




AUTONOMOUS MAINTENANCE DESIGN TO REDUCE COSTS IN A CAR WASH

Alexia Milene Decarolli Yaya, Bachelor's Degree¹, Luis Martín Arbaiza Tejada, Bachelor's Degree², Marco Antonio Díaz Díaz, Master of Science³
¹²³Universidad Privada del Norte, Perú, N00237617@upn.pe, N00236144@upn.pe, marco.diaz@upn.edu.pe

Abstract- This work was developed with the objective of implementing the engineering tool in a micro-enterprise dedicated to the car wash service in the city of Lima, Peru. The development of the work had an initial diagnostic stage, where the problem of unscheduled stops caused by failures in equipment such as compressors, hoses of hydro-washers and vacuum cleaners was identified. Currently, the company loses 13.5 operating hours per month and S/. 7,475 in labor costs. For the solution two alternatives were proposed: preventive maintenance and autonomous maintenance, which were evaluated based on realistic constraints, to later select the most appropriate to solve the problem identified in the company. The selected tool was Autonomous Maintenance with a cost of S/. 2,500 and an implementation time of 9 weeks, then the results were compared with their own engineering standards to determine their impact. Finally, a six-month reduction of S/. 23,724.23 in costs and at the same time the impact of the implementation of the developed tool was evaluated, obtaining an IRR of 54%, a NPV of S/. 3,362.78 and a B/C of 1.97. This improvement proposal seeks to generate a replicable study model supported by linear regression calculations.

Keywords— Autonomous Maintenance, Cost Reduction, Operational Efficiency, Car Wash, Unscheduled Shutdowns.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO PARA REDUCIR COSTOS EN UN CAR WASH

Alexia Milene Decarolli Yaya, Bachiller en Ingeniería Industrial¹, Luis Martín Arbaiza Tejada, Bachiller en Ingeniería Industrial², Marco Antonio Díaz Díaz, Máster en Ciencias³
¹²³Universidad Privada del Norte, Perú, N00237617@upn.pe, N00236144@upn.pe, marco.diaz@upn.edu.pe

Abstract- El presente trabajo fue elaborado con objetivo de implementar la herramienta de ingeniería en una microempresa dedicada al rubro de servicio de lavado de vehículos en la ciudad de Lima, Perú. El desarrollo del trabajo tuvo una etapa inicial de diagnóstico, donde se identificó el problema de paradas no programadas causadas por fallos en equipos como compresoras, mangueras de hidro-lavadoras y aspiradoras. Actualmente, la empresa pierde 13.5 horas operativas mensuales y S/. 7,475 en costos de mano de obra. Para la solución de este, se propusieron dos alternativas: mantenimiento preventivo y mantenimiento autónomo, las cuales fueron evaluadas con base a restricciones realistas, para posteriormente seleccionar la más adecuada para solucionar el problema identificado en la empresa. La herramienta seleccionada fue Mantenimiento Autónomo con un costo de S/. 2,500 y un tiempo de implementación de 9 semanas, luego se compararon los resultados con estándares propios de ingeniería para determinar su impacto. Finalmente se obtuvo una reducción semestral de S/. 23,724.23 en costos y a la vez se evaluó el impacto de la implementación de la herramienta elaborada, obteniendo un TIR de 54%, un VAN de S/. 3,362.78 y un B/C de 1.97. esta propuesta de mejora busca generar un modelo de estudio replicable respaldado en los cálculos de regresión lineal.

Keywords— Mantenimiento Autónomo, Reducción de Costos, Eficiencia Operativa, Car Wash, Paradas No Programadas.

I. INTRODUCCIÓN

A. Realidad Problemática

El presente trabajo tiene como objetivo analizar los problemas que enfrenta una microempresa dedicada al rubro de servicio de lavado de vehículos (Car Wash), que se esfuerza por mantener altos estándares de calidad y brindar un servicio excepcional a sus clientes. A pesar de estos esfuerzos, la empresa enfrenta desafíos significativos en diversas áreas de sus operaciones.

