

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v9i17.0345>

PROPUESTA DE MONITOREO DE LAS CONDICIONES FÍSICAS DE FUNCIONAMIENTO EN TIEMPO REAL DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE PVC MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA 4.0

PROPOSAL FOR REAL-TIME MONITORING OF THE PHYSICAL OPERATING CONDITIONS OF A PVC EXTRUSION MACHINE THROUGH THE IMPLEMENTATION OF 4.0 TECHNOLOGY

Barahona-Martínez Jaime Eduardo ¹; Olovacha-Toapanta Wilson Santiago ²

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador.

Correo: jaime.barahona4634@utc.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-3606-4408>.

² Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador.

Correo: wilson.olvacha2238@utc.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3377-7049>.

Resumen

El presente proyecto aborda la necesidad de optimizar los procesos en la industria manufacturera de polímeros mediante la propuesta de un sistema de monitoreo en tiempo real para una máquina extrusora de PVC, basado en tecnologías de la Industria 4.0. La revisión de la literatura académica confirma la tendencia global hacia la digitalización, destacando la importancia del Internet de las Cosas (IoT), el análisis de Big Data y la Inteligencia Artificial (IA) para mejorar la eficiencia operativa, predecir fallos y asegurar la calidad del producto. La propuesta busca integrar estos elementos para crear un sistema ciberfísico robusto que ofrezca una supervisión continua de las condiciones físicas de la maquinaria. Como validación conceptual de la propuesta, se desarrolló una aplicación móvil para Android utilizando Kotlin. Este prototipo simula el funcionamiento del motor de la extrusora, generando y mostrando datos en tiempo real de parámetros eléctricos (voltaje, potencia) y térmicos (temperaturas por zonas). La aplicación incluye una interfaz de usuario moderna con indicadores visuales, alertas automáticas ante condiciones anómalas (sobrecorriente, sobrecalentamiento) y una función para exportar un historial completo de los datos en formato CSV. Este desarrollo demuestra la viabilidad de la arquitectura de software propuesta y sirve como una prueba de concepto efectiva, materializando los principios de monitoreo, alerta y registro de datos que son fundamentales para la Industria 4.0. La solución final representa un paso tangible hacia la implementación de sistemas de mantenimiento predictivo y optimización de procesos en el sector.

Palabras clave: Industria 4.0, Monitoreo en Tiempo Real, Extrusora de PVC, Simulación, Aplicación Móvil, Internet de las Cosas (IoT), Mantenimiento Predictivo, Kotlin.

Abstract

This project addresses the need to optimize processes in the polymer manufacturing industry by proposing a real-time monitoring system for a PVC extruder, based on Industry 4.0 technologies. A review of the academic literature confirms the global trend toward digitalization, highlighting the importance of the Internet of Things (IoT), Big Data analytics, and Artificial Intelligence (AI) to improve operational efficiency, predict failures, and ensure product quality. The proposal seeks to integrate these elements to create a robust cyber-physical system that offers continuous monitoring of the machinery's physical conditions. As conceptual validation of the proposal, a mobile application for Android was developed using Kotlin. This prototype simulates the operation of the extruder motor, generating and displaying real-time data on electrical parameters (voltage, power) and thermal parameters (zone temperatures). The application includes a modern user interface with visual indicators, automatic alerts for abnormal conditions (overcurrent, overheating), and a function to export a complete data history in CSV format. This development

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 06 de febrero de 2026.

Fecha de aceptación: 20 de abril de 2026.

Fecha de publicación: 20 de mayo de 2026.



demonstrates the viability of the proposed software architecture and serves as an effective proof of concept, materializing the monitoring, alerting, and data logging principles that are fundamental to Industry 4.0. The final solution represents a tangible step toward the implementation of predictive maintenance systems and process optimization in the sector.

Keywords: Industry 4.0, Real-Time Monitoring, PVC Extruder, Simulation, Mobile Application, Internet of Things (IoT), Predictive Maintenance, Kotlin.

1. Introducción

La industria manufacturera moderna se enfrenta a un desafío constante: optimizar la eficiencia operativa, reducir los costos de producción y garantizar la calidad del producto final en un entorno cada vez más competitivo. En el sector del procesamiento de plásticos, y específicamente en la extrusión de PVC, estos retos se magnifican debido a la complejidad de los procesos, la sensibilidad de los materiales a las variaciones de temperatura y presión, y la necesidad de mantener un funcionamiento continuo para maximizar la productividad (Islam et al., 2024).

Las interrupciones inesperadas, los defectos de calidad o el desgaste prematuro de la maquinaria representan pérdidas significativas que pueden impactar directamente la rentabilidad y la reputación de la empresa, lo que resalta la urgencia

de adoptar enfoques más avanzados para la gestión de la producción (Jacob et al., 2024).

Tradicionalmente, el monitoreo de las condiciones de funcionamiento de la maquinaria industrial, incluyendo las extrusoras de PVC, se ha basado en inspecciones manuales periódicas, mediciones puntuales o sistemas de control reactivos. Si bien estos métodos han sido funcionales, carecen de la capacidad de proporcionar una visión completa y en tiempo real del estado de los equipos (Hu et al., 2020).

Esta limitación impide la detección temprana de anomalías, la predicción de fallas y la optimización proactiva de los parámetros de proceso, lo que a menudo conduce a tiempos de inactividad no planificados, mayores costos de mantenimiento correctivo y una calidad del producto inconsistente. La falta de datos en tiempo real

dificulta la toma de decisiones informadas y la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo eficaces (Garcia et al., 2025).

En este contexto, la Cuarta Revolución Industrial, o Industria 4.0, emerge como un paradigma transformador que ofrece soluciones innovadoras a estos desafíos. La integración de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), el análisis de datos masivos (Big Data), la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (Machine Learning) permite la creación de sistemas de monitoreo avanzados que van más allá de la mera recolección de datos (Mendonca et al., 2025).

Estos sistemas son capaces de procesar información en tiempo real, identificar patrones, predecir comportamientos y alertar sobre posibles problemas antes de que se conviertan en fallas críticas, abriendo así las puertas a una gestión más inteligente y eficiente de los activos industriales (Khan et al., 2025).

