

Proposal for the Improvement of the Maintenance Planning System using E-maintenance and data analysis: Case Study

William Huamán, Ingeniero¹, Fernando Garay, Magister², Wilmer Atoche, Magister³
¹Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, ¹william.huaman.u@uni.pe, ²fernando.garay.v@uni.pe
³Pontificia Universidad Católica Del Perú, Perú, ³watoche@pucp.edu.pe

Abstract– This article proposes to optimize the planning process of the maintenance service of a company dedicated to the commercialization of analytical instruments using an E-maintenance strategy. The diagnosis was made using Power BI software, centralizing the information on work times in recent years, including the year 2020, an atypical year due to Covid-19. The efficiency of each collaborator and the direct work time indicator obtained were analyzed, allowing better decisions to be made in the work planning process. Power BI was chosen as the E-maintenance tool since it allows all the files and information generated by the after-sales staff to be in a centralized location. Likewise, the impact of the maintenance planning and programming process was analyzed, obtaining as a diagnosis that the personnel are dedicated 37.6% to direct work and 62.4% to non-direct work, which represents an efficiency of the man-hour cost of the 35%. Regarding the research methodology, it is of an application-experimental level. Achieving as estimated results in the proposal to improve the planning process; direct work time increased by 51% and non-direct work time decreased by 49%, which represents a man-hour cost efficiency of 49%. The case study concludes with the improvement of the planning process and therefore of staff productivity by 36%.

Keywords: Maintenance Planning, E-maintenance, Power BI, Data analytics.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.661>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Propuesta de Mejora del Sistema de Planificación del Mantenimiento usando E-maintenance y Análisis de Datos: Caso de Estudio

William Huamán, Ingeniero¹, Fernando Garay, Magister², Wilmer Atoche, Magister³

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, ¹william.huaman.u@uni.pe, ²fernando.garay.v@uni.pe

³Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, ³watoche@pucp.edu.pe

Abstract– This article proposes to optimize the planning process of the maintenance service of a company dedicated to the commercialization of analytical instruments using an E-maintenance strategy. The diagnosis was made using Power BI software, centralizing the information on work times in recent years, including the year 2020, an atypical year due to Covid-19. The efficiency of each collaborator and the direct work time indicator obtained were analyzed, allowing better decisions to be made in the work planning process. Power BI was chosen as the E-maintenance tool since it allows all the files and information generated by the after-sales staff to be in a centralized location. Likewise, the impact of the maintenance planning and programming process was analyzed, obtaining as a diagnosis that the personnel are dedicated 37.6% to direct work and 62.4% to non-direct work, which represents an efficiency of the man-hour cost of the 35%. Regarding the research methodology, it is of an application-experimental level. Achieving as estimated results in the proposal to improve the planning process; direct work time increased by 51% and non-direct work time decreased by 49%, which represents a man-hour cost efficiency of 49%. The case study concludes with the improvement of the planning process and therefore of staff productivity by 36%.

Keywords: Maintenance Planning, E-maintenance, Power BI, Data analytics.

Resumen– Este artículo propone optimizar el proceso de planificación del servicio de mantenimiento de una empresa dedicada a la comercialización de instrumentos analíticos utilizando estrategia de E-maintenance. El diagnóstico se realizó mediante el uso del software Power BI, centralizando la información de los tiempos de trabajo de los últimos años, incluyendo el año 2020, año atípico debido al Covid-19. Se analizó la eficiencia de cada colaborador y el indicador de tiempo de trabajo directo obtenido, permitiendo tomar mejores decisiones en el proceso de planificación de los trabajos que impactan en la satisfacción del cliente. El Power BI se eligió herramienta del E-maintenance ya que permite tener todos los archivos e información generada por el personal de post venta en una ubicación centralizada. Así mismo se analizó el Impacto del proceso de planificación y programación del mantenimiento, obteniendo como diagnóstico que el personal se dedica en un 37.6% a trabajo directo y un 62.4% de trabajo no directo, lo cual representa una eficiencia del costo de hora hombre del 35%. Respecto a la metodología de investigación es de nivel aplicativo – experimental. Logrando como resultados estimados en la propuesta de mejora del proceso de planificación; el tiempo de trabajo directo aumento a un 51% y el tiempo de trabajo no directo decreció a un 49%, lo cual representa una eficiencia del costo de hora/hombre del 49%. El caso de

estudio concluye con la mejora del proceso de planificación y por consiguiente de la productividad de personal en un 36%.

