tolerancia, pude resolver todas mis dudas y completar exitosamente el trabajo. Al director de sede, PhD. Julio César Zambrano, quien, a pesar de la distancia, siempre supo orientarme y resolver cualquier inquietud que surgió a lo largo de este proceso investigativo. A todos ellos, mi más profundo agradecimiento por su invaluable ayuda en este camino.

Finalmente, quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Politecnica Salesiana por proporcionar los recursos, el espacio y el entorno académico necesario para llevar a cabo este estudio. Su apoyo ha sido fundamental para el desarrollo y éxito de esta investigación, brindándome las herramientas esenciales para poder concretar este trabajo.

Referencias

Elaboración de un artículo científico de investigación elena henríquez fierro* y maria inÉS zepeda gonzalez**. doi: 10.05.2004. URL <https://scielo.conicyt.cl/pdf/cienf/v10n1/art03.pdf>.

J. J. Cartuche Calva, D. L. Hernández Rojas, R. F. Morocho Román, and C. D. Radicelli García. Seguridad IoT: Principales amenazas en una taxonomía de activos. *HAMUT'AY*, 7(3):51, jan 2021. ISSN 2313-7878. doi: 10.21503/hamu.v7i3.2192.

V. M. Cuchillac. La enseñanza de IoT como estrategia para desarrollar competencias técnicas para la Industria 4.0. *Realidad y Reflexión*, (57):15–38, sep 2023. ISSN 2520-9299. doi: 10.5377/ryr.v1i57.16694.

L. di Nardo. Industria 4.0 e Inteligencia Artificial: una revolución transversal a todo el sector productivo, apr 2023. URL <https://www.proquest.com/newspapers/industria-4-0-e-inteligencia-artificial-una/docview/2801899065/se-2?accountid=32861>.

DigiCert. DigiCert explica cómo afectará la criptografía post cuántica (PQC) a IoT en 2024, oct 2023. URL [23](https://www.proquest.com/newspapers/digicert-explica-c{\unhbox\voidb@x\bgroup\let\unhbox\voidb@x\setbox\@tempboxa\hbox{oglobal\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\beginngroup\let\typeout\protect\beginngroup\def\MessageBreak{\Omega(Font)}\let\protect\immediate\write\m@ne{LaTeXFontInfo: oninputline35.}\endgroup\endgroup\relax\let\ignorespaces\relax\accent19o\egroup\spacefactor\accent@spacefactor\futurelet\@let@token\protect\penalty\@M\hskip\z@skip}mo-afectar{\unhbox\voidb@x\bgroup\let\unhbox\voidb@x\setbox\@tempboxa\hbox{aglobal\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\beginngroup\let\typeout\protect\beginngroup\def\MessageBreak{\Omega(Font)}\let\protect\immediate\write\m@ne{LaTeXFontInfo: oninputline35.}\endgroup\endgroup\relax\let\ignorespaces\relax\accent19a\egroup\spacefactor\accent@spacefactor\futurelet\@let@token\protect\penalty\@M\hskip\z@skip}-la-criptograf{\unhbox\voidb@x\bgroup\let\unhbox\voidb@x\setbox\@tempboxa\hbox{OT1i\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\beginngroup\let\typeout\</p></div><div data-bbox=)

`protect\begin{group}\def\MessageBreak{\Omega(Font)}\let\protect\immediate\write\m@ne{LaTeXFontInfo:oninputline35.}\end{group}\end{group}\relax\let\ignorespaces\relax\accent19\OT1\i\egroup\spacefactor\accent@spacefactor\futurelet\@let@token\protect\penalty\@M\hskip\z@skip}a/docview/2882196660/se-2?accountid=32861.`

V. Evelyn Brindha and X. Anitha Mary. Analysing Control Algorithms for Controlling the Speed of BLDC Motors Using Green IoT. In *Power Converters, Drives and Controls for Sustainable Operations*, pages 779–788. Wiley, jul 2023. doi: 10.1002/9781119792918.ch26. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119792918.ch26>.