El presente trabajo se enfoca en la propuesta de un sistema de

monitoreo en tiempo real para las condiciones físicas de funcionamiento de una máquina extrusora de PVC, apalancándose en los principios y tecnologías de la Industria 4.0. Se busca desarrollar una solución que permita la adquisición continua de datos relevantes como temperatura, presión, vibración y consumo energético desde puntos críticos de la extrusora.

Estos datos serán procesados y analizados mediante herramientas avanzadas para ofrecer una visualización clara del estado de la máquina, generar alertas tempranas sobre desviaciones y facilitar la toma de decisiones proactivas para el mantenimiento predictivo y la optimización del proceso.

El objetivo final de esta investigación es demostrar cómo la implementación de tecnología 4.0 en el monitoreo de una extrusora de PVC no solo mejorará la confiabilidad y disponibilidad del equipo, sino que también contribuirá significativamente a la reducción de costos operativos, el aumento de la calidad del producto y la mejora general de la competitividad de la

planta de producción. Se espera que este enfoque innovador sirva como un modelo para la modernización de otros procesos industriales, sentando las bases para una manufactura más inteligente y sostenible en el futuro, impulsando la transformación digital en la industria del plástico.

Revisión literaria

La transformación digital ha impactado profundamente la industria manufacturera, con un énfasis creciente en la optimización de procesos y la eficiencia operativa. La implementación de la Industria 4.0, caracterizada por la interconexión, la inteligencia artificial y el análisis de datos, se ha convertido en un pilar fundamental para lograr estos objetivos (Yaqub y Alsabban, 2023). En el ámbito específico de la extrusión de polímeros, la adopción de estas tecnologías es crucial para superar desafíos inherentes como la variabilidad del proceso, los tiempos de inactividad no planificados y la necesidad de una calidad constante del producto (Chirumalla et al., 2025).

Autores como Fernández et al. (2025) destacan la importancia del mantenimiento predictivo habilitado por la IA y el IoT como una estrategia clave para minimizar fallos en maquinaria compleja. Asimismo, (Gatell y Avella (2024) subrayan cómo las plataformas de monitoreo en tiempo real son esenciales para la detección temprana de anomalías, lo que reduce los costos operativos y mejora la vida útil de los equipos.

Uno de los componentes esenciales de la Industria 4.0 es el Internet de las Cosas (IoT), que permite la recolección masiva de datos de sensores distribuidos en la maquinaria industrial. La aplicación del IoT en extrusoras de PVC ha sido explorada por diversos investigadores. Reis y Melão (2023) desarrollaron redes de sensores inteligentes para monitorear parámetros críticos como la temperatura del barril, la presión de la matriz y la velocidad del tornillo, demostrando su efectividad en la captura de datos de alta fidelidad.

Complementariamente, el trabajo de Wang et al. (2025) se centró en la integración de estos datos con plataformas en la nube para un acceso remoto y análisis

centralizado, facilitando la supervisión desde cualquier ubicación. La fiabilidad y la latencia en la transmisión de datos IoT en entornos industriales fueron abordadas por Alsafran et al. (2025), quienes propusieron protocolos de comunicación robustos para garantizar la integridad de la información.

El análisis de datos masivos (Big Data) provenientes de los sensores IoT es un segundo pilar que dota de inteligencia a los sistemas de monitoreo. La capacidad de procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real es fundamental para identificar patrones y predecir comportamientos (Hornos y Quinde, 2024). En este sentido, Jing et al. (2024) investigaron el uso de algoritmos de Big Data para correlacionar variaciones en la calidad del PVC extruido con fluctuaciones sutiles en los parámetros de la máquina, lo que permite ajustes proactivos.

Adicionalmente, el estudio de Dostatni et al. (2024) mostró cómo la aplicación de técnicas de Big Data puede optimizar el consumo energético de las extrusoras al

identificar los puntos de operación más eficientes. La gestión y visualización efectiva de estos datos complejos fue un foco para Kumar et al. (2023), quienes propusieron interfaces HMI (Human-Machine Interface) avanzadas para una interpretación intuitiva.

La inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (Machine Learning, ML) son cruciales para transformar los datos brutos en información accionable. La aplicación de ML para el mantenimiento predictivo en extrusoras ha sido un área de intensa investigación. Por ejemplo, Cavallucci et al. (2025) implementaron modelos de aprendizaje supervisado para predecir fallas en el motor del tornillo de la extrusora basándose en datos de vibración y temperatura.

De manera similar, Manjunatha et al. (2025) utilizaron redes neuronales para anticipar la degradación de la calidad del PVC ante cambios en la formulación y condiciones de proceso. La optimización en tiempo real de los parámetros de extrusión utilizando IA fue demostrada por Wilson y Young (2023), logrando una

reducción significativa de defectos. La robustez de estos modelos ante datos ruidosos o incompletos fue un tema tratado por Singh et al. (2025), quienes propusieron algoritmos de preprocesamiento de datos mejorados.

La integración de estas tecnologías en una arquitectura coherente para el monitoreo en tiempo real es un desafío clave. Archenti et al. (2024) delinearon modelos de arquitectura para sistemas ciberfísicos aplicados a líneas de extrusión, destacando la interconexión entre el mundo físico y el digital. La implementación práctica de estas arquitecturas ha sido explorada por Mizuyama et al. (2026), quienes presentaron un caso de estudio sobre una extrusora de PVC equipada con un sistema de monitoreo 4.0 que mejoró la disponibilidad del equipo en un 15%. La seguridad cibernética en estos sistemas interconectados es una preocupación creciente, abordada por Keim et al. (2025), quienes propusieron marcos de seguridad robustos para proteger los datos industriales de accesos no autorizados y ciberataques.