Palabras Claves: Planificación del Mantenimiento, E-maintenance, Power BI, Análisis de datos.

I. INTRODUCCIÓN

El E-maintenance o también llamado mantenimiento electrónico, es un término emergente que generalmente se define como un concepto de administración del mantenimiento mediante el cual los activos se supervisan y gestionan a través de plataformas virtuales [1]. El mantenimiento electrónico juega un papel clave especialmente en aquellos casos en los que es esencial entregar información diferente a varias partes interesadas [2]. Esta filosofía permite el cumplimiento del objetivo global de mantenimiento en función de una colaboración permanente y sincronización obligatoria del conocimiento entre todos los actores y sistemas involucrados en el proceso de mantenimiento a lo largo de las diversas fases del ciclo de vida del producto.

Un concepto más amplio afirma que el mantenimiento electrónico proporciona un nuevo contexto de trabajo que extiende el mantenimiento del servicio a una organización impulsada por el conocimiento, donde la información fluye integrando diversos procesos, proveedores de conocimiento (técnico de servicios, constructores de maquinaria, ingenieros, y operadores en el campo) y sistemas expertos de apoyo a la decisión. Esto incluye el concepto de sistemas de mantenimiento inteligente [3].

Durante la última década, nuevas tecnologías han acelerado el desarrollo del E-maintenance, un ejemplo clave de esta nueva tecnología son los dispositivos inteligentes que brindan funcionalidades que respaldan al operador en el campo con nuevas capacidades de adquisición, procesamiento, transmisión y conexión de datos en tiempo real a aplicaciones en un entorno en red hecho de transductores y actuadores [4].

Por otro lado, se atribuye el surgimiento del mantenimiento electrónico a dos factores principales que son: las tecnologías electrónicas, que permiten la optimización del flujo de trabajo relacionado con el mantenimiento, la integración del rendimiento empresarial, el tratamiento, la integración y la colaboración con los demás servicios de la empresa [5].

Sin embargo, el establecimiento del E-maintenance también enfrenta algunos desafíos debido a la gran escala, el gran volumen y la gran diversidad y complejidad de las instalaciones y equipos de infraestructura. Para empezar, un sistema de mantenimiento electrónico involucra una variedad de problemas de integración de datos, información y conocimiento entre plataformas [6].

La condición actual de la industria enfrenta muchos desafíos para optimizar las operaciones y el mantenimiento debido al desarrollo de la tecnología, la competitividad global, los requisitos ambientales y de seguridad. El mantenimiento no es solo garantizar la salud de los equipos en una instalación, sino que también juega un papel crucial en el logro de las metas y objetivos de la organización con un costo de mantenimiento óptimo y una producción máxima [7].

El E-maintenance, se ha discutido en muchas publicaciones relacionadas con el mantenimiento con diferentes perspectivas, refiriéndose básicamente a la integración de las tecnologías de la información y la comunicación dentro de la estrategia o plan de mantenimiento [8]. Casos complejos abordaron el desarrollo de esta metodología en proyectos importantes otorgando resultados trascendentales.

Turki y Rezg en su artículo, estudió el caso de una empresa de cadena de suministro que garantiza el servicio de mantenimiento electrónico durante el periodo de garantía [9]. Por otro lado, Chebell-Morello, propuso una plataforma distribuida cooperativa de e-mantenimiento, que incluye sistemas de adquisición de datos, control, gestión de mantenimiento, asistencia al diagnóstico, gestión de documentación para asegurar el diagnóstico y pronóstico del sistema de bombeo del sistema fotovoltaico y así asegurar su confiabilidad [10].

En este sentido, sin embargo, es importante señalar que publicaciones recientes están proponiendo extensiones que vale la pena considerar para enriquecer no solo las funcionalidades de la plataforma como un sistema de mantenimiento, sino también sus operaciones con otros sistemas, como el Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) y el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) [11].

El mantenimiento electrónico avanzará aún más, a un mayor valor con el desarrollo de sistemas ciber físicos, que se definen como "sistemas inteligentes que abarcan componentes informáticos (es decir, hardware y software) y físicos, perfectamente integrados e interactuando estrechamente para detectar el estado cambiante del mundo real" [12].