Uno de los principales problemas es el alto índice de paradas no programadas en equipos clave, como compresoras, mangueras de hidro-lavadoras y aspiradoras. Estas interrupciones provocan una pérdida considerable de tiempo operativo. En la Tabla 1, se muestra el tiempo perdido por las paradas no programadas.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

TABLA 1
 TIEMPO DE PARADAS NO PROGRAMADAS EN EL MES DE MARZO - 2024

CAUSA	DURACIÓN (MIN)	Nº DE VECES AL MES	TOTAL (MIN)
FALLO EN COMPRESORA	45	3	135
FUGA EN MANGUERA DE HIDRO-LAVADORA	75	3	225
PROBLEMAS ELÉCTRICOS EN ASPIRADORA	90	5	450
TOTAL			810

Fuente: Elaboración propia

Estas paradas, traducidas en horas (13.5 horas perdidas al mes), generan costos significativos, alcanzando los S/. 7,475 soles en mano de obra para marzo, afectando la eficiencia operativa y comprometiendo la calidad del servicio, lo que podría llevar a una pérdida adicional de clientes a largo plazo.

A continuación, se presenta el resumen de los costos asociados al problema. Véase Tabla 2.

TABLA 2
 COSTOS GENERADOS POR EL PROBLEMA

SUB-PROBLEMAS	Duración (min)	COSTO POR EVENTO	Nº DE EVENTOS AL MES	TOTAL MES DE MARZO - 2024
Fallo En Compresora	45	S/ 850.00	3	S/ 3,337.50
Fuga En Manguera De Hidro-lavadora	75	S/ 50.00	3	S/ 1,462.50
Problemas Eléctricos En Aspiradora	90	S/ 220.00	5	S/ 2,675.00
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA				S/ 7,475.00

Fuente: Elaboración propia

La referencia [2] demostraron que, tras la implementación del Mantenimiento Autónomo, se obtuvieron resultados significativos en la reducción de la generación de residuos y los costos asociados en una empresa del sector de calzados. La

empresa logró una disminución del 11.6% en el volumen de residuos generados en el área de corte, y una reducción del 3.5% en los costos de disposición de estos residuos de manera controlada. Además, se mejoró la organización y limpieza del entorno de trabajo, facilitando un entorno más seguro y eficiente para los trabajadores.

La referencia [3] identificaron que la disponibilidad de los equipos en una industria gráfica estaba por debajo del objetivo del 95%, con una disponibilidad que oscilaba entre 80.0% y 90.6% antes de la implementación del mantenimiento autónomo. Después de implementar el plan de mantenimiento autónomo, la disponibilidad mejoró significativamente, pasando de un 89.16% a un 93.96%, lo que representa un incremento del 4.8% en un período de 10 meses

La referencia [4] se centra en la industria minera y su optimización. Analiza la relación entre productividad, mantenimiento y reemplazo del equipamiento en minería a cielo abierto, describiendo el flujo tecnológico y las condiciones de reemplazo de maquinaria. Un estudio de caso reveló una disminución en la productividad de equipos de transporte, excavación-carga y bulldozers al sexto año, con índices de 51.72%, 48.88% y 55.51% respectivamente. Las principales causas de esta reducción son las deficiencias en mantenimiento y la decisión de reemplazo oportuno de equipos.

La referencia [6] implementaron el mantenimiento autónomo en la línea de envasado N°22, comenzando con la sopladora, capacitando a los operadores y estableciendo procedimientos de limpieza, inspección y lubricación. Se identificaron y mejoraron varios indicadores de desempeño en un año, destacando la reducción del tiempo de saneamiento en un 17%, la disminución de tiempos de parada por falla de equipos en un 41%, y una mejora del 62% en el tiempo promedio de reparación, además de una mejora del 41% en la relación costo-beneficio. También se desarrollaron listas de verificación para el control de mantenimiento y se implementó el SMED para estandarizar y reducir el tiempo de las actividades de saneamiento, clasificando y transformando actividades internas en externas cuando fue posible, y creando nuevos estándares de limpieza.

La referencia [9] identificaron que el principal problema en la organización era la alta frecuencia de paradas de máquina no programadas, lo que disminuía la productividad. Antes de la implementación del Mantenimiento Autónomo (MA), la efectividad global de los equipos (OEE) era del 66.08%. Con la propuesta de implementación del Mantenimiento Autónomo, indicaron que se lograría un incremento del OEE al 77.08%, y la productividad aumentaría del 53.97% al 75%.

B. Problema

¿Cuál es el impacto de implementar un Plan de Mantenimiento Autónomo sobre los costos en una

microempresa dedicada al rubro de servicio de lavado de vehículos?