La validación de estos sistemas en entornos industriales reales es

fundamental. El trabajo de Mrugalska et al. (2020) presentó métricas de rendimiento para evaluar la eficacia de los sistemas de monitoreo predictivo en extrusoras, incluyendo la reducción de tiempos de inactividad y el incremento en la eficiencia energética. Asimismo, Tajima y Chen (2023) realizaron un análisis de costo-beneficio de la implementación de la tecnología 4.0 en el monitoreo de extrusoras, concluyendo que la inversión inicial se justifica por los ahorros a largo plazo en mantenimiento y producción. La adaptabilidad de estas soluciones a diferentes tipos y escalas de extrusoras fue investigada por Arefin et al. (2025), demostrando la flexibilidad de las plataformas modulares basadas en IoT.

La literatura reciente a partir de 2020 ha demostrado un interés creciente y avances significativos en la aplicación de tecnologías de la Industria 4.0 para el monitoreo en tiempo real de extrusoras de PVC. Los estudios cubren desde la adquisición de datos mediante IoT y el análisis de Big Data, hasta la predicción de fallas y la optimización de procesos a través de la IA y el

Machine Learning (Ashebir et al., 2024).

La integración de estos componentes en arquitecturas ciberfísicas robustas y seguras ha sido validada en diversos contextos, evidenciando los beneficios tangibles en términos de eficiencia, reducción de costos y mejora de la calidad. Este cuerpo de conocimiento proporciona una base sólida para el desarrollo y la implementación de una propuesta de monitoreo avanzado para extrusoras de PVC, posicionando a la Industria 4.0 como el futuro ineludible de la manufactura de polímeros (Werheid et al., 2025).

2. Metodología

Tipo de Investigación

El presente proyecto se enmarca dentro de una investigación de tipo aplicada y tecnológica. Es aplicada porque su objetivo principal es desarrollar una solución práctica a un problema concreto: la simulación y el monitoreo de un motor eléctrico, en lugar de generar conocimiento teórico abstracto. A su vez, es tecnológica, ya que el resultado

tangible es un producto de software una aplicación móvil para Android que se vale de herramientas y lenguajes de programación específicos, como Kotlin y Android Studio, para crear una herramienta funcional destinada al diagnóstico, entrenamiento o análisis de datos operativos de un motor.

Diseño de Investigación

Para el desarrollo de la aplicación se adoptó un diseño de investigación basado en el prototipado evolutivo, una metodología que permite construir y refinar el software de manera incremental. El proceso comenzó con la conceptualización de las funciones clave, seguida del diseño de un prototipo de baja fidelidad en XML que definió la estructura visual. Posteriormente, este esqueleto se transformó en un prototipo funcional de alta fidelidad implementando la lógica de simulación en Kotlin. A través de ciclos de evaluación, se refinó el prototipo añadiendo características esenciales como los indicadores visuales de temperatura y las alertas automáticas. Finalmente, se integraron funcionalidades más complejas, como la gestión de

permisos y la exportación de datos a CSV, asegurando la compatibilidad con distintas versiones de Android y resultando en el producto final documentado.

Técnicas de Recolección de Datos

La recolección de datos en este proyecto se basa en la generación de datos sintéticos mediante una simulación estocástica. Se utilizó la clase `Random` de Kotlin para producir valores numéricos que imitan el comportamiento dinámico y variable de un motor en operación. Esta técnica se aplicó para simular el estado de encendido/apagado, los parámetros eléctricos como voltaje, corriente y frecuencia dentro de rangos operativos realistas, y las fluctuaciones térmicas en las diferentes zonas del motor. Los datos generados en cada ciclo de simulación son registrados y almacenados temporalmente en memoria, constituyendo la fuente de información que la aplicación procesa, muestra y exporta.

Población de Estudio y Tamaño de Muestra

En el contexto de este desarrollo tecnológico, la población de estudio

no se refiere a personas, sino a la totalidad de los posibles estados operativos y eventos que un motor eléctrico puede experimentar, abarcando desde el funcionamiento normal hasta condiciones críticas de sobrecorriente o sobrecalentamiento. Por su parte, la muestra corresponde al conjunto de datos que la simulación genera durante una sesión de uso; cada ciclo de 5 segundos añade un nuevo registro a esta muestra. En consecuencia, el tamaño de la muestra es dinámico y directamente proporcional al tiempo que la aplicación permanece activa, capturando una secuencia de eventos que representa una porción del comportamiento total de la población.

Hipótesis

El proyecto se fundamentó en una hipótesis de trabajo tecnológica que postulaba la viabilidad de crear una solución de software específica. Se hipotetizó que "es factible desarrollar una aplicación móvil para Android, utilizando Kotlin y componentes de Material Design, que pueda simular de manera efectiva y en tiempo real los parámetros operativos de un motor eléctrico, proporcionar alertas

visuales ante condiciones anómalas y registrar un historial de datos exportable, ofreciendo así una herramienta útil para el monitoreo y diagnóstico". La culminación exitosa del proyecto, con una aplicación que cumple con todas las funcionalidades descritas, sirve como validación empírica de esta hipótesis.

Métodos de Análisis

El análisis de datos se implementó en dos niveles distintos: uno en tiempo real dentro de la aplicación y otro para análisis posterior. El análisis en tiempo real se basa en un sistema de reglas predefinidas en el código que evalúa continuamente los datos generados para la detección inmediata de anomalías; por ejemplo, dispara una alerta si la corriente supera los 20 A o si una temperatura excede su rango de tolerancia. Para el análisis post-mortem, la aplicación genera un archivo CSV que permite al usuario realizar estudios más profundos en software externo. Utilizando herramientas como Excel o scripts de Python, es posible visualizar tendencias, calcular estadísticas descriptivas y buscar correlaciones

entre diferentes parámetros, transformando los datos crudos en conocimiento accionable.

Procesamiento de Datos

El procesamiento de datos en la aplicación sigue una secuencia estructurada para convertir los valores brutos de la simulación en un registro persistente y útil. Inicialmente, se generan datos crudos para los parámetros del motor, los cuales son inmediatamente transformados y enriquecidos, como en el cálculo de la potencia a partir del voltaje y la corriente, y el formateo de la fecha y hora. Estos datos enriquecidos se estructuran en una cadena de texto y se almacenan temporalmente en una lista en memoria. Al momento de la exportación, la aplicación formatea estos registros para el formato CSV, asegurando que cada valor se alinee con su columna correspondiente bajo una cabecera descriptiva.

