

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

PROPUESTA DE MEJORA DE PROCESOS PRODUCTIVOS

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES.

TEMA:

Optimización de la gestión de operación y mantenimiento mediante la implementación de un sistema de registro de datos industriales en tiempo real en la central hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind

Autor:

Ing. David Ismael Salazar Plúas

Director:

Msc. Byron Ramiro Romero Romero

Milagro, 2025

DERECHOS DE AUTOR

Sr. Dr.

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **David Ismael Salazar Plúas** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de **Magíster en Producción y Operaciones Industriales**, como aporte a la Línea de Investigación **Mejora de Procesos productivos** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 7 de abril del 2025.

David Ismael Salazar Plúas

0925980575

INFORME DEL TUTOR

Milagro, 13 de febrero del 2025

Ingeniero

Eduardo Espinoza Solís, Ph.D

Decano de Posgrado

De mis consideraciones

Por medio de la presente certifico haber acompañado en el desarrollo del trabajo de titulación en calidad de profesor tutor, al maestrante **DAVID ISMAEL SALAZAR PLUAS**, con el tema: "**OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REGISTRO DE DATOS INDUSTRIALES EN TIEMPO REAL EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MARCEL LANIADO DE WIND**". En el cual se realizaron 8 tutorías, las mismas que se encuentran registradas en el Sistema de Gestión Académica.

Además, notifico que el Trabajo de Titulación cumple con los parámetros de calidad y forma requeridos por el programa de **MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES MODALIDAD PRESENCIAL**, cumpliendo con el porcentaje de originalidad del 1.0%.

Pongo de manifiesto que autorizo la entrega del documento desarrollado a los entes pertinentes para proceder a la revisión y posterior defensa del Trabajo de Titulación presentado por el maestrante.



Firmado electrónicamente por:
BYRON RAMIRO ROMERO
ROMERO

Atentamente,

ROMERO ROMERO BYRON RAMIRO, Msc.

C.I. 0603003302

CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

FACULTAD DE POSGRADO

CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES CON MENCIÓN EN MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**, presentado por **ING. SALAZAR PLUS DAVID ISMAEL**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REGISTRO DE DATOS INDUSTRIALES EN TIEMPO REAL EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MARCEL LANIADO DE WIND", las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	57.33
DEFENSA ORAL	39.33
PROMEDIO	96.67
EQUIVALENTE	Excelente



firmado electrónicamente por:
LUIS ANGEL BUCHELI
CARPIO

Msc. BUCHELI CARPIO LUIS ANGEL
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



firmado electrónicamente por:
ANDREA MARIEL
MALAVE GOMEZ

Ing. MALAVE GOMEZ ANDREA MARIEL
VOCAL



firmado electrónicamente por:
JESUS ARMANDO
VERDUGO ARCOS

Mp-Oi VERDUGO ARCOS JESUS ARMANDO
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis está dedicado primordialmente a Dios, fuente de mi fortaleza y guía en cada paso de mi vida. Sin Su amor y misericordia, este logro no sería posible.

A mi familia, el pilar que me sostiene. A mi amada esposa y mis hijas, por ser mi motor y mi inspiración constante. Su amor y paciencia han sido mi refugio en los momentos difíciles.

A mi madre, quien desde mi infancia me enseñó el valor del esfuerzo, la honestidad y la perseverancia. Su ejemplo de vida y su apoyo incondicional han sido fundamentales para que hoy pueda alcanzar esta meta. Gracias por ser mi luz y por nunca dejar de creer en mí, se que desde el cielo te sientes muy orgullosa de mí.

A todos los que de una u otra forma me acompañaron en este camino, con gratitud y cariño les dedico este trabajo.

DAVID ISMAEL SALAZAR PLÚAS

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, el Ing. Byron Ramiro Romero Romero, por su invaluable apoyo, guía y paciencia durante todo este proceso. Desde el inicio de este proyecto, me ofreció su conocimiento y experiencia, lo cual fue fundamental para el desarrollo de este trabajo. Su orientación no solo fue técnica, sino también motivacional, ayudándome a superar los desafíos y a mantener la dirección correcta en momentos clave.

DAVID ISMAEL SALAZAR PLÚAS

TITULO: Optimización de la gestión de operación y mantenimiento mediante la implementación de un sistema de registro de datos industriales en tiempo real en la central hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind

RESUMEN

Este trabajo propone la implementación de un sistema de registro de datos industriales en tiempo real en la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind para mejorar la gestión de operación y mantenimiento. Actualmente, el proceso de recolección de datos se realiza de manera manual, lo que genera ineficiencias, pérdida de información y dificultades en el análisis de datos.

El objetivo principal es desarrollar una solución automatizada utilizando dispositivos PDA industriales, integrándola con el sistema SCADA existente y centralizando la información en una base de datos unificada. Esto permitirá mejorar la eficiencia operativa, optimizar el mantenimiento y facilitar la toma de decisiones mediante herramientas avanzadas de análisis y visualización en tiempo real.

La revisión de la literatura explora temas clave como la automatización de procesos industriales, sistemas de información, mantenimiento y eficiencia energética en centrales hidroeléctricas. Estos conceptos fundamentan la importancia del proyecto y su impacto en la optimización de la gestión de la planta.

La metodología se divide en varias fases:

1. **Diseño del sistema**, definiendo requisitos técnicos y funcionales.
2. **Implementación**, incluyendo el desarrollo del software, la integración con SCADA y el despliegue en la planta.
3. **Capacitación**, asegurando que el personal pueda operar el nuevo sistema eficientemente.
4. **Evaluación**, para medir el impacto del sistema en la operación y mantenimiento.

Este proyecto busca modernizar la gestión de datos en la central hidroeléctrica, reduciendo errores, mejorando la eficiencia y optimizando la toma de decisiones mediante un sistema digitalizado e integrado.

Palabras clave: SCADA, PDA industriales, Base de datos unificada, Sistema de información, Análisis en tiempo real, Automatización.

TITLE: Optimization of Operation and Maintenance Management Through the Implementation of a Real-Time Industrial Data Recording System at the Marcel Laniado de Wind Hydroelectric Plant

ABSTRACT

This study proposes the implementation of a real-time industrial data recording system at the Marcel Laniado de Wind Hydroelectric Plant to enhance operation and maintenance management. Currently, data collection is performed manually, leading to inefficiencies, data loss, and difficulties in data analysis.

The main objective is to develop an automated solution using industrial PDA devices, integrating it with the existing SCADA system and centralizing information in a unified database. This will improve operational efficiency, optimize maintenance, and facilitate decision-making through advanced real-time analysis and visualization tools.

The literature review explores key topics such as industrial process automation, information systems, maintenance, and energy efficiency in hydroelectric plants. These concepts underscore the project's importance and its impact on plant management optimization.

The methodology is divided into several phases:

1. **System design**, defining technical and functional requirements.
2. **Implementation**, including software development, SCADA integration, and deployment at the plant.
3. **Training**, ensuring personnel can efficiently operate the new system.
4. **Evaluation**, measuring the system's impact on operation and maintenance.

This project aims to modernize data management at the hydroelectric plant, reducing errors, improving efficiency, and optimizing decision-making through a digitized and integrated system.

Keywords: SCADA, Industrial PDAs, Unified Database, Information System, Real-Time Analysis, Automation.

INDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTOR	i
INFORME DEL TUTOR	ii
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
INDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
CAPITULO 1	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del Problema	4
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos	5
1.5. Alcance y Delimitaciones	6
1.6. Metodología	6
1.7. Estructura del Documento	7
CAPITULO 2	7
2.1. Automatización y Control de Procesos Industriales	7
2.2. Sistemas de Información Industrial	8
2.3. Mantenimiento Predictivo y Proactivo	8
2.4. Tecnología en el Mantenimiento Industrial	8
2.5. Impacto de la automatización en la eficiencia operativa de centrales hidroeléctricas 9	
2.6. Análisis de Datos y Visualización en Tiempo Real	10
2.7. Integración de datos y monitoreo en tiempo real en plantas industriales	10
2.8. Optimización en centrales hidroeléctricas a través Big Data	11

2.9.	Internet de las Cosas (IoT) en la Industria	13
2.10.	Eficiencia Energética en Centrales Hidroeléctricas	13
CAPITULO 3.		14
3.1.	Metodología	14
3.2.	Diseño del Sistema	14
3.2.1.	Requisitos del sistema	14
3.3.	Arquitectura del Sistema	15
3.4.	Implementación del Sistema	17
3.4.1.	Desarrollo del Software	17
3.4.2.	Despliegue del Sistema	17
3.5.	Pruebas Iniciales	18
3.6.	Capacitación y Soporte	18
3.6.1.	Plan de Capacitación	18
3.6.2.	Soporte Técnico	20
3.7.	Evaluación del Sistema	20
3.7.1.	Criterios de Evaluación	20
3.7.2.	Resultados y Ajustes	21
CAPITULO 4.		21
4.1.	Análisis de los resultados	21
4.2.	Evaluación del Sistema	21
4.2.1.	Implementación y Despliegue	21
4.2.2.	Capacitación y Soporte	24
4.3.	Análisis de Datos	24
4.3.1.	Calidad de los Datos	24
4.3.2.	Eficiencia Operativa	26
4.4.	Discusión de Resultados	26
4.4.1.	Impacto en la Gestión del Mantenimiento	26
4.4.2.	Impacto económico de la implementación.	29
4.4.3.	Comparación con la Literatura	31