C. Objetivo

Determinar el impacto de implementar un Plan de Mantenimiento Autónomo para reducir los costos en microempresa dedicada al rubro de servicio de lavado de vehículos.

II. MÉTODOS Y MATERIALES

A. Diseño de la investigación

La presente investigación es de ámbito Experimental de grado Pre-Experimental, el presente trabajo de investigación es un diseño de propuesta de mejora, empleando el uso de herramientas o Metodologías de ingeniería, previamente validadas en estudios extraídos de artículos científicos con resultados óptimos, siendo la unidad de estudio una microempresa dedicada al rubro de servicio de lavado de vehículos.

B. Alternativas de solución e identificación de restricciones

Para poder mitigar el problema anteriormente presentado, se propusieron dos alternativas de solución u herramientas de la ingeniería industrial que se tomaron en cuenta para solucionar dicho problema.

TABLA 3
RESUMEN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

PROBLEMA	ALTERNATIVA A	ALTERNATIVA B
ALTO ÍNDICE DE PARADAS NO PROGRAMADAS	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	MANTENIMIENTO AUTONOMO

El **mantenimiento preventivo** implica la conservación planificada de máquinas y equipos, programando tareas antes de que ocurran fallas, basándose en el conocimiento sistemático del estado de los equipos y sus especificaciones técnicas [1]. Con este objetivo, se busca reducir la frecuencia y el impacto de los fallos de un sistema [7]

El **mantenimiento autónomo** es un enfoque en el que los operadores de una empresa asumen la responsabilidad de las tareas de mantenimiento básico [10], este pilar consiste en un conjunto de actividades dirigidas al personal encargado de operar las máquinas, con el objetivo fundamental de comprometer al operario en el mantenimiento de sus propias máquinas. Entre las labores principales de este pilar se incluyen la inspección diaria, la lubricación, el reemplazo de partes y las reparaciones menores. [8]

C. Identificación y descripción de restricciones realistas

Para escoger la alternativa de solución más idónea para el problema, se evaluaron a través de restricciones realistas, las cuales funcionan como limitaciones que sirven de guía al momento de seleccionar la mejor, tomando en cuenta el objetivo del trabajo. Véase Tabla 4.

A continuación, se muestra las restricciones analizadas y su concepto:

- Económica: Costo total de implementación de la herramienta.
- Tiempo: Tiempo total que dura la implementación de la herramienta.
- Accesibilidad: Nivel de accesibilidad a la implementación de la herramienta.
- Usabilidad: Nivel de facilidad del uso de la herramienta por parte del encargado.
- Funcionabilidad: Nivel de cantidad de funciones que aporta la herramienta.
- Resistencia al cambio: Nivel de adaptación de la herramienta en diferentes periodos.

Tabla 4
CUADRO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL PROBLEMA DE PARADAS NO PROGRAMADAS

RESTRICCIONES	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	MANTENIMIENTO AUTONOMO
ECONÓMICA	S/. 11,950	S/. 2,500
TIEMPO	11 semanas	9 semanas
ACCESIBILIDAD	100%	90%
FUNCIONABILIDAD	70%	100%
USABILIDAD	100%	80%
SOSTENIBILIDAD	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron cálculos matemáticos para evaluar la restricción económica y determinar el costo de implementación de cada herramienta. Estos cálculos se presentan de manera detallada en la Tabla 5 y Tabla 6, donde se muestran los costos asociados con la implementación de cada herramienta en términos de recursos financieros necesarios.

Tabla 5
RESTRICCIÓN ECONÓMICA MANTENIMIENTO PREVENTIVO

DESCRIPCIÓN	COSTO ESTIMADO (S/)
SERVICIOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	2500
COMPRESORAS	
MANGUERAS DE HIDRO-LAVADORA	1500
ASPIRADORA	2000
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS DE MANTENIMIENTO	
HERRAMIENTAS BASICAS	500
EQUIPOS DE MEDICION	450
CAPACITACION DEL PERSONAL	3000
CONTINGENCIAS Y COSTOS ADICIONALES	2000

TOTAL		11950
TABLA 6 RESTRICCIÓN ECONÓMICA MANTENIMIENTO AUTÓNOMO		
DESCRIPCIÓN	COSTO ESTIMADO (S/)	
LIMPIEZA DE EQUIPOS DE LAVADO	INSPECCIÓN DE EQUIPOS DE LAVADO	280
SERVICIOS DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO	MONITOREO DE EQUIPOS DE LAVADO	350
	CONTROL DE CALIDAD DE SERVICIOS DE REPARACIÓN	450
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS DE MANTENIMIENTO	EQUIPOS DE MEDICION	400
	CAPACITACION DEL PERSONAL	300
	COSTOS ADICIONALES	440
TOTAL		2,500

Se llevó a cabo un análisis detallado para evaluar la restricción de tiempo de implementación y se elaboraron cronogramas de actividades para determinar la duración estimada de la implementación de cada herramienta como se muestran en la Tabla 7 y Tabla 8.