Fractal. Descubre el mantenimiento del futuro: Tendencias. INDUSTRIA 4.0. Las innovaciones tecnológicas de Fractal posibilitan una gestión de mantenimiento más sostenible, segura y eficiente, jul 2022. URL <https://www.proquest.com/newspapers/descubre-el-mantenimiento-del-futuro/docview/2692581118/se-2?accountid=32861>.

J. C. Gómez Castaño, N. J. Castaño Pérez, and L. C. Correa Ortiz. Sistemas de detección y prevención de intrusos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 33(1):75–86, jun 2023. ISSN 1909-7735. doi: 10.18359/rcin.6534. URL [https://www.proquest.com/scholarly-journals/sistemas-de-detecci{\unhbox\voidb{x}\bgroup\let\unhbox\voidb{x}\setbox\@tempboxa\hbox{fo\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\begin{group}\let\typeout\protect\begin{group}\def\MessageBreak{\Omega\(Font\)}\let\protect\immediate\write\m@ne{LaTeXFontInfo:oninputline55.}\end{group}\end{group}\relax\let\ignorespaces\relax\accent19o\egroup\spacefactor\accent@spacefactor\futurelet\@let@token\protect\penalty\@M\hskip\z@skip}n-y-prevenci{\unhbox\voidb{x}\bgroup\let\unhbox\voidb{x}\setbox\@tempboxa\hbox{fo\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\begin{group}\let\typeout\protect\begin{group}\def\MessageBreak{\Omega\(Font\)}\let\protect\immediate\write\m@ne{LaTeXFontInfo:oninputline55.}\end{group}\end{group}\relax\let\ignorespaces\relax\accent19o\egroup\spacefactor\accent@spacefactor\futurelet\@let@token\protect\penalty\@M\hskip\z@skip}n-intrusos-una/docview/2843132923/se-2?accountid=32861](https://www.proquest.com/scholarly-journals/sistemas-de-detecci{\unhbox\voidb{x}\bgroup\let\unhbox\voidb{x}\setbox\@tempboxa\hbox{fo\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\begin{group}\let\typeout\protect\begin{group}\def\MessageBreak{\Omega(Font)}\let\protect\immediate\write\m@ne{LaTeXFontInfo:oninputline55.}\end{group}\end{group}\relax\let\ignorespaces\relax\accent19o\egroup\spacefactor\accent@spacefactor\futurelet\@let@token\protect\penalty\@M\hskip\z@skip}n-y-prevenci{\unhbox\voidb{x}\bgroup\let\unhbox\voidb{x}\setbox\@tempboxa\hbox{fo\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\begin{group}\let\typeout\protect\begin{group}\def\MessageBreak{\Omega(Font)}\let\protect\immediate\write\m@ne{LaTeXFontInfo:oninputline55.}\end{group}\end{group}\relax\let\ignorespaces\relax\accent19o\egroup\spacefactor\accent@spacefactor\futurelet\@let@token\protect\penalty\@M\hskip\z@skip}n-intrusos-una/docview/2843132923/se-2?accountid=32861)https://media.proquest.com/media/hms/PFT/1/50PYT?_a=ChgyMDIOMDExODAzMDI1NTU2Mzo3MDkwNjgSBTc1OTI5GgpPTkVfUOVBUkNIIgwONS4yMjU.

A.ús González García@, J. López, V. Xavi, and V. Guillen. IoT: Dispositivos, tecnologías de transporte y aplicaciones. Technical report, 2017.

A. Jiménez. Impulsan tecnología para la industria 4.0, oct 2023. URL [https://www.proquest.com/newspapers/impulsan-tecnolog{\unhbox\voidb{x}\bgroup\let\unhbox\voidb{x}\setbox\@tempboxa\hbox{OT1\i\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\begin{group}\let\typeout\protect\begin{group}\def\MessageBreak{\Omega\(Font\)}\let\protect\immediate\write\m@ne{LaTeXFontInfo:oninputline65.}\end{group}\end{group}\relax\let\ignorespaces\relax\accent19\OT1\i\egroup\spacefactor\accent@spacefactor\futurelet\@let@token\protect\penalty\@M\hskip\z@skip}a-para-la-industria-4-0/docview/2874157436/se-2?accountid=32861](https://www.proquest.com/newspapers/impulsan-tecnolog{\unhbox\voidb{x}\bgroup\let\unhbox\voidb{x}\setbox\@tempboxa\hbox{OT1\i\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\begin{group}\let\typeout\protect\begin{group}\def\MessageBreak{\Omega(Font)}\let\protect\immediate\write\m@ne{LaTeXFontInfo:oninputline65.}\end{group}\end{group}\relax\let\ignorespaces\relax\accent19\OT1\i\egroup\spacefactor\accent@spacefactor\futurelet\@let@token\protect\penalty\@M\hskip\z@skip}a-para-la-industria-4-0/docview/2874157436/se-2?accountid=32861).