A. *Análisis del proceso de Planificación*

El servicio al cliente incluye tareas como mantenimiento, revisión, reparación, capacitaciones, pruebas, instrucciones e instalación [13]. La clasificación de las estrategias de mantenimiento basadas en el tiempo de las actividades de mantenimiento y las fallas incluyen el mantenimiento

correctivo, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento de diseño [14]. El concepto generalizado de E-maintenance se refiere a la integración de las tecnologías de la información y la comunicación para satisfacer las necesidades de apoyo a las estrategias y planes de mantenimiento.

La combinación de múltiples actividades aplicadas al mantenimiento planificado son la base de entrada de las plataformas de E-mantenimiento, las cuales son vistas como un soporte para mejorar la ejecución proactiva del proceso de decisión [15].

El mantenimiento planificado incluye todas las actividades necesarias para mantener un activo en condiciones operativas máximas, las actividades se llevan a cabo generalmente de acuerdo con una determinada estrategia de planificación y programación de mantenimiento [16]. El mantenimiento se ha convertido en un contribuyente significativo para lograr los objetivos estratégicos de las organizaciones en los mercados competitivos de hoy [17].

Las tecnologías de la información y el análisis de dato están transformando la forma de mantener los sistemas, brindan el soporte para generar más conocimiento sobre el comportamiento e introducir nuevas herramientas y procesos para un mantenimiento más proactivo y planificado. Este soporte de mantenimiento (E-maintenance) incluye los recursos, servicios y gestión necesarios para permitir la ejecución proactiva del proceso de decisión [18].

La implementación del mantenimiento electrónico podría ofrecer oportunidades para el desarrollo de nuevos tipos y estrategias de mantenimiento mediante operaciones:

- Mantenimiento remoto, para la toma de decisiones.
- Integración de procesos comerciales, para el mantenimiento colaborativo.
- Mantenimiento rápido en línea, para el mantenimiento predictivo.

El mantenimiento electrónico también podría mejorar el soporte y las herramientas de mantenimiento mediante el análisis de fallas utilizando otras tecnologías y la documentación de mantenimiento. Además de eso, el mantenimiento electrónico es capaz de mejorar las actividades de mantenimiento mediante el diagnóstico localización de fallas, la reparación y reconstrucción, en casos, cuyos tiempos de inactividad posiblemente podrían reducirse [19].

En el esquema actual, el mantenimiento planificado otorga beneficios para el desarrollo eficiente y seguro del ciclo de vida del activo crítico, mientras se reduce los costos operativos. Estudios de casos han demostrado que típicamente el ahorro generado es el 75% de los costos de los trabajos no planificados [20].

Nyman y Levitt [21] demuestra que por cada \$1 invertido en la preparación del trabajo planificado, se puede ahorrar entre \$3 y \$5 durante la ejecución. Por otro lado realiza un equilibrio porcentual entre actividades de mantenimiento sin

planificación (reactivo) y con planificación (proactivo), el cual lo determina en 35% y 65% respectivamente. La siguiente tabla muestra un cuadro de actividades y los porcentajes representativo que debe abarcar el mantenimiento.

TABLA I
DÍA DE TRABAJO TÍPICO DE MANTENIMIENTO – REACTIVO VS PROACTIVO.

Actividad	Reactivo	Proactivo
Recibir instrucciones	5%	3%
Obtención de herramientas y materiales	12%	5%
Viajes de trabajo	15%	10%
Retrasos en las coordinaciones	8%	3%
Inactividad en el trabajo	5%	2%
Comienzos tardíos	5%	1%
Descanzos y relevos autorizados	10%	10%
Tiempos excesivo del personal	5%	1%
Sub total	65%	35%
Red de cumplimiento de trabajo directo	35%	65%

En este mismo libro Nyman y Levvit plantean un esquema de desarrollo de equipos de trabajo para la gestión y administración del área de mantenimiento, propuso el impacto y beneficios de contar con un planificador el cual desarrollara y asegurar el funcionamiento de los planes y ordenes de trabajo, así como el presupuesto de mantenimiento cada año.