4.4.4. Lecciones Aprendidas	31
4.5. Conclusión	32
CAPITULO 5.....	32
5.1. Conclusiones y Recomendaciones	32
5.1.1. Conclusiones	32
5.1.2. Recomendaciones	34
Bibliografía	35
Anexos	36
Proceso de toma de datos por el departamento de operación.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind	2
Figura 2. Complejo hidroeléctrico Jaime Roldós Aguilera.	3
Figura 3. Lugar de archivo de los controles manuales.	4
Figura 4. Diagrama del sistema	15
Figura 5. Diagrama de Hardware del sistema propuesto.....	16
Figura 6. Esquema de un modelo Purdue	17
Figura 7. Servidor del sistema de adquisición de datos industriales en línea.....	18
Figura 8. PDA Unitech PA 690	22
Figura 9. Diagrama de Flujo de toma de datos	23
Figura 10. Código de barras instalado en un tablero de control	23
Figura 11. Reporte de indisponibilidades no programadas del 2023	27
Figura 12. Reporte de indisponibilidades no programadas del 2024	27
Figura 13. Costos de Gestión de Mantenimiento por fallas 2023	28
Figura 14. Costos de Gestión de Mantenimiento por fallas 2024	28
Figura 15. Escaneo de código de barra con dispositivo PDA	37
Figura 16. Toma de datos de instrumento de caudal.....	37
Figura 17. Ingreso de datos en el PDA.....	38
Figura 18. Visualización de datos industriales en la plataforma.....	39
Figura 19. Dashboard de generación en tiempo real Central MLDW.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Antiguo formato de recopilación de datos manual.....	25
Tabla 2. Datos ingresados a la plataforma mediante PDA	26
Tabla 3. Costos de equipos y accesorios del sistema	29
Tabla 4. Costos de mano de obra del sistema.....	29
Tabla 5. Comparación de costos por fallas 2023 y 2024.....	30
Tabla 6. Eficiencia operativa de la CHMLW.....	30
Tabla 7. Relación Inversión/Beneficio.....	30
Tabla 8. Horarios de toma de datos.....	36

CAPITULO 1.

1. INTRODUCCION

En muchas industrias, la recopilación de datos operativos aún depende de métodos tradicionales que han quedado obsoletos. Los operadores siguen utilizando hojas impresas con formatos predefinidos para registrar información sobre diversos sistemas y equipos, como motores, instrumentos analógicos, generadores de emergencia y tableros de control. Este proceso manual exige que los trabajadores anoten meticulosamente lecturas y observaciones, lo que no solo consume tiempo, sino que también aumenta el riesgo de errores humanos.

Este enfoque presenta múltiples deficiencias. En primer lugar, la transcripción y el análisis de grandes volúmenes de datos en papel requieren una inversión considerable de tiempo y recursos, ralentizando la toma de decisiones y afectando la eficiencia operativa. Además, el uso de documentos físicos eleva la probabilidad de pérdida u omisión de información clave, dificultando la trazabilidad y el acceso a datos históricos. La falta de un sistema centralizado también impide realizar análisis a largo plazo, limitando la detección de tendencias y la optimización de procesos.

Estas restricciones impactan directamente la capacidad de las empresas para llevar a cabo análisis precisos y tomar decisiones fundamentadas. Sin herramientas avanzadas de recopilación y procesamiento de datos, resulta complejo identificar patrones, prever fallas y mejorar el rendimiento de los sistemas industriales. Por ello, la adopción de soluciones tecnológicas modernas es esencial para garantizar un registro más preciso, una gestión eficiente de la información y una toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

1.1. Antecedentes

La Central Hidroeléctrica Marcel Laniado De Wind (figura 1), ubicada en la provincia del Guayas, Ecuador, es una instalación operada por la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP) a través de su Unidad de Negocio Hidronación. Con una potencia instalada de 213 megavatios, cuenta con tres turbinas tipo Francis de 71 MW cada una. Desde su entrada en operación el 29 de junio de 1999, ha aportado significativamente al Sistema Nacional Interconectado (SNI) la central tiene 24 años aportando energía al país.



Figura 1. Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind

La central forma parte del Complejo Hidroeléctrico Jaime Roldós Aguilera (figura 2), que, además de la generación eléctrica, tiene como objetivos:

1. Almacenar agua para irrigar al menos 50.000 hectáreas en la llanura baja del río Daule.
2. Abastecer de agua potable a Guayaquil y a las ciudades ribereñas del Daule.

3. Mantener el caudal mínimo necesario para el control de salinidad y contaminación del río.
4. Proveer agua para la generación de energía hidroeléctrica.
5. Trasvasar las aguas del río Daule hacia la península de Santa Elena, beneficiando a 42.000 hectáreas.

Retener el volumen correspondiente a crecientes de hasta 25 años de recurrencia.



Figura 2. Complejo hidroeléctrico Jaime Roldós Aguilera.

1.2.Planteamiento del Problema

En la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind, el registro de datos operativos aún se realiza de forma manual. Cada tres horas, los operadores anotan la información de los equipos en hojas de papel, las cuales luego se archivan en carpetas físicas (figura 3). Posteriormente, el supervisor revisa estos registros para identificar posibles fallas y notificar al personal de mantenimiento eléctrico o mecánico para su corrección.

Sin embargo, este método presenta varias ineficiencias. La transcripción y revisión manual consume una cantidad considerable de tiempo y recursos, ralentizando la detección y resolución de problemas. Además, la gestión de grandes volúmenes de datos provenientes de las tres unidades de generación aumenta el riesgo de omisión de información crítica. La falta de un sistema digitalizado también dificulta el seguimiento de históricos y el análisis de tendencias, limitando la capacidad de optimización y prevención de fallos en los equipos.



Figura 3. Lugar de archivo de los controles manuales.

1.3. Justificación

La operación eficiente y confiable de las centrales hidroeléctricas es fundamental para asegurar un suministro de energía estable y continuo. Estas instalaciones, como la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind, desempeñan un papel esencial en la matriz energética al generar electricidad a partir de una fuente limpia y renovable. No obstante, para maximizar su rendimiento y minimizar el riesgo de fallas, es crucial implementar un monitoreo constante y preciso de los equipos y procesos, permitiendo así una gestión más eficiente y proactiva.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Implementar un sistema de registro de datos industriales en tiempo real en la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind para mejorar la gestión de la operación y el mantenimiento.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Automatizar el proceso de captura de datos mediante el uso de dispositivos PDA industriales.
2. Centralizar la información recolectada en una base de datos unificada para facilitar el acceso y el análisis.
3. Integrar los datos obtenidos en campo con los datos proporcionados por el sistema SCADA existente.

4. Optimizar el análisis de datos mediante herramientas avanzadas de visualización y generación de reportes.
5. Mejorar la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta a fallas mediante la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real.

1.5. Alcance y Delimitaciones

El proyecto se enfocará en la implementación de un sistema digital para la recolección y gestión de datos industriales en la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind. Esto comprenderá el diseño y desarrollo de software, su integración con el sistema SCADA y la capacitación del personal para su correcta utilización. Sin embargo, el alcance del proyecto no contempla la actualización de otros sistemas existentes ni modificaciones en la infraestructura física de la planta.

1.6. Metodología

La metodología para la implementación del sistema incluirá varias fases clave:

1. **Diseño del Sistema:** Definición de los requisitos técnicos y funcionales del sistema, desarrollo de software y configuración de dispositivos PDA.
2. **Implementación:** Despliegue del sistema en la planta, integración con el sistema SCADA y pruebas iniciales.
3. **Capacitación:** Entrenamiento del personal en el uso del nuevo sistema y procedimientos asociados.
4. **Evaluación:** Monitoreo y evaluación del desempeño del sistema, ajustes según sea necesario, y análisis de la mejora en la eficiencia operativa y en la gestión del mantenimiento.

1.7. Estructura del Documento

Este documento se organiza en varias secciones fundamentales. En primer lugar, se presenta una revisión de la literatura pertinente para contextualizar el proyecto y justificar la necesidad de implementar el sistema propuesto. A continuación, se describe en detalle la metodología utilizada para su desarrollo e implementación. Posteriormente, se exponen y analizan los resultados obtenidos en función de los objetivos planteados. Finalmente, se ofrecen conclusiones y recomendaciones basadas en los hallazgos del estudio

CAPITULO 2.

MARCO REFERENCIAL

2. Marco Teórico

La revisión de la literatura establece el marco teórico y empírico fundamental para comprender la relevancia y las ventajas de la automatización en la recolección de datos industriales, particularmente en el ámbito de las centrales hidroeléctricas. En este capítulo, se analizan las principales áreas de estudio relacionadas con el proyecto, abarcando la digitalización de procesos industriales, los sistemas de información para la gestión operativa, el mantenimiento predictivo y la aplicación de tecnologías avanzadas en el sector energético.

2.1. Automatización y Control de Procesos Industriales

La automatización de procesos industriales ha sido una tendencia creciente en las últimas décadas, enfocada en mejorar la eficiencia y la precisión operativa. Según (Kumar & Kumar, 2020) la automatización permite la supervisión continua y el control preciso de procesos, reduciendo el riesgo de errores humanos y aumentando la consistencia en la producción. Los sistemas de control

moderno, como los controladores lógicos programables (PLC) y los sistemas de control distribuido (DCS), han transformado la manera en que se gestionan los procesos industriales.