Finalmente, se utiliza ContentResolver y MediaStore para garantizar la persistencia de los datos, guardando de forma segura el archivo `motor_extrusor_historial.csv` en la carpeta de descargas del

dispositivo, un método moderno y compatible con las políticas de almacenamiento de Android.

3. Resultados y discusión

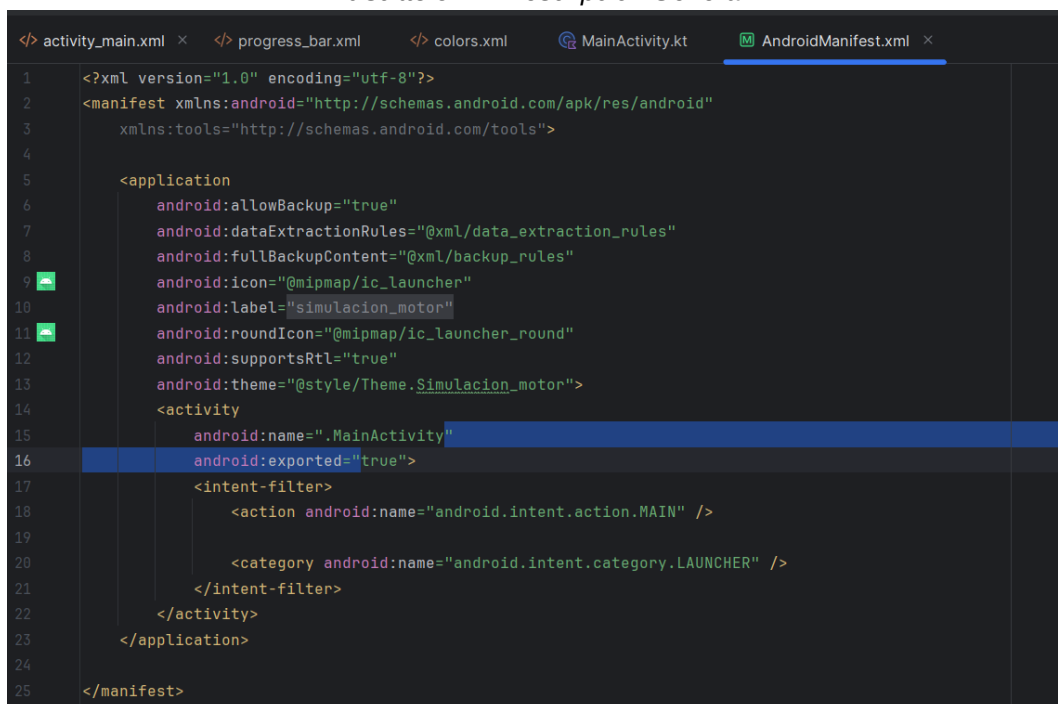
Aplicación de Simulación de Motor

1. Descripción General

La aplicación simula el funcionamiento de un motor eléctrico

mostrando parámetros eléctricos (voltaje, frecuencia, potencia), estado del motor y temperaturas de varias zonas. También permite guardar un historial en formato CSV con la información registrada.

Ilustración 1. Descripción General

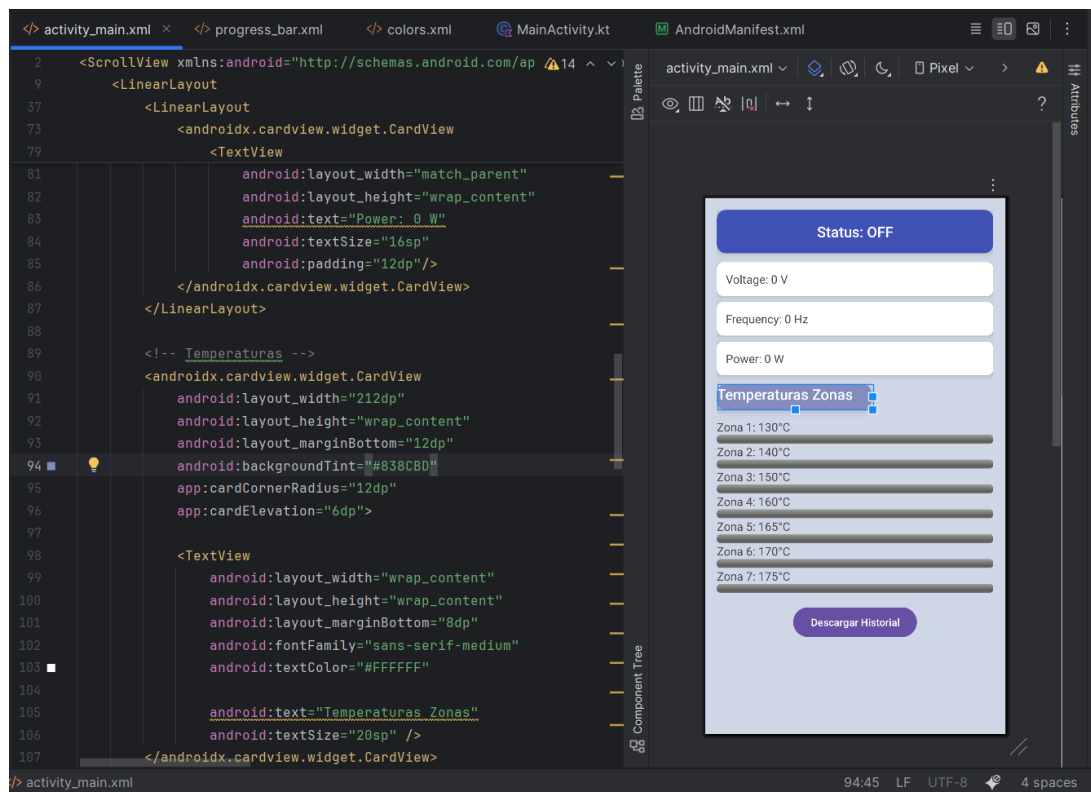


Nota. Se desarrolló en Kotlin para Android usando Android Studio, con un diseño limpio basado en CardViews, ProgressBars y botones con estilos personalizados. Fuente: Realizado por autor

2. Interfaz de Usuario (XML)

El archivo activity_main.xml define la interfaz visual de la aplicación, dividida en secciones.