La siguiente tabla compara esquemas, dos supervisores con apoyo de planificador (incluso si se estableció sin un aumento de personal) tendrán 12,4 equivalentes a tiempo completo tirando llaves. Se trata de una mejora neta de la productividad del 77 %, lo que supone un buen retorno de cualquier inversión.

TABLA II
MEJORA RELATIVA Y CRONOLOGÍA ASOCIADA.

Dos equipos sin Planificador		Planificador	
2	Supervisor	2	Supervisor
0	Planificador	1	Planificador
20	Total	19	Total
35%	Porcentaje trabajo directo	65%	Porcentaje trabajo directo
7.0	Trabajadores full time	12.4	Trabajadores full time
Mejora del 77% por planificación y programación			

B. Desarrollo de la estrategia E-maintenance

El e-maintenance es definido como un soporte de mantenimiento que incluye los recursos, los servicios y la gestión necesarios para permitir la ejecución proactiva del proceso de decisión [18].

De acuerdo con Wireman [22], el E-maintenance tiene los siguientes propósitos:

- Registro de documentación de mantenimiento.
- Rápido acceso a la información.
- Recopilación remota de datos para la determinación de KPI.
- Integración de los sistemas de mantenimiento con otros sistemas de información.

Con el apoyo de esta definición, el objetivo principal de e-maintenance es la creación de una función de mantenimiento más eficiente [23].

La selección de sus funciones soportadas por la plataforma debe hacerse considerando la creación de valor requerida a nivel empresarial. Además, la selección estas deben considerar la madurez actual de los procesos de negocio a apoyar. En general, estas primeras opciones requieren flexibilidad de la plataforma para adaptarse a las necesidades del servicio [24].

En este contexto, el mantenimiento electrónico puede brindar soporte a los nuevos servicios industriales al mejorar la efectividad de los procesos de prestación de servicios y por lo tanto, mejorar los beneficios finales obtenidos por la prestación de servicios [25]. Para respaldar los objetivos del mantenimiento electrónico, se requiere inteligencia predictiva (algoritmos, software y agentes) y mapeo de la relación entre la variación de la calidad del producto y la degradación de la máquina y el proceso [26].

El éxito de esta plataforma de mantenimiento colaborativo depende de tener una plataforma multitarea, un entorno operativo multiusuario, una base de datos rápida y fácil de administrar para que los expertos la utilicen para recuperar o almacenar sus conocimientos y experiencias agregados [27].

El mantenimiento electrónico crea una plataforma para compartir datos en toda la empresa, aumenta la eficiencia del proceso y genera decisiones más rentables. En los sistemas de mantenimiento electrónico, es más fácil adquirir datos de diferentes fuentes, procesar datos de mayor tamaño y aumentar la usabilidad de los datos para asegurar la calidad de la información para un sistema de mantenimiento más productivo [28].

C. Análisis de Datos en E-maintenance

Las herramientas basadas en datos influyen de manera importante en los procesos de mantenimiento diarios y, si se utilizan de manera óptima, pueden ayudar a los profesionales a diseñar estrategias de mantenimiento más eficaces. Las tendencias recientes muestran una correlación entre las estrategias de mantenimiento electrónico y el uso mejorado de herramientas basadas en datos para administrar de manera óptima los activos técnicos [29].

Además, en el mantenimiento electrónico, los datos se recopilan con fines versátiles, como la planificación, la observación y la evaluación del estado de los equipos, y para respaldar diferentes procesos de mantenimiento [30].

La recopilación de una amplia variedad de datos para el mantenimiento electrónico implica desafíos de gestión de datos que no se han estudiado adecuadamente en el mundo académico antes ventaja y potenciales retos de la gestión de la información de mantenimiento en una plataforma E-maintenance [29].

II. METODOLOGÍA

Se presenta un caso de estudio en una organización dedicada a la venta de instrumentos analíticos, en la cual se realizan diversos tipos de servicio postventa, entre ellos un grupo que representan el trabajo directo y otro grupo de trabajo no directo. Los trabajos no directos se presentan en un alto porcentaje, producto de la falta de planificación intensificado por los efectos de la pandemia.

En la Fig. 1 se puede observar el modelo de relaciones desarrollado en el software Power BI para el análisis de datos registrados en el área post venta.