Para evaluar la restricción de accesibilidad, se llevó a cabo la elaboración de encuestas específicas dirigidas al gerente de la empresa. Estas encuestas tenían como objetivo evaluar el nivel de accesibilidad para la implementación de cada herramienta en particular. Véase en Figura 1 y 2.

Para evaluar la restricción de funcionabilidad, se llevaron a cabo encuestas dirigidas a los trabajadores de la organización. Estas encuestas se diseñaron utilizando preguntas tipo escala Likert, donde los participantes calificaron diferentes aspectos relacionados con la funcionalidad de la herramienta. Este enfoque permitió obtener un puntaje ponderado que reflejaba la funcionalidad de cada herramienta según la percepción de los empleados. Véase en Figura 3 y 4.

TABLA 7
RESTRICCIÓN DE TIEMPO MANTENIMIENTO PREVENTIVO

ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Contratación de Servicios de Mantenimiento Preventivo											
Compresoras	X										
Mangueras de Hidro-lavadora		X									
Aspiradoras		X									
Adquisición de Herramientas y Equipos de Mantenimiento											
Herramientas básicas			X								
Equipos de medición		X									
Capacitación del Personal											
Capacitación teórica			X								
Capacitación práctica				X							
Ejecución del Mantenimiento Preventivo					X	X	X				
Evaluación y Ajustes											
Evaluación del progreso									X		
Realización de ajustes											X

TABLA 8
RESTRICCIÓN DE TIEMPO MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Implementación del Mantenimiento Autónomo									
Limpieza de equipos	X								
Inspección de equipos		X	X						
Monitoreo de equipos			X	X					
Control de calidad de servicios de reparación				X	X				
Adquisición de Herramientas y Equipos de Mantenimiento									
Equipos de medición					X				
Capacitación del Personal									
Capacitación teórica						X			
Capacitación práctica						X			
Ejecución del Mantenimiento Autónomo							X	X	
Evaluación y Ajustes									
Evaluación del progreso									X
Realización de ajustes									X

CUESTIONARIO DE ACCESIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA EMPRESA CAR WASH T&Q

- ¿Está en la capacidad de invertir S/. 11,950 para poder implementar un programa de Mantenimiento Autónomo a los operadores para un correcto uso de las maquinarias y aumentar la disponibilidad de estas mismas? (4 puntos)
 Si (4) No (0) Si, pero preferiría evaluar otras opciones (2)
- ¿Está dispuesto a adquirir los equipos de medición necesarios para respaldar la implementación del programa? (2 puntos)
 Si (2) No (0) Si, pero preferiría evaluar otras opciones (1)
- ¿Estaría dispuesto a que se brinden capacitaciones al personal con relación al mantenimiento preventivo? (2 puntos)
 Si (2) No (0)
- ¿Considera usted que la implementación del programa de mantenimiento preventivo beneficiaría a largo plazo a CAR WASH T&Q en términos de reducción de costos y mejora de la calidad del servicio? (2 puntos)
 Si (2) No (0)

Fig. 1 Cuestionario de Accesibilidad Para Mantenimiento Preventivo

CUESTIONARIO DE ACCESIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN LA EMPRESA CAR WASH T&Q

- ¿Está en la capacidad de invertir S/. 2,500 para poder implementar un programa de Mantenimiento Autónomo a los operadores para un correcto uso de las maquinarias y aumentar la disponibilidad de estas mismas? (4 puntos)
 Si (4) No (0) Si, pero preferiría evaluar otras opciones (2)
- ¿Estaría dispuesto a adquirir los equipos de medición necesarios para respaldar la implementación del programa? (2 puntos)
 Si (2) No (0) Si, pero preferiría evaluar otras opciones (1)
- ¿Estaría dispuesto a que se brinden capacitaciones al personal con relación al mantenimiento autónomo? (2 puntos)
 Si (2) No (0)
- ¿Considera usted que la implementación del programa de mantenimiento autónomo beneficiaría a largo plazo a CAR WASH T&Q en términos de reducción de costos y mejora de la calidad del servicio? (2 puntos)
 Si (2) No (0)