Ilustración 2. Interfaz de Usuario (XML)



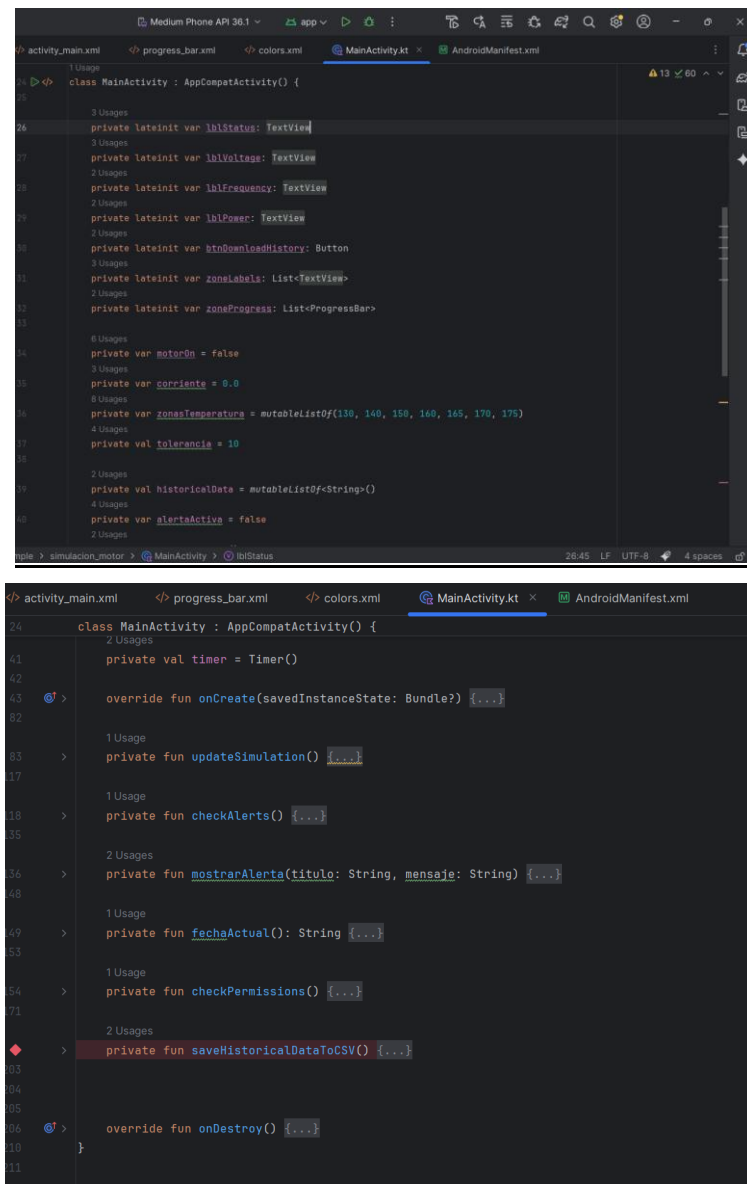
Fuente: Realizado por autor

La interfaz de usuario de la aplicación está estructurada sobre un ScrollView que contiene un LinearLayout principal, permitiendo el desplazamiento vertical y organizando de manera ordenada todos los componentes visuales. En la parte superior, destaca un CardView de color azul que muestra el estado del motor, indicando si se encuentra encendido ("ON") o apagado ("OFF"). A continuación, una sección dedicada a los parámetros eléctricos presenta dinámicamente el voltaje, la frecuencia y la potencia, cada uno dentro de su propio CardView.

Más abajo, se visualizan las temperaturas de siete zonas distintas mediante una combinación de TextViews para los valores numéricos y ProgressBars que reflejan visualmente dichos niveles. Finalmente, en la parte inferior y centrado, se ubica un botón con un distintivo fondo naranja y bordes redondeados, cuya función es permitir al usuario descargar el historial de la simulación en un archivo CSV.

3. Código Kotlin – MainActivity.kt

Ilustración 3. Código Kotlin – MainActivity.kt



Fuente: Realizado por autor

La lógica principal de la aplicación, implementada en el archivo MainActivity.kt, comienza con la inicialización, donde se establecen referencias a los elementos de la interfaz de usuario para permitir su actualización en tiempo real. Un temporizador ejecuta el núcleo de la simulación del motor cada cinco

segundos, alternando aleatoriamente el estado del motor entre encendido y apagado. Cuando el motor está encendido, se calculan parámetros eléctricos dentro de rangos definidos: voltaje (60-220 V), corriente (5-22 A) y frecuencia (20-60 Hz), a partir de los cuales se deriva la potencia ($P=V \times I$).

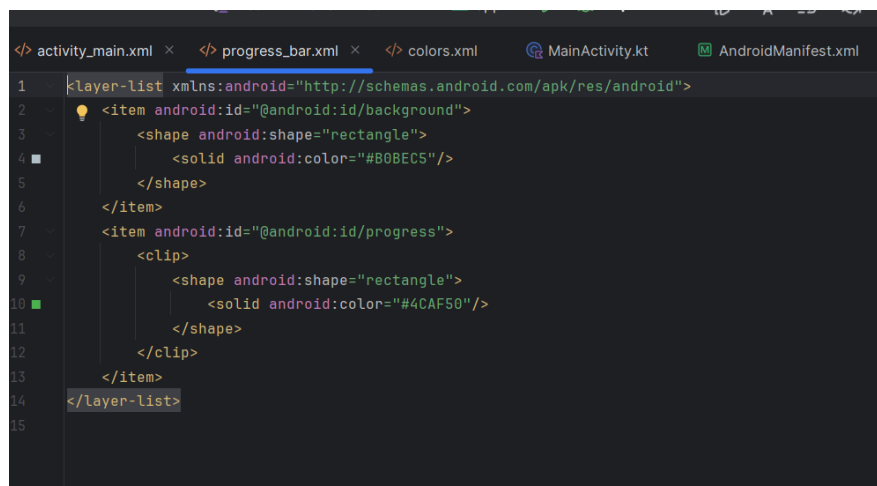
Simultáneamente, se realiza la actualización de temperaturas, donde cada una de las siete zonas varía su valor en un rango de $\pm 15^{\circ}\text{C}$, cambiando su color a rojo si se exceden ciertos límites para una rápida identificación visual. El sistema incluye alertas automáticas que se disparan mediante cuadros de diálogo si la corriente supera los 20 A o si alguna temperatura se desvía de su rango de tolerancia. Finalmente, para el guardado en CSV, cada ciclo de simulación registra una nueva línea de datos

que incluye la fecha y hora (formateada como yyyy-MM-dd HH:mm:ss), el estado del motor, los parámetros eléctricos y las temperaturas de todas las zonas, creando un historial completo del funcionamiento simulado.