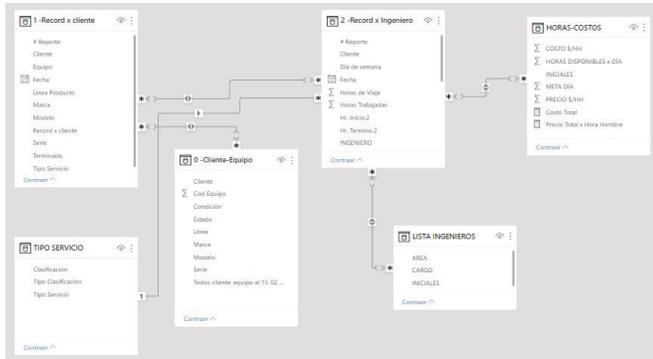


Fig. 1 Modelo de relaciones en Power BI.

A. Diagnóstico del Proceso de Planificación

Se realizó un diagnóstico del estado actual tomando información de los últimos años del software de servicio que nos permite llevar un registro de los trabajos realizados por el personal del área postventa y se utilizó el software Power BI para centralizar la información.

La metodología inicia con la evaluación del porcentaje de horas de trabajo directo de toda el área de post venta con un valor del 38.54% y un 61.46% para otros trabajos. En la Fig. 2 se puede observar el porcentaje de trabajo directo dedicado a los tipos de servicio que genera valor (trabajo directo) respecto a los otros trabajos (no directo). Esta evaluación se hizo sobre un total de 29856 horas trabajadas entre 15 colaboradores en el año 2020.



Fig. 2 Porcentaje Horas trabajadas por año y clasificación de tipo de servicio Trabajo directo y otros trabajos.

En la Fig. 3 se puede observar la productividad por año desde el 2016 hasta el 2021, manteniendo un porcentaje por encima del 50%, con una caída a 36.74% en el año 2020 a causa de la pandemia.

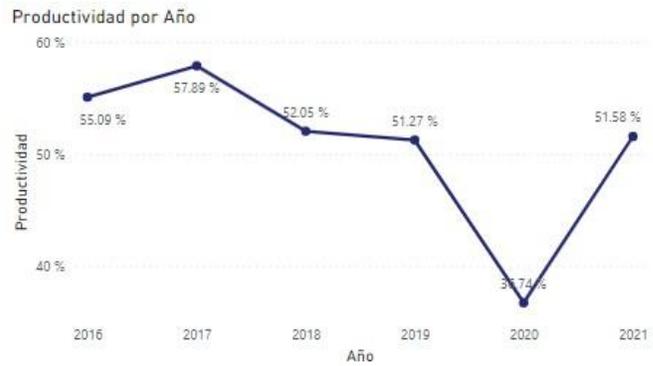


Fig. 3 Índice de Productividad en base a horas de trabajo directo por año y su impacto por el covid-19 durante el año 2020.

En la Fig. 4 se observa un índice de trabajo directo con valores entre 60% y 70% entre los años 2016 y 2019, sin embargo estos valores no son precisos debido a falta de registros de trabajo no directo. A partir del año 2020 y con el proceso de digitalización, en el área post venta se hizo obligatorio el registro de todo tipo de trabajo a través del software de servicio. Es por ello la diferencia entre los porcentajes de trabajo directo de la Fig. 4 y la productividad en la Fig. 3. Así mismo una similitud a partir del año 2020 y 2021 entre estos valores.



Fig. 4 Porcentaje de horas de trabajo directo y no directo en función de las horas de trabajo de personal Post Venta.

TABLA III
CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE SERVICIO.

Clasificación	Tipo	Horas Trabajadas
Trabajo Directo	Capacitaciones Cliente	670
	Mantenimiento Correctivo	2815
	Mantenimiento Preventivo	3285
	Verificaciones	
	Revisión y diagnóstico	1300
	Servicio Post Venta	2498
	Servicio Ventas	444
Otros Trabajos	Otros servicios	492
	Capacitaciones Personal	195
	Trabajo en oficina	13411
	Trabajo remoto	3685
	Viaje a Provincia	457
	Otros servicios	397
TOTAL		29855

B. Toma de decisiones

Luego de la evaluación realizada se hicieron ajustes en el proceso de planificación, obteniendo mejores resultados en los indicadores evaluados inicialmente.