Fig. 2 Cuestionario de Accesibilidad Para Mantenimiento Autónomo

CUESTIONARIO DE FUNCIONABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA EMPRESA CAR WASH T&Q

- ¿Cree que la implementación del programa de mantenimiento preventivo sería beneficiosa para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos clave, como compresoras, mangueras de hidro-lavadora y aspiradoras? (4 puntos)
 Si (4) No (0)
- ¿Consideran que la implementación del programa de mantenimiento preventivo ayudaría a reducir la frecuencia de paradas no programadas y a evitar tiempos de inactividad operativa? (3 puntos)
 Si (3) No (0)
- ¿Opinan que la implementación del programa de mantenimiento preventivo contribuiría positivamente a mejorar la eficiencia operativa y la calidad del servicio ofrecido a los clientes en CAR WASH T&Q? (3 puntos)
 Si (3) No (0)

Fig. 3 Cuestionario de Funcionabilidad Para Mantenimiento Preventivo

CUESTIONARIO DE FUNCIONABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN LA EMPRESA CAR WASH T&Q

1. ¿Cree que la implementación del programa de mantenimiento autónomo sería beneficiosa para fomentar el compromiso de los operarios con los equipos y el aumento de la seguridad en el lugar de trabajo? (4 puntos)

Si (4) No (0)
2. ¿Cree que la implementación del programa de mantenimiento autónomo ayudaría a optimizar las condiciones de funcionamiento de los equipos? (3 puntos)

Si (3) No (0)
3. ¿Opinan que la implementación del programa de mantenimiento preventivo contribuiría a reducir el tiempo medio entre fallas y reparación de los equipos? (3 puntos)

Si (3) No (0)

Fig. 4 Cuestionario de Funcionabilidad Para Mantenimiento Autónomo

Para esta restricción de usabilidad, se llevaron a cabo encuestas dirigidas a los empleados de la empresa con el fin de determinar el nivel de facilidad de uso de cada herramienta. Con el puntaje promedio obtenido y el valor asignado a cada pregunta se logró calcular el porcentaje total que refleja la usabilidad de cada herramienta según la opinión de los empleados. Véase en Figura 5 y 6.

CUESTIONARIO DE USABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA EMPRESA CAR WASH T&Q

1. ¿Consideran que el programa de mantenimiento preventivo propuesto es fácil de entender y utilizar? (4 puntos)

Si (4) No (0) Si, pero preferiría evaluar otras opciones (2)
2. ¿Considera que es necesario una capacitación muy extensa para poder comprender y usar esta herramienta? (3 puntos)

Si (3) No (0) Si, pero preferiría evaluar otras opciones (2)
3. ¿Cree que el programa de mantenimiento preventivo facilitaría su trabajo diario al llevar a cabo tareas de mantenimiento en CAR WASH T&Q? (3 puntos)

Si (3) No (0)

Fig. 5 Cuestionario de Usabilidad Para Mantenimiento Preventivo

CUESTIONARIO DE USABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN LA EMPRESA CAR WASH T&Q

1. ¿Consideran que el programa de mantenimiento autónomo propuesto es fácil de entender e implementar? (4 puntos)

Si (4) No (0) Si, pero preferiría evaluar otras opciones (2)
2. ¿Considera que es necesaria una capacitación rigurosa para la comprensión y uso de esta herramienta? (3 puntos)

Si (3) No (0) Si, pero preferiría evaluar otras opciones (2)
3. ¿Cree que el programa de mantenimiento autónomo mejoraría la calidad y seguridad de las operaciones de mantenimiento en la empresa? (3 puntos)

Si (3) No (0) Si, pero preferiría evaluar otras opciones (2)

Fig. 6 Cuestionario de Usabilidad Para Mantenimiento Autónomo

Se realizaron encuestas dirigidas a los trabajadores para evaluar la restricción de resistencia al cambio, que implica el nivel de sostenibilidad de la herramienta y qué tanto esta puede perdurar con el pasar del tiempo. Véase en Figura 7 y 8.