2.2. Sistemas de Información Industrial

La gestión de datos industriales es crítica para la operación eficiente de plantas. (Gong & Liu, 2018) destacan que la integración de sistemas de información industrial facilita la consolidación de datos provenientes de diversas fuentes, como sensores, actuadores y sistemas SCADA. Los sistemas de bases de datos avanzados y las plataformas integradas permiten la recolección, almacenamiento y análisis de grandes volúmenes de datos, mejorando la toma de decisiones y la gestión de operaciones.

2.3. Mantenimiento Predictivo y Proactivo

El mantenimiento predictivo y proactivo se basa en la recopilación y análisis de datos para prever y prevenir fallas antes de que ocurran. (Smith & Davis, 2021) explican que, al analizar los datos en tiempo real, es posible identificar patrones que indican problemas potenciales, permitiendo intervenciones preventivas que minimizan el tiempo de inactividad y reducen los costos operativos. Este enfoque ha demostrado ser más eficaz que el mantenimiento reactivo tradicional.

2.4. Tecnología en el Mantenimiento Industrial

El artículo "Retos en la adopción de tecnología en el mantenimiento industrial" (Martínez, 2023) analiza los principales desafíos que enfrentan las industrias al modernizar sus procesos de mantenimiento mediante el uso de tecnologías digitales.

Uno de los retos más importantes es la inversión inicial necesaria para implementar herramientas avanzadas como el mantenimiento predictivo, el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas de monitoreo en tiempo real. Además, la gestión de datos y ciberseguridad se vuelve

crucial, ya que el manejo de grandes volúmenes de información requiere estrategias eficientes para evitar errores y proteger los sistemas contra ciberataques.

Otro obstáculo clave es la resistencia al cambio por parte del personal, que suele estar acostumbrado a métodos tradicionales. Para mitigar esto, el artículo enfatiza la importancia de la capacitación y la gestión del cambio dentro de las organizaciones. También se menciona la dificultad de la integración de nuevas tecnologías con sistemas heredados, lo que puede generar incompatibilidades y complicar la transición.

A pesar de estos desafíos, el artículo destaca los beneficios de la digitalización en el mantenimiento industrial, como la reducción de costos operativos, la optimización de recursos y la mejora en la toma de decisiones gracias a la recopilación y análisis de datos en tiempo real. Finalmente, se concluye que, si bien la modernización presenta obstáculos, una implementación estratégica puede maximizar su impacto positivo en la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones industriales.

2.5. Impacto de la automatización en la eficiencia operativa de centrales

hidroeléctricas

El artículo analiza cómo la implementación de tecnologías de automatización ha mejorado la eficiencia operativa en centrales hidroeléctricas. Se abordan los principales avances en automatización, incluyendo sistemas SCADA, sensores inteligentes y mantenimiento predictivo basado en datos en tiempo real.

Los autores (García & Fernández, 2021) examinan casos de estudio en diversas centrales hidroeléctricas donde la automatización ha permitido optimizar la gestión de recursos, reducir costos operativos y minimizar tiempos de inactividad. Se destacan mejoras en la monitorización

remota de equipos, análisis predictivo para prevenir fallas y optimización del rendimiento energético.

El estudio concluye que la automatización en centrales hidroeléctricas no solo incrementa la confiabilidad y seguridad de las operaciones, sino que también facilita la transición hacia una gestión más sostenible y eficiente de la energía. Además, se mencionan los desafíos relacionados con la implementación, como la inversión inicial y la capacitación del personal.

2.6. Análisis de Datos y Visualización en Tiempo Real

La capacidad para analizar y visualizar datos en tiempo real es crucial para la toma de decisiones informadas en la industria. (Zhou & Li, 2021) destacan que las herramientas avanzadas de visualización y análisis permiten a los operadores interpretar grandes volúmenes de datos de manera efectiva, identificando tendencias y anomalías que pueden impactar la operación. Estas herramientas también facilitan la generación de informes detallados y la identificación de oportunidades de mejora.

2.7. Integración de datos y monitoreo en tiempo real en plantas industriales

Este artículo analiza la importancia de la integración de datos y el monitoreo en tiempo real en plantas industriales para mejorar la eficiencia operativa, la toma de decisiones y la reducción de costos. Los autores (Smith & Johnson, 2019) destacan cómo la digitalización y la automatización han transformado el sector industrial, permitiendo un acceso inmediato a información crítica y la optimización de los procesos productivos.

El estudio se enfoca en tres áreas clave:

Sistemas de integración de datos: Se exploran tecnologías como SCADA, IoT y bases de datos unificadas, que permiten recopilar y analizar información en tiempo real.

Beneficios del monitoreo en tiempo real: Se demuestra cómo el uso de sensores avanzados y algoritmos de análisis puede mejorar la detección temprana de fallas, optimizar el mantenimiento y reducir tiempos de inactividad.

Casos de éxito: Se presentan ejemplos de industrias que han implementado estas tecnologías y han logrado aumentar la confiabilidad y el rendimiento de sus plantas a continuación uno de los casos que se muestran en el artículo.

Planta de Procesamiento de Acero

Implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real que permitió reducir el tiempo de inactividad en un 30%.

Uso de sensores IoT y análisis de datos para detectar fallos en los equipos antes de que ocurran.

Los autores concluyen que la adopción de tecnologías de integración de datos y monitoreo en tiempo real es fundamental para la evolución de la industria, mejorando la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de las operaciones industriales.

2.8. Optimización en centrales hidroeléctricas a través Big Data

El artículo "Big Data en la optimización de operaciones hidroeléctricas" de (Kim & et, 2021) menciona varios estudios de caso donde la implementación de Big Data ha mejorado la confiabilidad de las centrales hidroeléctricas. A continuación, algunos ejemplos generales basados en el uso de tecnologías de Big Data en la optimización de operaciones hidroeléctricas:

Estudio de Caso 1: Predicción de Fallas en Equipos

En varias centrales hidroeléctricas, se implementaron sistemas de monitoreo basados en sensores IoT que recogen datos sobre las condiciones operativas de las turbinas y generadores. Estos datos, como temperatura, vibración y presión, se analizan en tiempo real mediante algoritmos

de Big Data y machine learning para predecir fallas potenciales antes de que ocurran. Esto permite realizar mantenimiento preventivo y reducir tiempos de inactividad. En uno de los casos, se reportó una mejora significativa en la confiabilidad de las turbinas, con una reducción de hasta un 25% en fallas inesperadas.

Estudio de Caso 2: **Optimización de la Generación de Energía**

En otra planta hidroeléctrica, se utilizó Big Data para mejorar la eficiencia en la generación de energía a partir de los caudales de los ríos. Se implementaron modelos predictivos basados en grandes volúmenes de datos hidrometeorológicos y fluviales, que permitieron anticipar cambios en el caudal y ajustar la operación de las turbinas en consecuencia. Este enfoque resultó en un incremento del 15% en la capacidad de generación de energía sin afectar la confiabilidad ni la seguridad de la planta.

Estudio de Caso 3: **Mejora de la Gestión del Mantenimiento**

Un caso adicional involucró la aplicación de análisis de Big Data para la planificación del mantenimiento predictivo. Utilizando sensores y dispositivos IoT, la central hidroeléctrica pudo recopilar información detallada sobre el desgaste y rendimiento de las instalaciones. Con algoritmos avanzados, los datos fueron procesados para determinar cuándo sería necesario realizar una intervención de mantenimiento sin interrumpir la producción de energía. Este enfoque contribuyó a aumentar la disponibilidad de las plantas al reducir las intervenciones correctivas inesperadas y mejorar la programación del mantenimiento.

En general, los estudios de caso demuestran que la aplicación de Big Data ha ayudado a reducir el tiempo de inactividad y aumentar la eficiencia operativa al permitir una mejor planificación del mantenimiento, predecir fallas antes de que ocurran y mejorar la operación en función de los patrones climáticos y de demanda energética. Estos avances han incrementado

significativamente la confiabilidad de las plantas hidroeléctricas, asegurando una mayor estabilidad en el suministro de energía.

2.9. Internet de las Cosas (IoT) en la Industria

El Internet de las Cosas (IoT) ha revolucionado la recolección y gestión de datos industriales al permitir la conexión de dispositivos y sensores a través de redes digitales. (Nguyen & Zhang, 2019) abordan cómo el IoT facilita el monitoreo en tiempo real y la integración de datos provenientes de diferentes dispositivos, lo que mejora la visibilidad y el control sobre los procesos industriales. La implementación de tecnologías IoT ha permitido una mayor automatización y optimización en diversas industrias.

2.10. Eficiencia Energética en Centrales Hidroeléctricas

La eficiencia energética en centrales hidroeléctricas es un aspecto clave para maximizar la producción de energía y reducir costos operativos. (Fitzgerald, 2020) explica que el uso de sistemas avanzados para el monitoreo y control de equipos permite optimizar el rendimiento y reducir el impacto ambiental. La integración de tecnologías digitales ha permitido mejoras significativas en la eficiencia operativa y en la gestión de recursos.

Uno de los aspectos clave que se discuten es cómo los sensores y dispositivos inteligentes, que forman parte de la infraestructura IoT, pueden monitorear condiciones en tiempo real, como temperatura, presión, humedad y niveles de vibración. Estos datos pueden ser utilizados para optimizar el rendimiento de los sistemas, predecir fallas antes de que ocurran y realizar mantenimientos preventivos, lo que reduce costos y mejora la eficiencia operativa.