Lo primero que se realizó fue identificar los activos instalados a lo largo y ancho de todo el Perú para optimizar los recursos humanos y atenciones a los clientes.

En la Fig. 5 se muestra las ubicaciones de los equipos que se brinda soporte post venta a los largo y ancho de todo el Perú. Esta información permite optimizar los recursos humanos y de tiempo por los traslados que se realizan.

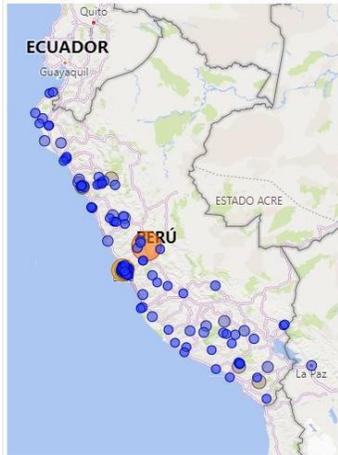


Fig. 5 Ubicaciones de los activos instalados en todo el Perú.

C. Análisis del Impacto de la Planificación de los Servicios

Se observó durante el análisis el estado actual del Impacto económico que genera la falta de planificación, como por ejemplo lo indicado en la Tabla IV para el equipo 1 y una primera fase de mejora para el equipo 2, donde se reforzó las actividades de los asistentes para desarrollar los trabajos de programación.

TABLA IV
IMPACTO DE LA PLANIFICACIÓN FASE 1.

		EQUIPO 1 (2020)	EQUIPO 2 (2021)
Planilla Nominal	personas	15	14
Horas laborables por año por persona	horas/año	2088	2088
Horas laborables Totales por año	horas/año	31320	29232
Horas extras laboradas	horas/año	2016	1512
Costo nominal por hora	\$/hora	\$ 35.00	\$ 35.00
Costo Total Anual	\$	\$ 1,166,760.00	\$ 1,076,040.00
Jefe Post Venta	personas	1	1
Asistente Cotizaciones de Servicio	personas	1	1
Asistente Consumibles y Repuestos (CRA)	personas	2	2
Asistentes Post Venta	personas	2	0
Planificador	personas	0	0
Programador	personas	0	2
Tiempo directo	%	37.6%	51%
Personal equivalente	personas	6	7
Horas equivalente por año	horas/año	11776	14914
costo equivalente por hora	\$	99	72
Costo equivalente / Costo nominal		2.83	2.06
Eficiencia del costo	%	35%	49%
Mejora en la productividad laboral			36%

D. Resultados esperados de Propuesta de Mejora Equipo 3

En la Tabla 2 se propone una segunda fase mejora con el equipo 3 en el cual se incorpora 1 planificador en el área de post venta.

TABLA V
IMPACTO DE LA PLANIFICACIÓN FASE 2.

		EQUIPO 1 (2020)	EQUIPO 2 (2021)	EQUIPO 3 (Ene-Dic 2022)
Planilla Nominal	personas	15	14	14
Horas laborables por año por persona	horas/año	2088	2088	2088
Horas laborables Totales por año	horas/año	31320	29232	29232
Horas extras laboradas	horas/año	2016	1512	1008
Costo nominal por hora	\$/hora	\$ 35.00	\$ 35.00	\$ 35.00
Costo Total Anual	\$	\$ 1,166,760.00	\$ 1,076,040.00	\$ 1,058,400.00
Jefe Post Venta	personas	1	1	1
Asistente Cotizaciones de Servicio	personas	1	1	1
Asistente Consumibles y Repuestos (CRA)	personas	2	2	2
Asistentes Post Venta	personas	2	0	0
Planificador	personas	0	0	1
Programador	personas	0	2	1
Tiempo directo	%	37.6%	51%	65%
Personal equivalente	personas	6	7	9
Horas equivalente por año	horas/año	11776	14914	19001
costo equivalente por hora	\$	99	72	56
Costo equivalente / Costo nominal		2.83	2.06	1.59
Eficiencia del costo	%	35%	49%	63%
Mejora en la productividad laboral			36%	73%

III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con base en la observación y el análisis del Impacto de la planificación y programación del mantenimiento basado en la estrategia de e-maintenance se encontró lo siguiente:

Problema 1, Deficiencia del sinceramiento de información entre los años 2016 y 2019. Solución: La obtención del análisis permitió concientizar al personal post venta para el registro correspondiente a partir del año 2020 en adelante, mostrándose valores más precisos y confiables.