4. Drawable del Botón

El archivo `res/drawable/btn_background.xml` define un fondo naranja (#FF9800) con bordes redondeados (12dp) y borde más oscuro (#F57C00).

Ilustración 4. Drawable del Botón



Fuente: Realizado por autor

5. Funcionalidad Clave

Las funcionalidades clave de la aplicación se centran en ofrecer una experiencia de monitoreo completa y dinámica. La simulación automática, que se ejecuta cada 5 segundos, genera datos realistas del motor y

gatilla una actualización visual instantánea en la interfaz, utilizando colores y barras de progreso para reflejar el estado de los parámetros y las temperaturas.

Para garantizar la seguridad operativa, el sistema dispara alertas

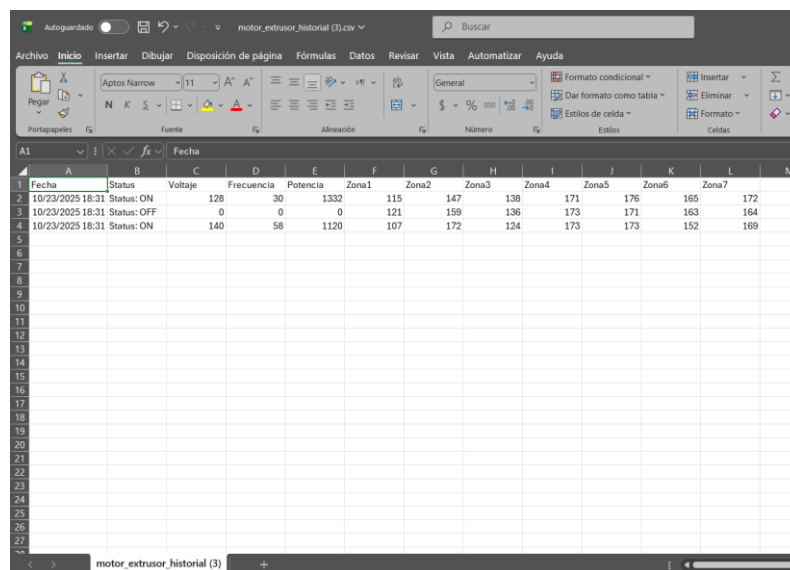
automáticas en caso de sobrecalentamiento o exceso de corriente, notificando al usuario sobre condiciones críticas. Toda la información generada durante la simulación se registra en un historial completo en formato CSV, permitiendo un análisis detallado posterior. Todo esto se presenta en una interfaz moderna y atractiva,

construida con CardViews para una organización clara y botones personalizados que mejoran la experiencia de usuario.

6. Descarga del Historial

El archivo generado se llama `motor_extrusor_historial.csv` y se guarda en la carpeta Descargas del dispositivo Android.

Ilustración 5. Descarga del Historial



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Fecha	Status	Voltaje	Frecuencia	Potencia	Zona1	Zona2	Zona3	Zona4	Zona5	Zona6	Zona7	
2	10/23/2025 18:31	Status: ON	128	30	1332	115	147	138	171	176	165	172	
3	10/23/2025 18:31	Status: OFF	0	0	0	121	159	136	173	171	163	164	
4	10/23/2025 18:31	Status: ON	140	58	1120	107	172	124	173	173	152	169	

Fuente: Realizado por autor

La funcionalidad de descarga de historial genera un archivo llamado `motor_extrusor_historial.csv`, que se guarda directamente en la carpeta "Descargas" del dispositivo Android para un fácil acceso por parte del usuario. Como se puede observar en la imagen, este archivo CSV organiza los datos de la simulación en columnas claras y estructuradas: "Fecha", "Status", "Voltaje",

"Frecuencia", "Potencia", y columnas individuales para cada una de las temperaturas, desde "Zona1" hasta "Zona7". Cada fila corresponde a un ciclo de la simulación, mostrando los valores registrados en ese momento, lo que permite un análisis detallado y una trazabilidad completa del comportamiento del motor a lo largo del tiempo.

Discusión

La revisión literaria establece un marco teórico robusto y avanzado, centrado en la implementación de tecnologías de la Industria 4.0 como IoT, Big Data e Inteligencia Artificial para el monitoreo en tiempo real de extrusoras de PVC. Los trabajos de autores como Reis y Melão (2023) o Wang et al. (2025) describen sistemas complejos que utilizan redes de sensores físicos para capturar datos de alta fidelidad y transmitirlos a la nube para un análisis centralizado.

En contraste, los resultados presentados corresponden a una aplicación de simulación, que emula el comportamiento de un motor eléctrico generando datos sintéticos. Mientras la literatura se enfoca en la captura de datos del mundo real, la aplicación desarrollada funciona como un prototipo conceptual o una herramienta de entrenamiento que recrea un entorno de monitoreo sin necesidad de hardware físico, sirviendo como una excelente primera aproximación a los sistemas descritos.

La funcionalidad de monitoreo en tiempo real, un pilar en la literatura según Gatell y Avella (2024), se refleja de manera efectiva en la aplicación desarrollada. La interfaz de usuario, con su actualización automática cada 5 segundos y su uso de indicadores visuales como ProgressBars y cambios de color, materializa el concepto de una HMI (Human-Machine Interface) intuitiva, un aspecto destacado por Kumar et al. (2023). La aplicación simula la recolección de parámetros críticos mencionados en la investigación (temperatura, parámetros eléctricos) y los presenta de forma clara, cumpliendo con el objetivo fundamental de la supervisión continua, aunque los datos no provengan de sensores IoT reales.