El libro también aborda las redes de comunicación utilizadas para conectar estos dispositivos, incluyendo protocolos industriales como Modbus, Profibus, y EtherNet/IP, además

de explorar cómo el uso de redes inalámbricas, como 5G y LPWAN, está facilitando la conectividad en ambientes industriales.

En resumen, el libro de Fitzgerald proporciona una visión integral sobre cómo las tecnologías de IoT están revolucionando la automatización y la comunicación en la industria, destacando su potencial para mejorar la eficiencia, la monitorización y el mantenimiento de los sistemas industriales.

Este capítulo proporciona una revisión exhaustiva de la literatura relevante para la gestión del mantenimiento en el contexto industrial, destacando cómo la automatización, el análisis de datos y las tecnologías emergentes pueden mejorar la eficiencia y efectividad de las prácticas de mantenimiento. Esta base teórica y empírica servirá como marco para la implementación y evaluación del sistema propuesto en el proyecto.

CAPITULO 3.

MARCO METODOLOGICO

3.1. Metodología

Este capítulo describe la metodología empleada para implementar un sistema de registro de datos industriales en tiempo real en la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind. La metodología se divide en varias fases clave que abarcan desde el diseño del sistema hasta su implementación y evaluación. Cada fase está orientada a garantizar que el sistema cumpla con los objetivos establecidos, mejore la gestión de operación, mantenimiento, y maximice la eficiencia operativa.

3.2. Diseño del Sistema

3.2.1. Requisitos del sistema

Definición de Requisitos: Se realizará una recopilación detallada de los requisitos del sistema a través de reuniones con el personal de operación y mantenimiento, análisis de los procesos actuales, y revisión de documentación existente. Los requisitos incluirán especificaciones para hardware (dispositivos PDA, servidores), software (plataformas de captura y análisis de datos), y la integración con el sistema SCADA en la figura 4 se evidencia lo requerido.

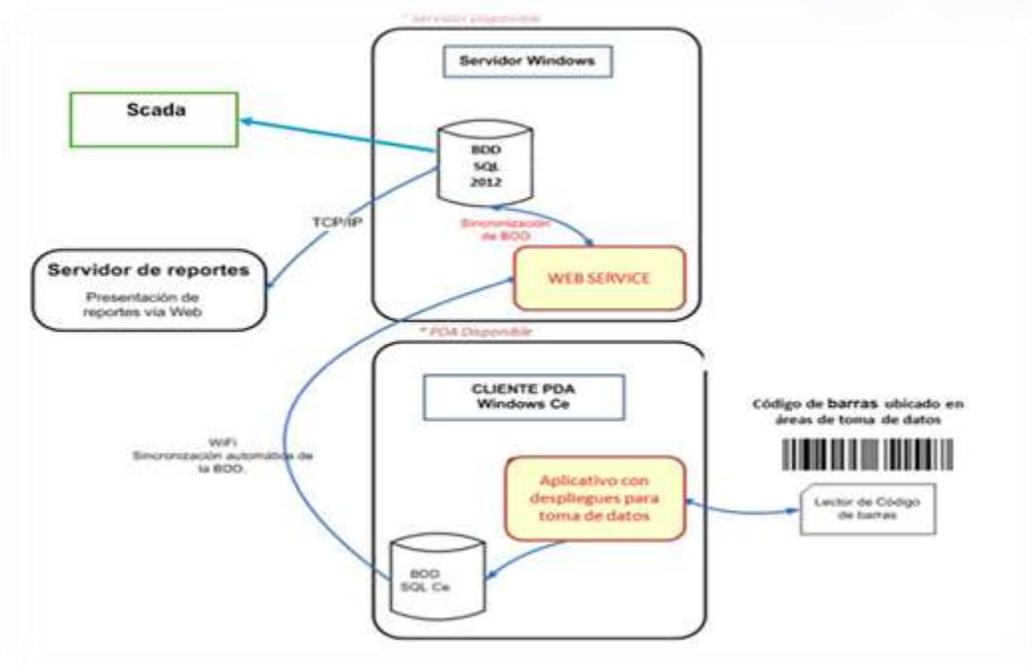


Figura 4. Diagrama del sistema

Especificaciones Técnicas: El sistema debe ser capaz de captar datos de diferentes tipos de equipos (motores, generadores, tableros de control), almacenar esta información en una base de datos centralizada, y permitir la generación de reportes en tiempo real. Debe incluir funcionalidades para notificación de alertas y gestión de novedades

3.3.Arquitectura del Sistema

Componentes del Sistema: El sistema propuesto incluirá los siguientes componentes:

Dispositivos PDA: Utilizados para la captura de datos en campo.

Servidor Centralizado: Para el almacenamiento y procesamiento de datos.

Base de Datos: Para consolidar y gestionar la información recolectada.

Sistema SCADA: Integrado para proporcionar datos adicionales y monitoreo en tiempo real.

Diagrama de Arquitectura: Se elaborará el diagrama que contenga la interconexión entre los diferentes componentes del sistema como se muestra en la figura 5, incluyendo los flujos de datos entre los dispositivos PDA, el servidor y el sistema SCADA.

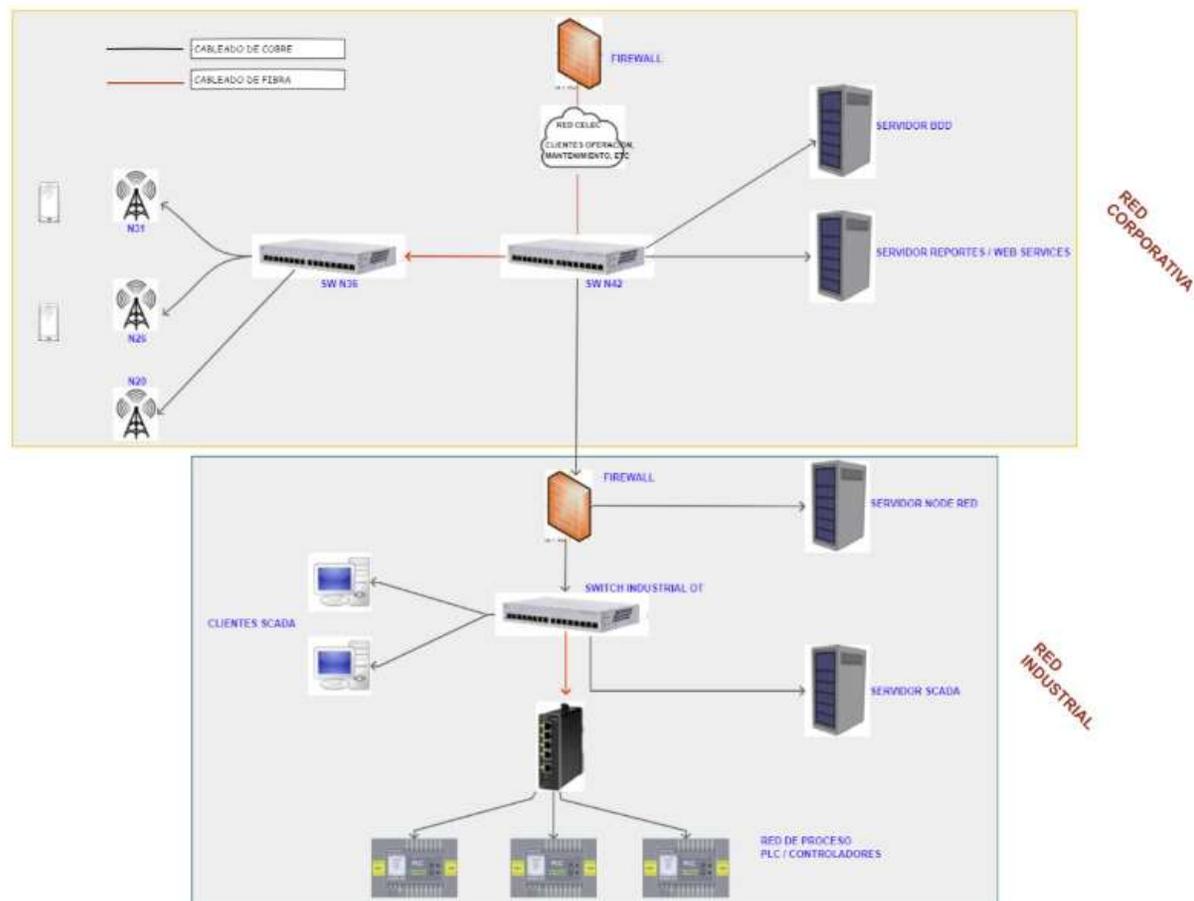


Figura 5. Diagrama de Hardware del sistema propuesto.