Problema 2, Los indicadores obtenidos en función al porcentaje de trabajo directo no fueron suficientes. Causa: Deficiencias en los registros en los años 2016 y 2019. Solución: Se ajustó el indicador a valores de productividad más reales, permitiendo validar la información obtenida.

Problema 3, Ineficiencia del costo de hora hombre. Causa: Descoordinación entre los procesos de planificación y programación de los servicios post venta. Solución: Se inició un proceso de consolidación de conocimientos de los asistentes como programador y planificador, permitiendo una mejora de la productividad y eficiencia del costo.

En la Tabla VI se muestra los resultados obtenidos y su impacto en la mejora de la productividad.

TABLA VI
ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Equipo sin Planificador		Planificador y Programador	
2	Asistentes	0	Asistente
0	Programador	2	Programador
0	Planificador	1	Planificador
15	Ingenieros de servicio	14	Ingenieros de servicio
37.6%	Porcentaje trabajo directo	65%	Porcentaje trabajo directo
6	Trabajadores full time	9	Trabajadores full time
Mejora del 73% por planificación y programación			

IV. CONCLUSIONES

El uso de las herramientas de E-maintenance permitió un análisis de datos masivos de los registros obtenidos y una toma de mejores decisiones dentro del proceso de planificación con el objetivo de mejorar la productividad del personal de mantenimiento.

El impacto de la planificación y programación en una primera etapa permitió una mejora de la productividad del 36% y una eficiencia del costo del 49%.

Se espera alcanzar en una segunda etapa de mejora de la planificación y programación de los trabajos una eficiencia del costo hora hombre de 63% y una mejora de la productividad del 73%.

La posibilidad de visualizar gran cantidad de datos combinados de los reportes que realiza el personal de mantenimiento fue posible gracias al enfoque propuesto basado en el uso de e-maintenance y Power BI para análisis de datos.

El documento muestra cómo la solución e-Maintenance a través del análisis de datos puede ayudar a las partes interesadas en el mantenimiento como servicio post venta en su toma de decisiones. En esta presente investigación, el concepto de solución de mantenimiento electrónico basada en la herramienta de Power BI llevó al Gestor de mantenimiento a tomar decisiones adecuadas para la planificación del mantenimiento. En la solución propuesta, para mejorar el rendimiento del proceso de mantenimiento y ser más efectivo económicamente, los datos se adquieren de la laptop de cada ingeniero de servicio y se envían a un servidor para su almacenamiento y posterior análisis.