K. M. V. P. JONATHAN JOSE RODRIGUEZ QUINDE. “SISTEMA WEB DE MATRICULACIÓN Y REGISTRO DE CALIFICACIONES PARA LA UNIDAD EDUCATIVA MADRE DE DIOS, EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL” AUTOR:. Thesis, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2020.

W.ópez Garzón@ and J.árdenas López@. Tecnología internet of things (IoT) y el big data. *Mare Ingeniù*, 1(1):73–79, apr 2019. ISSN 2711-0621. doi: 10.52948/mare.v1i1.183.

E. M. Integración de IoT con automatización en procesos industriales. <https://unnotec.com/blog/integracion-de-iot-con-automatizacion-en-procesos-industriales/>, Aug. 2024. Accessed: 2025-3-20.

- D. Mora-Sánchez and L. Guerrero-Marín. Industria 4.0: el reto en la ruta hacia las organizaciones digitales TT - Indústria 4.0: o desafio no caminho às organizações digitais. *Estudios de la Gestión*, (8):186–209, 2020. ISSN 25506641. doi: <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.7>. URL https://www.proquest.com/scholarly-journals/industria-4-0-el-reto-en-la-ruta-hacia-las/docview/2492666985/se-2?accountid=32861https://media.proquest.com/media/hms/PFT/1/FPmKI?_a=ChgyMDIOMDExODAzMDI1NTU2Mzo3MDkwNjgSBTc10TI5GgpPTkVfUOVBUkNIIgwONS4yMjUuOTAu.
- U. W. Nuryanto, B. Basrowi, and I. Quraysin. Big data and IoT adoption in shaping organizational citizenship behavior: The role of innovation organizational predictor in the chemical manufacturing industry. *International Journal of Data and Network Science*, 8(1):225–268, 2024. ISSN 25618148. doi: 10.5267/j.ijdns.2023.9.026. URL http://www.growingscience.com/ijds/Vol8/ijdns_2023_174.pdf.
- A. A. Patiño-Forero, F. Salazar-Caceres, H. Ramirez-Murillo, and J. P. Velandia-Suárez. Implementación de un sistema de control redundante basado en una arquitectura de Internet de las Cosas (IoT). *Información tecnológica*, 33(2):181–192, apr 2022. ISSN 0718-0764. doi: 10.4067/S0718-07642022000200181.
- A. S. Siddeshwarmath, G. V. Kammar, O. M. K, A. M. Hulagabali, and D. M. Galagali. Iot based industrial parameters monitoring and control. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2024. ISSN 2395-0072. URL www.irjet.net.
- N. Sun, W. Wang, Y. Tong, and K. Liu. Blockchain based federated learning for intrusion detection for Internet of Things. *Frontiers of Computer Science*, 18(5):185328, oct 2024. ISSN 2095-2228. doi: 10.1007/s11704-023-3026-8. URL <https://link.springer.com/10.1007/s11704-023-3026-8>.
- D. C. Yacchirema Vargas. *Arquitectura de Interoperabilidad de dispositivos físicos para el Internet de las Cosas (IoT)*. PhD thesis, Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain), sep 2019. URL <https://riunet.upv.es/handle/10251/129858>.

7 Biografía



Ronan Damian Toapanta Velasco El autor es estudiante del programa de Maestría en Industria 4.0. El obtuvo su título de Ingeniero en Mecatronica en el 2022 por la Universidad Politécnica Salesiana. Actualmente se desempeña como Coordinador del Departamento de Mantenimiento de la empresa Flexiplast sede Machachi.