La arquitectura se basa en el modelo Purdue el cual es una herramienta esencial para diseñar y gestionar sistemas de control industrial de manera segura, eficiente y escalable. Sus características principales incluyen una estructura jerárquica en niveles, separación entre OT e IT, seguridad por diseño, integración estandarizada y enfoque en la eficiencia operativa como se

muestra en la figura 6. Estas características lo convierten en un marco de referencia indispensable para la modernización y digitalización de procesos industriales

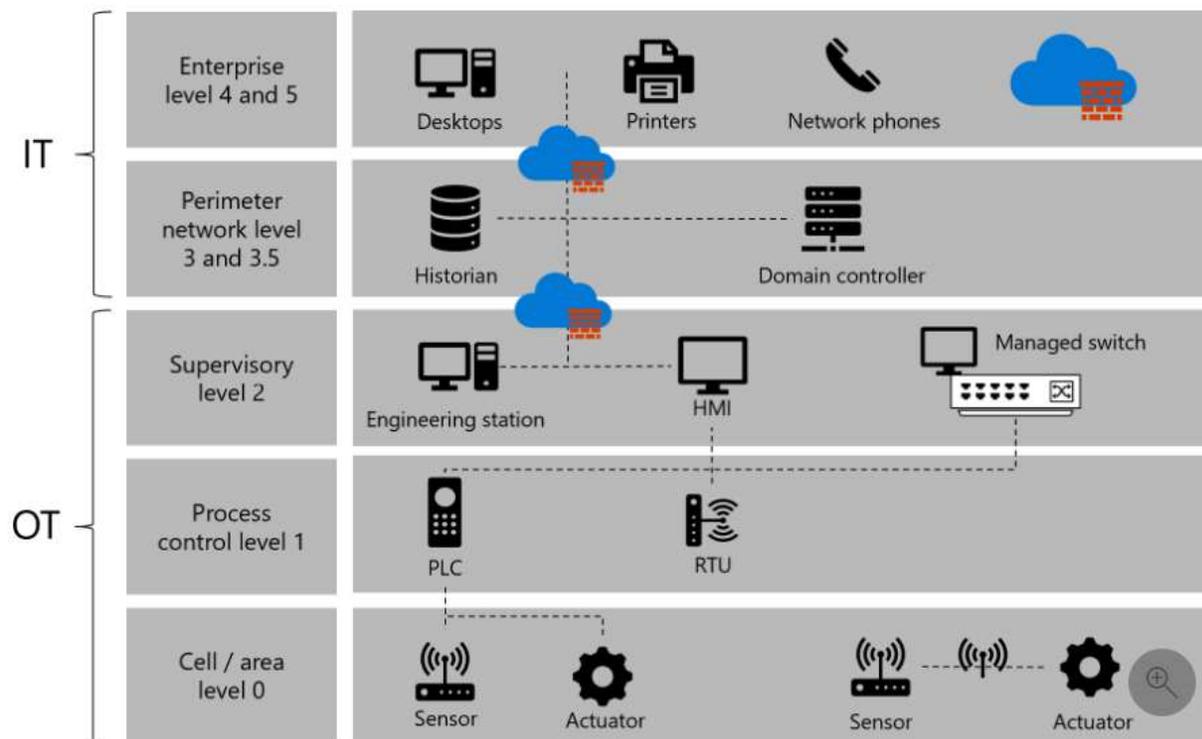


Figura 6. Esquema de un modelo Purdue

3.4.Implementación del Sistema

3.4.1. Desarrollo del Software

Diseño del Software: Se desarrollará una aplicación para los dispositivos PDA que permitirá la entrada de datos y el escaneo de códigos de barras en equipos. Además, se creará una plataforma web para la visualización y análisis de datos.

Integración con SCADA: La plataforma debe integrarse con el sistema SCADA existente para consolidar datos y permitir una vista integral del estado de la planta.

3.4.2. Despliegue del Sistema

Instalación de Hardware: Se procederá con la instalación de los dispositivos PDA en la planta y la configuración del servidor (Figura 7) y la base de datos.



Figura 7. Servidor del sistema de adquisición de datos industriales en línea.

Configuración del Software: Se instalarán y configurarán las aplicaciones necesarias tanto en los dispositivos PDA como en la plataforma web.

Integración de Datos: Se integrarán los datos de los dispositivos PDA con los datos del sistema SCADA, asegurando una sincronización efectiva y precisa.

3.5.Pruebas Iniciales

Pruebas de Funcionalidad: Se realizarán pruebas para verificar que todas las funcionalidades del sistema operen correctamente, incluyendo la captura de datos, generación de reportes y notificación de alertas.

Pruebas de Integración: Se llevará a cabo una verificación de la correcta integración del sistema con el sistema SCADA y otros sistemas existentes.

3.6.Capacitación y Soporte

3.6.1. Plan de Capacitación

Entrenamiento del Personal: Se diseñará un programa de capacitación para operadores, tableristas y personal de mantenimiento, que incluirá sesiones teóricas y prácticas sobre el uso del nuevo sistema y sus funcionalidades.

Materiales de Capacitación: Se desarrollarán manuales de usuario y guías rápidas para apoyar la formación del personal.

Análisis de la Resistencia al Cambio: El análisis de la resistencia al cambio por parte del personal operativo al pasar de tomar datos en papel a utilizar una PDA refleja un desafío común en procesos de transformación digital. Este fenómeno puede atribuirse a varios factores, como la preferencia por métodos tradicionales, la falta de habilidad con dispositivos electrónicos, la edad del operador, el miedo al fracaso y la falta de motivación o incentivos. Cada uno de estos elementos contribuye a que el operador se resista a abandonar el papel y adoptar la tecnología.

La preferencia por métodos tradicionales, como el uso de papel, se debe en gran medida a la familiaridad y sensación de control que este proporciona. Cambiar a un sistema electrónico implica salir de la zona de confort y enfrentarse a una nueva forma de trabajar, lo que puede generar incertidumbre y rechazo inicial. Además, la falta de habilidad con dispositivos electrónicos, como una PDA, puede ser un obstáculo significativo. Si el operador no ha tenido experiencia previa con este tipo de tecnología, es probable que se sienta incómodo o incompetente, lo que aumenta su resistencia.

La edad del operador también puede influir en esta resistencia. Las personas con más experiencia laboral suelen estar más acostumbradas a métodos tradicionales y menos expuestas a la tecnología en su entorno de trabajo. Esto puede dificultar su adaptación a nuevas herramientas. Por otro lado, el miedo al fracaso o a cometer errores al usar la PDA puede ser una barrera

psicológica importante. Este temor puede paralizar al operador y reforzar su preferencia por el papel, ya que lo percibe como un método más seguro y menos propenso a errores.

Finalmente, la falta de motivación o incentivos puede agravar la resistencia al cambio. Si el operador no percibe beneficios claros en la adopción de la PDA o no recibe reconocimiento por su esfuerzo, es poco probable que se sienta motivado a adaptarse. Para abordar esta situación, es fundamental implementar estrategias que incluyan capacitación adecuada y personalizada, comunicación clara de los beneficios del cambio, involucramiento del operador en el proceso, provisión de incentivos, apoyo continuo y reducción del miedo al error.

En conclusión, la resistencia al cambio es un fenómeno natural, especialmente cuando se trata de adoptar nuevas tecnologías. Sin embargo, con un enfoque adecuado que combine capacitación, comunicación, incentivos y apoyo, es posible facilitar la transición del papel a sistemas electrónicos como la PDA. La clave está en entender las preocupaciones del operador y trabajar con empatía para ayudarlo a adaptarse al nuevo proceso.

3.6.2. Soporte Técnico

Servicio de Soporte: Se establecerá un plan de soporte técnico continuo para resolver problemas y dudas que puedan surgir durante el uso del sistema.

Actualizaciones y Mantenimiento: Se planificarán actualizaciones regulares del software y el mantenimiento preventivo del hardware para asegurar un funcionamiento óptimo.

3.7. Evaluación del Sistema

3.7.1. Criterios de Evaluación

Eficiencia Operativa: Se evaluará la mejora en la eficiencia operativa mediante indicadores como la reducción de tiempos de inactividad y el incremento en la puntualidad de la toma de datos.

Calidad de los Datos: Se analizará la precisión y completitud de los datos capturados, así como la efectividad de la integración con el sistema SCADA.

Satisfacción del Usuario: Se recogerán opiniones del personal sobre la facilidad de uso y la utilidad del sistema

3.7.2. Resultados y Ajustes

Análisis de Resultados: Se compararán los resultados obtenidos con los objetivos establecidos para determinar el éxito del sistema.

Ajustes y Mejoras: Basado en los resultados de la evaluación, se realizarán ajustes y mejoras al sistema para optimizar su rendimiento y funcionalidad.

CAPITULO 4.

4.1. Análisis de los resultados

Este capítulo presenta los resultados obtenidos a partir de la implementación del sistema de registro de datos industriales en tiempo real en la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind. También se discuten las implicaciones de estos resultados en relación con los objetivos del proyecto y la literatura existente. La sección está dividida en varias subsecciones, que incluyen la evaluación del sistema, el análisis de datos, y la discusión de los hallazgos.

4.2. Evaluación del Sistema

4.2.1. Implementación y Despliegue

Proceso de Instalación: La instalación de los dispositivos PDA mostrado en la figura 8 y la configuración del servidor se completaron según el cronograma previsto. Se realizaron pruebas de conectividad y funcionalidad para asegurar que todos los componentes del sistema operaran correctamente. La integración con el sistema SCADA también fue exitosa, permitiendo una consolidación efectiva de los datos como se muestra en la figura 9.



Figura 8. PDA Unitech PA 690



Figura 9. Diagrama de Flujo de toma de datos

Desafíos Encontrados: Durante el despliegue, se identificaron algunos problemas técnicos menores, como la sincronización de datos en tiempo real y la integración inicial con el sistema SCADA. Estos problemas se resolvieron mediante ajustes en el software y el hardware, además se colocaron códigos de barras en los equipos para una mejor lectura de los datos e identificación de los equipos como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Código de barras instalado en un tablero de control

4.2.2. Capacitación y Soporte

Entrenamiento del Personal: La capacitación del personal fue bien recibida y se observó una rápida adaptación al nuevo sistema. Los operadores, tableristas y personal de mantenimiento mostraron una comprensión adecuada de las nuevas herramientas y procedimientos.