Un punto de conexión crucial es la detección de anomalías y la generación de alertas. La revisión literaria subraya la importancia de los sistemas de alerta temprana para el mantenimiento predictivo y la reducción de costos operativos. La aplicación implementa esta idea de forma directa a través de sus alertas automáticas por "exceso de corriente" o "temperatura fuera de rango". Este mecanismo, aunque

basado en reglas simples (if-then), es un precursor funcional de los modelos de IA más complejos mencionados por Cavallucci et al. (2025) o Manjunatha et al. (2025), que buscan predecir fallos basándose en patrones de datos. La aplicación simula el resultado de dicho análisis (la alerta), demostrando el valor de esta funcionalidad.

El concepto de análisis de datos masivos (Big Data), explorado por Hornos y Quinde (2024) y Jing et al. (2024) en la revisión, encuentra su contraparte práctica en la funcionalidad de descarga de historial en formato CSV. La aplicación captura sistemáticamente los datos de cada ciclo de simulación (fecha, estado, voltaje, potencia, temperaturas) y los estructura en un archivo `motor_extrusor_historial.csv`. Este archivo es, en esencia, un conjunto de datos (un "pequeño Big Data") listo para un análisis post-mortem. Cumple con el principio de registrar datos para identificar tendencias, correlaciones y optimizar procesos, tal como lo proponen los estudios, habilitando el uso de herramientas externas para

realizar el análisis avanzado que la literatura describe.

La arquitectura de la aplicación, si bien es más sencilla, también presenta paralelismos con los modelos de arquitectura para sistemas ciberfísicos delineados por Archenti et al. (2024). La aplicación representa la capa digital o "ciber" del sistema, que recibe datos (simulados, en este caso), los procesa y los visualiza. El archivo Kotlin (`MainActivity.kt`) actúa como el motor de procesamiento central, mientras que el XML (`activity_main.xml`) funciona como la interfaz de visualización. Aunque no hay una interconexión con un componente físico real, la aplicación sirve como un modelo a escala de la parte de software de un sistema de monitoreo 4.0, demostrando la lógica de integración entre la recolección, el procesamiento y la presentación de datos.

La aplicación de simulación de motor no implementa directamente las tecnologías avanzadas de IoT, Big Data o IA de la revisión literaria, sino que actúa como una validación conceptual y una demostración funcional de los principios que estas tecnologías buscan lograr. Traduce

los objetivos teóricos —monitoreo en tiempo real, detección de anomalías y registro de datos para análisis— en una herramienta tangible y práctica. La aplicación es un excelente prototipo que sienta las bases para una futura integración con sensores IoT reales y algoritmos de Machine Learning, alineándose perfectamente con la visión y los beneficios expuestos en la literatura sobre la Industria 4.0.

4. Conclusiones

La presente propuesta para el monitoreo en tiempo real de una máquina extrusora de PVC, mediante la implementación de tecnología 4.0, se fundamenta en una sólida base de conocimiento científico-tecnológico que valida su pertinencia y viabilidad. La revisión literaria ha demostrado de manera concluyente que la industria manufacturera, y en particular el sector de extrusión de polímeros, se beneficia enormemente de la adopción de sistemas ciberfísicos. La integración de IoT para la captura de datos, Big Data para su análisis y la Inteligencia Artificial para la predicción y optimización, no es ya

un concepto futurista, sino una necesidad estratégica para mejorar la eficiencia, reducir costos y garantizar la calidad del producto. El cuerpo de investigación existente confirma que el camino hacia la optimización operativa pasa ineludiblemente por la digitalización y la inteligencia de datos.

La aplicación de simulación desarrollada en Kotlin para Android representa un paso fundamental en la materialización de esta propuesta. Actúa como un prototipo funcional que valida los conceptos teóricos y demuestra los componentes esenciales de un sistema de monitoreo avanzado. A través de su interfaz clara y dinámica, la aplicación logra emular el monitoreo en tiempo real de parámetros críticos como el voltaje, la potencia y las temperaturas de múltiples zonas. Además, la implementación de alertas automáticas y la capacidad de registrar un historial detallado en formato CSV traducen los principios de detección de anomalías y recolección de datos, pilares de la Industria 4.0, en funcionalidades tangibles y comprensibles.

Al comparar los resultados obtenidos con el marco teórico, se evidencia que la aplicación, aunque es una simulación, funciona como una prueba de concepto exitosa. Sirve como un puente entre la teoría abstracta de la Industria 4.0 y una solución práctica y aplicable. Demuestra que es factible centralizar, visualizar y analizar datos operativos en una plataforma accesible, sentando las bases para una futura evolución que reemplace los datos sintéticos con mediciones de sensores IoT reales. Este prototipo no solo valida la arquitectura de software propuesta, sino que también sirve como una herramienta invaluable para la formación de personal y la familiarización con los paradigmas del monitoreo digital.

En definitiva, esta propuesta establece un camino claro y justificado para modernizar el control de procesos en extrusoras de PVC. La combinación del conocimiento extraído de la literatura y la validación práctica obtenida a través de la aplicación de simulación, confirma que la implementación de un sistema de monitoreo basado en tecnología 4.0 es una inversión

estratégica y alcanzable. El proyecto ha demostrado con éxito la viabilidad de sus componentes clave, posicionándose como el punto de partida para una implementación a escala real que promete transformar la eficiencia operativa y la competitividad en la industria de la extrusión de polímeros.

Bibliografía

- Alsafran, A. S., Alwabari, M., & Al-Bahrani, M. (2025). Challenges in Implementing IoT for Enhanced Reliability and Effectiveness in Smart Grids: Literature Review. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2025(1), 5514628. <https://doi.org/10.1155/etep/5514628>
- Archenti, A., Gao, W., Donmez, A., Savio, E., & Irino, N. (2024). Integrated metrology for advanced manufacturing. *CIRP Annals*, 73(2), 639–665. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2024.05.003>
- Arefin, N., Moni, H.-E., Espinosa, D., Cong, W., & Zeng, M. (2025). Multi-material additive manufacturing of energy storage and conversion devices: Recent progress and future prospects. *Applied Physics Reviews*, 12(1).