REFERENCIAS

- [1] B. Lung, E. Levrat, A. Crespo Marquez and H. Erbe, "E-maintenance: Principles, review and conceptual framework," *IFAC Proceeding.*, vol. 40, pp. 18-29, 2007.
- [2] R. Kour, P. Tretten and R. Karim, "E-Maintenance solution through online data analysis for railway maintenance decision-making," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 20 No. 3, pp. 262-275, 2014.
- [3] D. Espíndola, L. Fumagalli, M. Garetti, C. Pereira, S. Botelho and R. Ventura, "A model-based approach for data integration to improve maintenance management by mixed reality," *Computers in Industry*, vol. 64, May 2013.
- [4] M. Macchi, A. Márquez, M. Holgado, M., L. Fumagalli, and L. Martínez, "Value-driven engineering of E-maintenance platforms," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol 568-598, 2014.
- [5] A. Mouzoune, and S. Taibi, "Towards an intelligence based conceptual framework for e-maintenance," *8th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA)*, May 2013.
- [6] M. Hu, and Y. Liu, "E-maintenance platform design for public infrastructure maintenance based on IFC ontology and Semantic Web services," *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol 32, May 2020.
- [7] R. Velmurugan and T. Dhingra, "Maintenance Strategy Selection and Its Impact in Maintenance Function: A Conceptual Framework International," *Journal of Operations & Production Management*, vol 35, pp. 1622-1661, 2015.
- [8] S. Chowdhury and A. Akram, "E-maintenance: Opportunities and challenges," In *The 34th Information Systems Research Seminar in Scandinavia (IRIS), Turku, Finland, August*, vol 16-19, pp. 68-81, 2011.
- [9] S. Turki and N. Rezg, "Study of the E-maintenance service in E-logistic supply chain," In *2017 IEEE Symposium on Service-Oriented System Engineering (SOSE)*, pp. 132-137, April 2017.
- [10] B. Chebel-Morello, K. Medjaher, A. Arab, F. Bandou, S. Bouchaib and N. Zerhouni. "E-Maintenance for photovoltaic power generation system," *Energy Procedia*, vol. 18, pp. 640-643, 2012.
- [11] L. Fumagalli and M. Macchi, "Integrating maintenance within the production process through a flexible E-maintenance platform," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48(3), pp. 1457-1462, 2015.
- [12] NIST, "National Institute of Standards and Technology," *Foundations for Innovation in Cyber-Physical Systems*, Workshop Report, January 2013.
- [13] U. Dombrowski and C. Engel, "After sales strategies for the original equipment manufacturer of electric mobiles," In *Re-Engineering Manufacturing for Sustainability*, pp. 347-352, 2013.
- [14] P. Ruiz, B. Foguem and B. Grabot, "Generating knowledge in maintenance from Experience Feedback," *Knowledge-Based Systems*, vol. 68, pp. 4-20, 2014.
- [15] M. Holgado and M. Macchi, "Exploring the role of E-maintenance for value creation in service provision," *20th ICE Conference – IEEE TMC Europe Conference*, vol. 23-25, June 2014.
- [16] A. Shahin, H. Shirouyehzad and E. Pourjavad, "Optimum maintenance strategy: a case study in the mining industry," *International Journal of Services and Operations Management*, vol. 12(3), pp. 368-386, 2012.
- [17] K. Fraser, "Facilities management: the strategic selection of a maintenance system," *Journal of Facilities Management*, 2014.
- [18] A. Muller, A. Crespo, and B. Lung, "On the concept of e-maintenance: review and current research," *Reliab. Eng. Syst. Safety*, vol. 93, pp. 1165–1187, 2008.
- [19] N. Inayah, L. Sagita, Y. Latief and R. Armin, "Identification of E-Maintenance Elements and Indicators that Affect Maintenance Performance of High-Rise Building: A Literature Review," In *Materials Science and Engineering Conference Series*, vol. 1007, December 2020.
- [20] T. Wireman, "Benchmarking Best Practice in Maintenance Management," *Industrial Press, Second Edition*, 2015.
- [21] D. Nyman and J. Levit, "Maintenance Planning, Coordination and Scheduling," *Industrial Press, Second Edition*, 2010.
- [22] T. Wireman, "Total Productive Maintenance," *Industrial Press*, 2004.
- [23] A. Muller, A. Crespo Marquez, and B. Lung, "ON the concept e-maintenance: Review and current research," *Reliab Eng Saf*, 2008.
- [24] T. Rosqvist, K. Laaksoa and M. Reunanen, "Value driven maintenance planning for a production plant," *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 94, pp. 97– 110, 2009.
- [25] M. Holgado, M. Macchi & L. Fumagalli. "Value-in-use of e-maintenance in service provision: survey analysis and future research agenda," *IFAC-Papers OnLine*, vol. 49(28), pp. 138-143, 2016.
- [26] M. Koc, J. Ni, J. Lee, and P. Bandyopadhyay, "Introduction to e-manufacturing," In: *Proceedings of the International Conference on Frontiers on Design and Manufacturing*, 2003.
- [27] J. Wang, P. Tse, L. He and R. Yeung. "Remote sensing, diagnosis and collaborative maintenance with web-enabled virtual instruments and mini-servers," *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 24(9-10), pp. 764-772, 2004.
- [28] A. Razmi-Farooji, H. Kropsu-Vehkaperä, J. Härkönen & H. Haapasalo, "Advantages and potential challenges of data management in e-maintenance," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 25, May 2019.
- [29] P. Chemweno and L. Pintelon, L. "Towards e-maintenance: an exploration approach for aircraft maintenance data," In *Applications and Challenges of Maintenance and Safety Engineering in Industry 4.0*, pp. 189-212, 2020.
- [30] D. Murthy, M. Karim, and A. Ahmadi. "Data management in maintenance outsourcing," *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 142, pp. 100-110, 2015.