Soporte Técnico: El soporte técnico proporcionado durante la fase de implementación permitió resolver rápidamente cualquier problema que surgiera, asegurando una transición fluida hacia el uso del nuevo sistema.

4.3. Análisis de Datos

4.3.1. Calidad de los Datos

Se realizó una comparación de los datos recolectados con los datos históricos para evaluar la consistencia y la precisión. Los resultados indicaron una alta congruencia con los registros anteriores, ya que los antiguos formatos como se observa en la tabla 1 tenían que llenarse de forma manual y contenían varios campos adicionales (columnas) lo que ocasionaba errores en el levantamiento de la información.

 MEDIDORES DE CAUDAL FOR OPC 37 VER 29/09/2020															
CENTRAL HIDROELECTRICA MARCEL LANIADO DE WIND (3X71 MW)															
HORA	96F S12 (m3/h)			96FIS3 (m3/h)			96FIS4 (m3/h)			96FIS5 (m3/h)			APERTURA DISTRIBUIDOR (mm)		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
	###	###	###	##	##	##	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	###	###	###
01h00															
02h00															
03h00															
04h00															
05h00															
06h00															
07h00															
08h00															
09h00															
10h00															
11h00															
12h00															
13h00															
14h00															
15h00															
16h00															
17h00															
18h00															
19h00															
20h00															
21h00															
22h00															
23h00															
24h00															
mayor 50 m ³ /h			mínimo 70,4 m ³ /h			mínimo 2,0 m ³ /h			mínimo 5,0 m ³ /h						
OPERADOR DE TURNO		23h00 - 07h00				07h00 - 15h00				15h00 - 23h00				FECHA:	

Tabla 1. Antiguo formato de recopilación de datos manual

La calidad en el manejo de los datos recolectados mejoró significativamente en comparación con el método manual mostrado en la tabla 1, ya que la adquisición y almacenamiento de los datos en tiempo real permitió una reducción en la pérdida de información y errores de transcripción como se muestran en la tabla 2, Mismos datos que al ser almacenados en los servidores virtuales de la empresa mostraron tener una alta precisión y exactitud en la cantidad de estos.

Reducción de Paradas No Programadas: La capacidad para identificar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas graves ha llevado a una reducción en las paradas no programadas y a una mayor disponibilidad de los equipos como se muestra en la comparación entre las figuras 11 y 12 correspondientes a los años 2023 y 2024

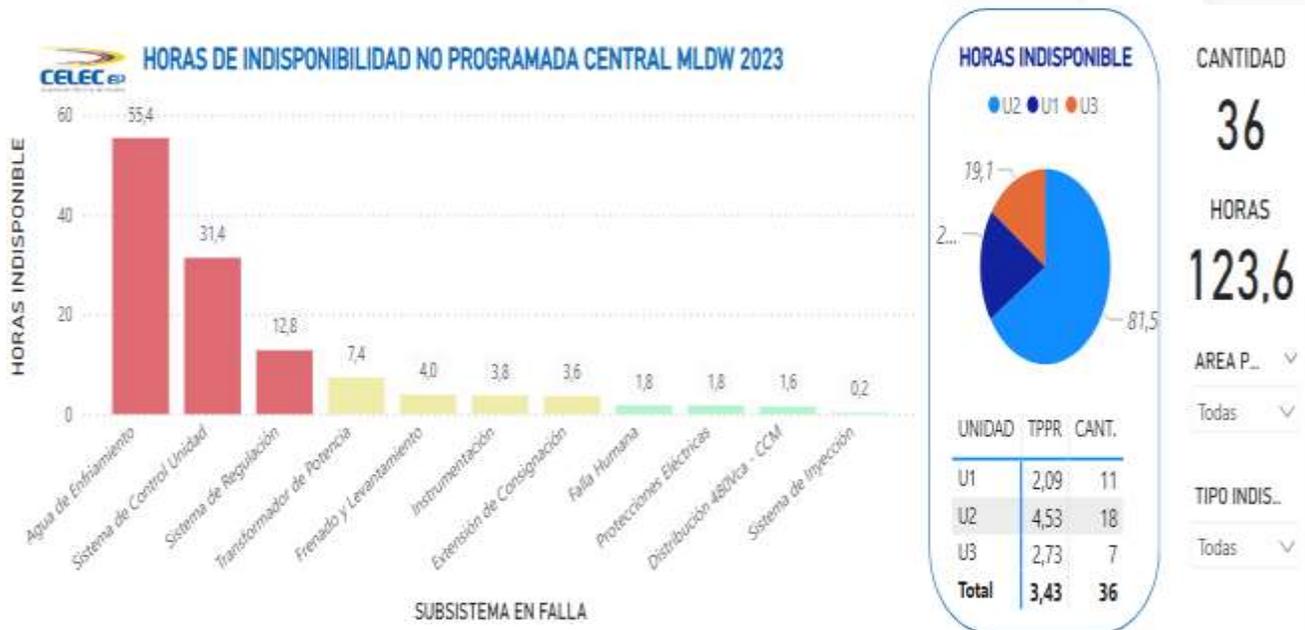


Figura 11. Reporte de indisponibilidades no programadas del 2023

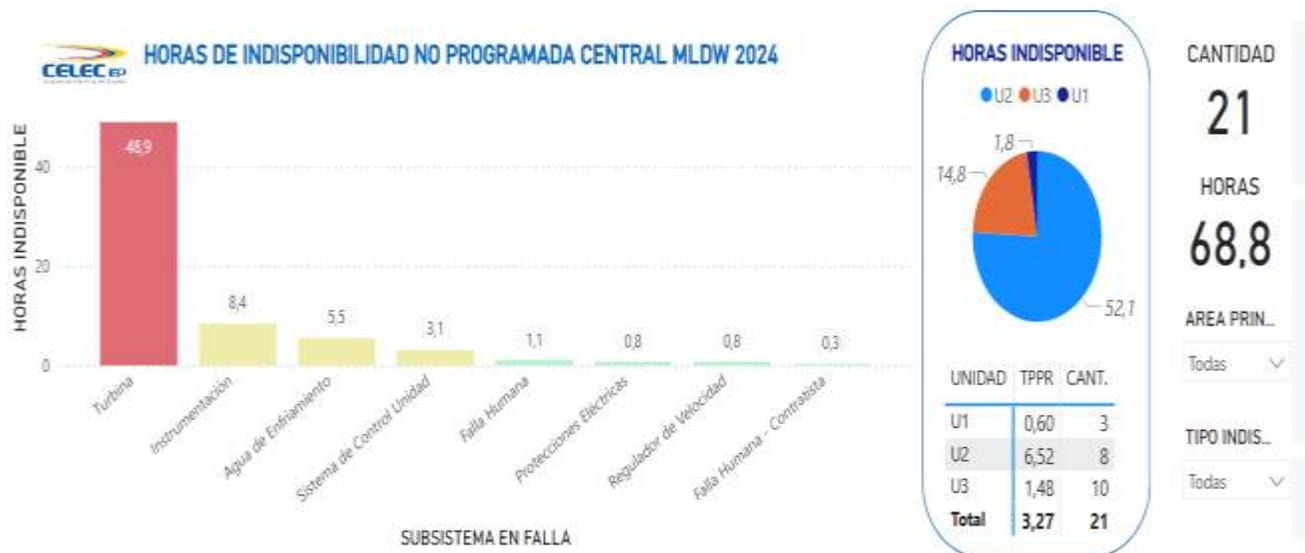


Figura 12. Reporte de indisponibilidades no programadas del 2024

Se ha registrado una disminución en las paradas por fallas no programadas, pasando de 36 a 21, lo que representa una reducción del 42.7% en comparación con las fallas no programadas de 2023. Este resultado refleja el éxito del nuevo sistema de gestión de datos en línea.

Reducción en los costos por gestión de mantenimiento: El poder identificar fallas antes de que ocurran, también tiene una repercusión en los costos del mantenimiento por fallas los cuales sufrieron una optimización a continuación se muestra figuras 13 y 14 de comparación de los años 2023 y 2024