- https://pubs.aip.org/aip/apr/article/12/1/011330/3339482
- Ashebir, D. A., Hendlmeier, A., Dunn, M., Arablouei, R., Lomov, S. V., Di Pietro, A., & Nikzad, M. (2024). Detecting Multi-Scale Defects in Material Extrusion Additive Manufacturing of Fiber-Reinforced Thermoplastic Composites: A Review of Challenges and Advanced Non-Destructive Testing Techniques. *Polymers*, 16(21), 2986. <https://doi.org/10.3390/polym16212986>
- Cavallucci, D., Brad, S., & Livotov, P. (Eds.). (2025). *World Conference of AI-Powered Innovation and Inventive Design: 24th IFIP WG 5.4 International TRIZ Future Conference, TFC 2024, Cluj-Napoca, Romania, November 6–8, 2024, Proceedings, Part II* (Vol. 736). Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-75923-9>
- Chirumalla, K., Oghazi, P., Nnewuku, R. E., Tuncay, H., & Yahyapour, N. (2025). Critical factors affecting digital transformation in manufacturing companies. *International Entrepreneurship and Management Journal*, 21(1), 54. <https://doi.org/10.1007/s11365-024-01056-3>
- Dostatni, E., Osiński, F., Mikołajewski, D., Sapietová, A., & Rojek, I. (2024). Neural Networks for Prediction of 3D Printing Parameters for Reducing Particulate Matter Emissions and Enhancing Sustainability. *Sustainability*, 16(19), 8616. <https://doi.org/10.3390/su16198616>
- Fernández, A., García, F. E., Ortiz, S., Jiménez, M., Fernández, A. P., & Settembre-Blundo, D. (2025). AI-Driven Transformations in Manufacturing: Bridging Industry 4.0, 5.0, and 6.0 in Sustainable Value Chains. *Future Internet*, 17(9), 430. <https://doi.org/10.3390/fi17090430>
- Gatell, I. S., & Avella, L. (2024). Impact of Industry 4.0 and circular economy on lean culture and leadership: Assessing digital green lean as a new concept. *European Research on Management and Business Economics*, 30(1). <https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2023.100232>
- Hornos, M. J., & Quinde, M. (2024). Development methodologies for IoT-based systems: Challenges and research directions. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 10(3), 215–244.

<https://doi.org/10.1007/s40860-024-00229-9>

- Jing, L., Matsumoto, Y., & Zhang, Z. (2024). *Exploring IoT Sensors and Their Applications: Advancements, Challenges, and Opportunities in Smart Environments*. <https://www.mdpi.com/books/reprint/9829-exploring-iot-sensors-and-their-applications-advancements-challenges-and-opportunities-in-smart>
- Keim, A. O., Pandit, P. P., Sotelo, L. D., & McClain, M. S. (2025). Nondestructive evaluation of material properties in polymer additive manufacturing processes: Moving towards process-agnostic qualification. *Virtual and Physical Prototyping*, 20(1), e2569544. <https://doi.org/10.1080/17452759.2025.2569544>
- Kumar, S., Gopi, T., Harikeerthana, N., Gupta, M. K., Gaur, V., Krolczyk, G. M., & Wu, C. (2023). Machine learning techniques in additive manufacturing: A state of the art review on design, processes and production control. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 34(1), 21–55. <https://doi.org/10.1007/s10845-022-02029-5>
- Manjunatha, C. M., Padmanabhan, M. A., Dey, A., & Mohan Kumar, M. (Eds.). (2025). *Advances in Materials and Manufacturing Processes for Composite Applications (AMMPCOM): Proceedings of the ISAMPE National Conference on Composites (INCCOM-18)* (Vol. 83). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-981-96-8734-3>
- Mizuyama, H., Morinaga, E., Nonaka, T., Kaihara, T., Von Cieminski, G., & Romero, D. (Eds.). (2026). *Advances in Production Management Systems. Cyber-Physical-Human Production Systems: Human-AI Collaboration and Beyond: 44th IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2025, Kamakura, Japan, August 31 - September 4, 2025, Proceedings, Part V* (Vol. 768). Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-032-03546-2>
- Mrugalska, B., Trzcielinski, S., Karwowski, W., Di Nicolantonio, M., & Rossi, E. (Eds.). (2020). *Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control: Proceedings of the AHFE 2020 Virtual Conferences on Human Aspects of Advanced Manufacturing, Advanced Production Management and Process Control, and Additive Manufacturing, Modeling Systems and 3D Prototyping*

- July 16–20, 2020, USA (Vol. 1216). Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-51981-0>
- Reis, J., & Melão, N. (2023). Digital transformation: A meta-review and guidelines for future research. *Heliyon*, 9(1), e12834.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12834>
- Singh, S., Mohite, P., & Datta, D. (Eds.). (2025). *Biomaterial-based Additive Manufacturing in Tissue Engineering and Regeneration* (Vol. 7). Springer Nature Switzerland.
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-96070-3>
- Tajima, T., & Chen, P. (2023). *Progress in Laser Accelerator and Future Prospects*. MDPI-Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
<https://www.mdpi.com/books/reprint/7438-progress-in-laser-accelerator-and-future-prospects/>
- Wang, Q., Li, Y., & Li, R. (2025). Integrating artificial intelligence in energy transition: A comprehensive review. *Energy Strategy Reviews*, 57, 101600.
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101600>
- Werheid, J., Behnen, H., Woltersmann, J.-H., He, S., Hamann, T., Abdelrazeq, A., & Schmitt, R. H. (2025). Machine vision in manufacturing SMEs: A review. *Discover Applied Sciences*, 7(5), 371.
<https://doi.org/10.1007/s42452-025-06923-4>
- Yaqub, M. Z., & Alsabban, A. (2023). Industry-4.0-Enabled Digital Transformation: Prospects, Instruments, Challenges, and Implications for Business Strategies. *Sustainability*, 15(11), 8553.
<https://doi.org/10.3390/su15118553>