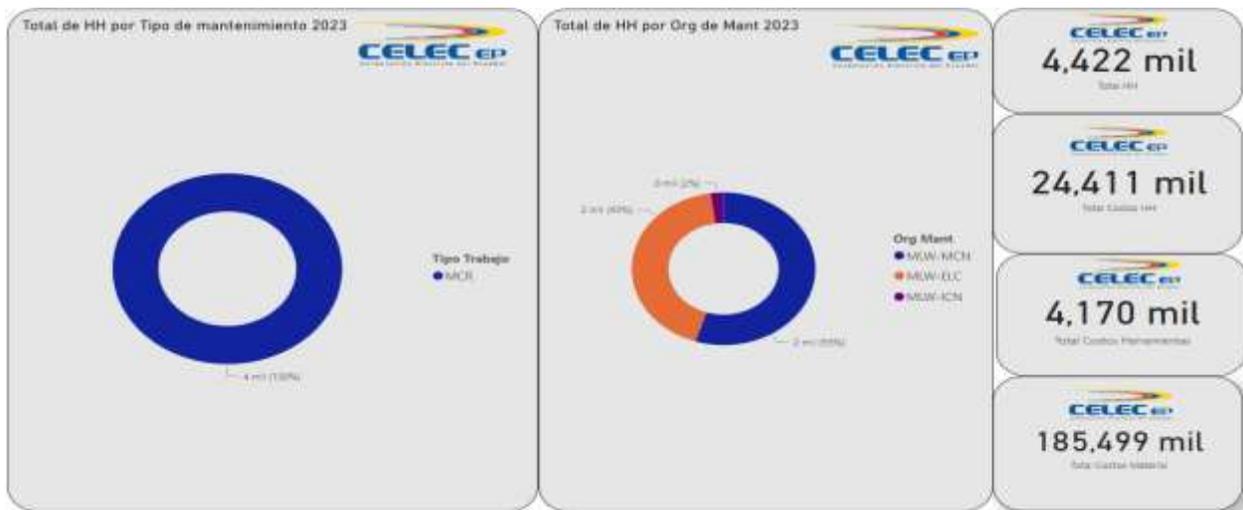


Figura 13. Costos de Gestión de Mantenimiento por fallas 2023

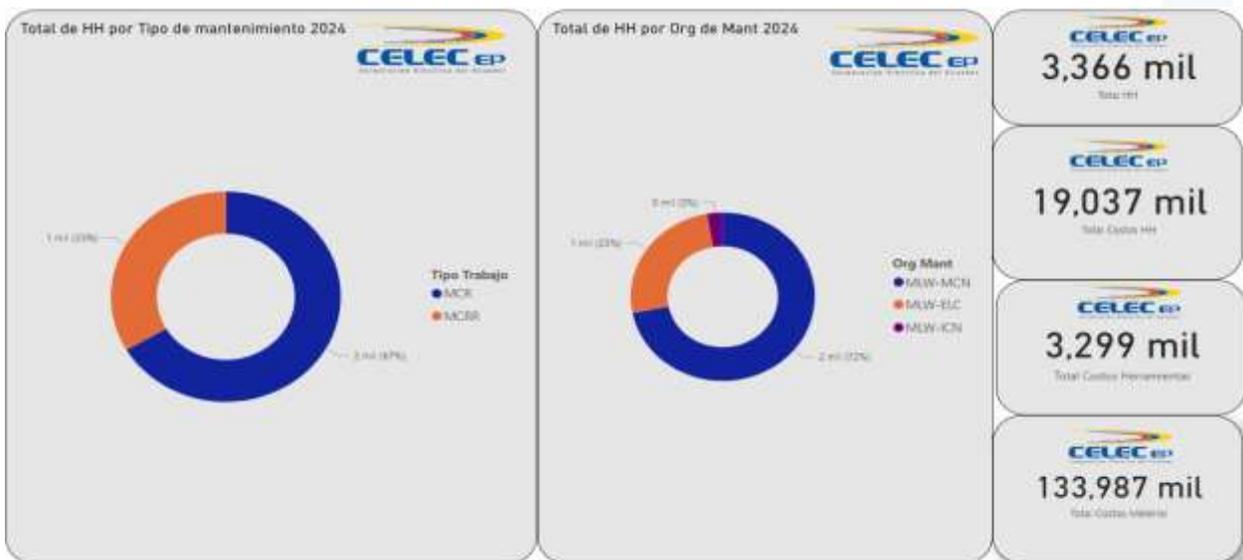


Figura 14. Costos de Gestión de Mantenimiento por fallas 2024

Se ha observado una disminución en los costos asociados a los diferentes rubros involucrados en la gestión del mantenimiento por fallas, tales como mano de obra, materiales y herramientas. Esto refleja un uso más eficiente de los recursos, lo cual es resultado del sistema de datos industriales en línea implementado.

4.4.2. Impacto económico de la implementación.

El siguiente análisis tiene como objetivo evaluar el impacto económico de la implementación del proyecto mediante la comparación entre la inversión realizada y los beneficios obtenidos. Este proyecto fue desarrollado con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y optimizar la gestión de mantenimiento, lo que permitió generar un retorno significativo.

Costos de Inversión de la Implementación.

COSTOS IMPLEMENTACION PDA				
Item	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
1	Equipo PDA Unitech PA690 y desarrollo.	2	\$ 5,300.00	\$ 10,600.00
2	Servidor de BDD y reportes (HP Proliant 380 Gen 10).	1	\$ 4,500.00	\$ 4,500.00
3	Licencias BDD y sistema Operativo (SQL Server, Windows Server).	1	\$ 2,100.00	\$ 2,100.00
5	Desarrollo de reportes (15 días).	1	\$ 900.00	\$ 900.00
6	Mantenimiento de equipos	8	\$ 500.00	\$ 4,000.00
Total		13		\$ 22,100.00

Tabla 3. Costos de equipos y accesorios del sistema.

MANO DE OBRA			
PERSONAL	Horas	Valor por hora	Valor total
Ingeniero tipo Especialista TIC´s "A"	495	\$ 14.00	\$ 6,930.00
Ingeniero tipo Especialista TIC´s "B"	162	\$ 9.00	\$ 1,458.00
Ingeniero tipo Especialista TIC´s "C"	315	\$ 10.00	\$ 3,150.00
Ingeniero Director del proyecto	63	\$ 15.00	\$ 945.00
COSTO TOTAL			\$ 12,483.00

Tabla 4. Costos de mano de obra del sistema

El costo total de la implementación del sistema fue de \$34583 entre mano de obra y materiales como se muestra en las tablas 3 y 4.

Beneficios de la implementación.

COSTOS DE GESTION MANTENIMIENTOS POR FALLAS NO PROGRAMADAS 2023 - 2024									
COSTOS POR HH		COSTOS POR HERRAMIENTAS		COSTOS POR MATERIAL		VALOR TOTAL	VALOR TOTAL	DIFERENCIA	%
\$ 24,411.00	\$ 19,037.00	\$ 4,170.00	\$ 3,299.00	\$ 185,499.00	\$ 133,897.00	\$ 214,080.00	\$ 156,233.00	\$ 57,847.00	27%

Tabla 5. Comparación de costos por fallas 2023 y 2024.

El ahorro en costos por gestión de mantenimiento por fallas no programadas en el 2024 en comparación con el año 2023 fue de \$57.847 lo que sería un 27% menos con relación al 2023 como podemos evidenciar en la Tabla 5.

EFICIENCIA OPERATIVA DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA MARCEL LANIADO DE WIND					
2023		2024		DIFERENCIA	%
HORAS DE GENERACION PERDIDAS POR FALLAS	VALOR TOTAL DE PERDIDA POR FALLAS	HORAS DE GENERACION PERDIDAS POR FALLAS	VALOR TOTAL DE PERDIDA POR FALLAS		
123.6	\$ 176,500.00	68.8	\$ 98,246.00	\$ 78,254.00	44%

Tabla 6. Eficiencia operativa de la CHMLW

En la tabla 6 se evidencia un decrecimiento en las horas por las fallas no programadas en la central Marcel Laniado de Wind representa 44% comparado con el año 2023, al pasar esas horas a valores de generación por hora nos arroja una diferencia de \$78.254 en relación con la producción del año 2023 lo que impacta en una ganancia con relación a la facturación de producción del 2023.

COMPARACION INVERSION Y BENEFICIO		
INVERSION TOTAL DEL PROYECTO	BENEFICIO POR EFICIENCIA OPERATIVA	BENEFICIO POR GESTION DE MANTENIMIENTO
\$ 34,583.00	\$ 78,254.00	\$ 57,847.00

Tabla 7. Relación Inversión/Beneficio.

Con los datos de la tabla 7 realizaremos un cálculo de la rentabilidad del proyecto utilizando la formula del retorno sobre la inversión (ROI, por sus siglas en inglés):

$$ROI = \left(\frac{\text{Beneficio Total} - \text{Inversión Total}}{\text{Inversión Total}} \right) \times 100$$

Sustituyendo los valores:

$$ROI = \left(\frac{136,101 - 34,583}{34,583} \right) \times 100$$
$$= \left(\frac{101,518}{34,583} \right) \times 100$$

$$ROI = 293.5\%$$

Esto significa que el proyecto tiene un retorno sobre la inversión del 293.5% lo que indica que los beneficios superan ampliamente la inversión inicial, por cada dólar invertido del proyecto genero casi 3 veces su costo en beneficio, recuperando toda la inversión en menos del primer año.

4.4.3. Comparación con la Literatura

Coherencia con la Literatura: Los resultados obtenidos son consistentes con los hallazgos de la literatura revisada en el Capítulo 2. La automatización y el uso de tecnologías avanzadas han demostrado ser efectivos en la mejora de la eficiencia operativa y en la gestión del mantenimiento, tal como se describió en estudios anteriores.

Contribuciones Adicionales: Este proyecto contribuye a la literatura existente al proporcionar un caso práctico de implementación de un sistema integrado de captura de datos en una central hidroeléctrica, destacando la importancia de la integración con sistemas SCADA y el impacto en la gestión del mantenimiento.

4.4.4. Lecciones Aprendidas

Lecciones Aprendidas: La experiencia adquirida durante la implementación subraya la importancia de una planificación detallada y de un soporte técnico adecuado. La capacitación efectiva del personal es crucial para el éxito del sistema.

4.5. Conclusión

Los resultados de la implementación del sistema de registro de datos industriales en tiempo real han demostrado ser positivos, con mejoras significativas en la precisión de los datos, la eficiencia operativa, y la gestión del mantenimiento. La integración con el sistema SCADA y la capacidad de realizar análisis en tiempo real han proporcionado una base sólida para la toma de decisiones informadas y la optimización de las operaciones en la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind.

CAPITULO 5.

5.1. Conclusiones y Recomendaciones

Este capítulo presenta las conclusiones principales derivadas de la implementación y evaluación del sistema de registro de datos industriales en tiempo real en la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind. Además, ofrece recomendaciones basadas en los hallazgos del estudio, tanto para futuras investigaciones como para la mejora continua del sistema.

5.1.1. Conclusiones

- Podemos concluir que la implementación del sistema ha permitido **Mejorar la Precisión y Complejión de Datos** con la captura de estos de forma más precisa y completa en comparación con el método manual anterior, la integración del PDA con el sistema SCADA han facilitado la centralización, consolidación y el análisis de datos de manera más efectiva.
- La implementación del nuevo sistema ha generado una significativa reducción en los tiempos de inactividad y las paradas no programadas. Gracias a su capacidad para detectar posibles **Fallos de manera anticipada y Emitir alertas en tiempo real**, se han optimizado las intervenciones de mantenimiento, permitiendo una

respuesta más ágil y eficiente. Esto no solo ha mejorado la disponibilidad operativa, sino que también ha contribuido a una gestión más proactiva y efectiva de los activos.

- La implementación del sistema ha mejorado significativamente la planificación y ejecución del mantenimiento preventivo y predictivo, permitiendo una programación basada en el estado real de los equipos. Gracias al análisis de datos en tiempo real y la identificación de tendencias, se han optimizado las estrategias de mantenimiento, reduciendo fallos inesperados. Además, la integración de información en tiempo real ha brindado a supervisores y personal de mantenimiento herramientas más efectivas para la toma de decisiones informadas, facilitando la generación de reportes y la visualización de datos clave. Esto ha resultado en una gestión operativa y estratégica más eficiente y proactiva.
- La implementación del nuevo sistema de recolección de datos industriales dentro de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind ubicada al norte de la provincia del Guayas, tuvo una aceptación favorable por parte del personal técnico y administrativo, gracias a un proceso de capacitación efectivo y un soporte técnico adecuado. Los usuarios han logrado adaptarse con facilidad, reportando una experiencia positiva en términos de usabilidad y funcionalidad.
- Como conclusión final, se puede afirmar que la implementación del sistema de registro en tiempo real de datos industriales (PDA-SCADA) ha incrementado significativamente la eficiencia de producción y mantenimiento. Los resultados evidencian una optimización en la planificación de las actividades de

mantenimiento, además de lograr una reducción notable de las paradas no programadas.

5.1.2. Recomendaciones

- Se recomienda la implementación de actualizaciones periódicas tanto en software como de hardware para mejorar las características técnicas de funcionamiento y operatividad ante cualquier problema detectado, además considerar la incorporación de nuevas tecnologías y herramientas, como algoritmos basados en análisis de datos e inteligencia artificial, para robustecer el sistema incluyendo nuevas métricas y parámetros de operación para ofrecer una mejor eficiencia y fiabilidad de los equipos y procesos.
- Realizar estudios de caso en otras instalaciones industriales permitirá comparar resultados y evaluar la aplicabilidad, escalabilidad y adaptabilidad del sistema de gestión de mantenimiento en distintos entornos. A su vez, la exploración de la integración de tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT) y la realidad aumentada, contribuiría a analizar cómo estas innovaciones pueden optimizar aún más la eficiencia y efectividad del mantenimiento. Este enfoque integral no solo facilitaría la identificación de mejores prácticas y posibles áreas de mejora, sino que también proporcionaría información valiosa para la toma de decisiones estratégicas en la modernización y evolución de los sistemas de gestión de mantenimiento.
- Implementar un programa de monitoreo y evaluación continua del sistema, complementado con un mecanismo de retroalimentación constante por parte de los usuarios, permitirá identificar áreas de mejora y garantizar que el sistema siga

cumpliendo con los objetivos establecidos. La recopilación de opiniones y sugerencias, junto con revisiones periódicas y ajustes estratégicos, asegurará un rendimiento óptimo y una alineación constante con las necesidades operativas

- Garantizar el cumplimiento de normativas y estándares internacionales en la gestión de activos y captura de datos industriales, adoptando mejores prácticas para asegurar la calidad y fiabilidad del sistema. Asimismo, establecer programas de capacitación continua para el personal, asegurando que estén actualizados en nuevas funcionalidades y mejores prácticas en el uso de las herramientas, permitiendo así una implementación efectiva y sostenible del sistema
- Se recomienda implementar un sistema de alertas automatizadas que notifique de manera inmediata a los responsables (operadores, ingenieros de mantenimiento, jefe de central) mediante herramientas de mensajería (WhatsApp, Telegram y Correo electrónico de la empresa) cuando se detecten anomalías, fallos o condiciones fuera de los parámetros normales.

Bibliografía

Fitzgerald, E. (2020). *Industrial Data Communication, Networking, and the Internet of Things*. Boca Raton, Florida, Estados Unidos: CRC Press.

García, P., & Fernández, M. (2021). Impacto de la automatización en la eficiencia operativa de centrales hidroeléctricas. *Revista de Ingeniería de Mantenimiento*, 112-127.

Gong, X., & Liu, S. (2018). *Digital control systems: Theory, hardware, and software*. Nueva York: Springer.

Kim, T., & et, a. (2021). Big Data en la optimización de operaciones hidroeléctricas. *Journal of Water Resources Management*, 15-23.

Kumar, A., & Kumar, P. (2020). Industrial automation: A comprehensive review. *Journal of Automation and Control Engineering*, 115-130.

Martínez, R. (2023). Retos en la adopción de tecnología en el mantenimiento industrial. *Revista de Ingeniería Industrial*, 35-42.

Nguyen, H., & Zhang, L. (2019). Enhancing data integrity and real-time monitoring in industrial systems using IoT technologies. *International Journal of Industrial Engineering*, 123-136.

Smith, R., & Davis, J. (2021). Real-time data acquisition systems for industrial automation. *Journal of Industrial Informatics*, 45-67.

Smith, R., & Johnson, L. (2019). Data integration and real-time monitoring in industrial plants. *Journal of Industrial Automation*. *Journal of Industrial Automation*, 45-59.

Zhou, L., & Li, C. (2021). *Advances in industrial automation and smart systems*. Chichester, Reino Unido: Wiley.

Anexos

Proceso de toma de datos por el departamento de operación.

RONDAS CON EL PDA REALIZADAS POR OPERACIONES								
TURNO: 23h00 - 7H00			TURNO: 7H00 - 15H00			TURNO: 15H00 - 23H00		
TOMA 1	TOMA 2	TOMA 3	TOMA 4	TOMA 5	TOMA 6	TOMA 7	TOMA 8	TOMA 9
00H00	02H00	04H00	07H00	11H00	13H00	15H00	19H00	21H00
02H00	04H00	07H00	11H00	13H00	15H00	19H00	21H00	23H00

Tabla 8. Horarios de toma de datos



Figura 15. Escaneo de código de barra con dispositivo PDA

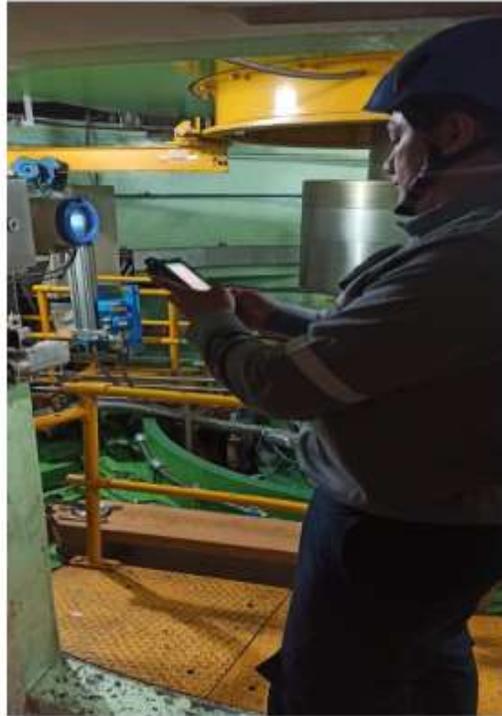


Figura 16. Toma de datos de instrumento de caudal

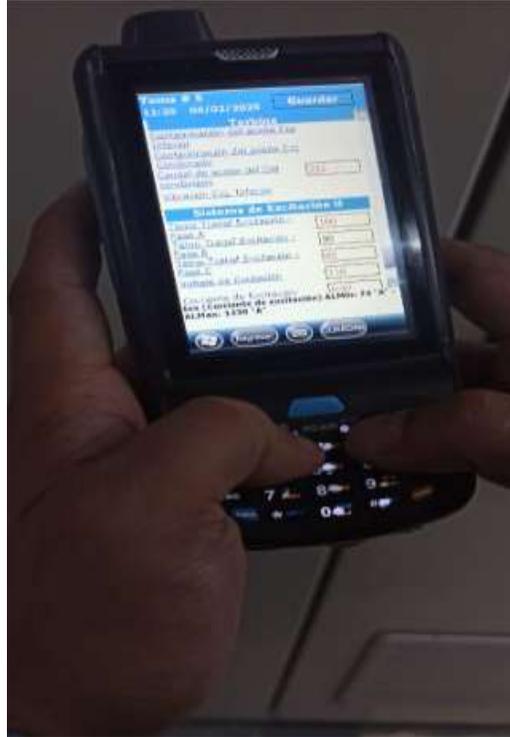


Figura 17. Ingreso de datos en el PDA



Figura 19. Dashboard de generación en tiempo real Central MLDW