CUESTIONARIO DE SOSTENIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA EMPRESA CAR WASH T&Q

1. ¿Considera que el programa se adaptaría fácilmente a los cambios de la empresa? (4 puntos)

Si (4) No (0) Si, pero preferiría evaluar otras opciones (2)
2. ¿Considera que el programa perdure de forma duradera con el pasar del tiempo? (3 puntos)

Si (3) No (0) Si, pero preferiría evaluar otras opciones (2)
3. ¿Considera que este programa tenga que ser modificado en un corto periodo de tiempo una vez implementada? (3 puntos)

Si (3) No (0) Si, pero preferiría evaluar otras opciones (2)

Fig. 7 Cuestionario de Sostenibilidad Para Mantenimiento Preventivo

CUESTIONARIO DE SOSTENIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN LA EMPRESA CAR WASH T&Q

1. ¿Considera que el programa se adaptaría fácilmente a los cambios futuros de la empresa CAR WASH T&Q? (4 puntos)

Si (4) No (0)
2. ¿Considera usted que este programa mantendrá su vigencia a largo plazo? (3 puntos)

Si (3) No (0)
3. ¿Piensa usted que este programa necesitará modificaciones poco después de su implementación? (3 puntos)

Si (3) No (0)

Fig. 8 Cuestionario de Sostenibilidad Para Mantenimiento Autónomo

D. Selección de la mejor alternativa

Después de realizar un análisis comparativo de las alternativas de solución para cada problema y considerando como principal restricción la económica puesto que es de suma importancia para la implementación; se pudo determinar que la implementación del Mantenimiento Autónomo es la óptima para reducir las paradas no programadas generadas por la maquinaria de la empresa. Véase Tabla 16.

TABLA 9
SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA PARA PROBLEMA

PROBLEMA	ALTERNATIVA SELECCIONADA
ALTO ÍNDICE DE PARADAS NO PROGRAMADAS	MANTENIMIENTO AUTONOMO

III. DISEÑO

A. Mantenimiento Autónomo

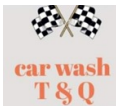
A continuación, se procederá con el diseño de Implementación del Mantenimiento Autónomo. Para ello, se analizará la tabla IX, en la que se parecía cuáles son los equipos que necesitan un mejor mantenimiento para poder evitar paradas no programadas. La información se presenta en la siguiente tabla:

TABLA 10
TIEMPO DE PARADAS NO PROGRAMADAS EN EL MES DE MARZO

CAUSA	DURACIÓN (MIN)	Nº DE VECES AL MES	TOTAL (MIN)
FALLO EN COMPRESORA	45	3	135
FUGA EN MANGUERA DE HIDRO-LAVADORA	75	3	225
PROBLEMAS ELÉCTRICOS EN ASPIRADORA	90	5	450
TOTAL			810

Se diseñó un plan de implementación de Mantenimiento Autónomo, el cual busca optimizar el rendimiento de los equipos y la eficiencia operativa en la microempresa dedicada al rubro de servicio de lavado de vehículos.

TABLA 11
PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO AUTÓNOMO



Plan de Implementación del Mantenimiento Autónomo

Para llevar a cabo el mantenimiento autónomo se requiere la integración de la alta dirección y el compromiso de los operadores encargados del cuidado y mantenimiento de los equipos, con el fin de optimizar su rendimiento

Objetivos:

- Optimizar el rendimiento de los equipos.
- Reducir los tiempos de inactividad no programada.
- Aumentar la eficiencia operativa.

Alcance:

El plan abarca todos los equipos de la microempresa dedicada al rubro de servicio de lavado de vehículos, implicando a todos los operadores y personal de mantenimiento. Se incluirán actividades de limpieza, inspección, monitoreo, control de calidad, adquisición de herramientas, capacitación, y evaluación de progreso.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO AUTÓNOMO			
FASES	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	FECHA	DURACIÓN
1	Implementación del Mantenimiento Autónomo	27/05/2024	1 día
		29/05/2024	3 días
		5/06/2024	1 día

2	Control de calidad de servicios de reparación	Control de calidad de servicios de reparación	9/06/2024	2 días
3	Adquisición de Herramientas y Equipos de Mantenimiento	Equipos de adquisición	9/06/2024	1 día
4	Capacitación y Formación	Capacitación teórica	10/06/2024	3 días
		Capacitación práctica	10/06/2024	3 días
5	Ejecución del Mantenimiento Autónomo	Evaluación del progreso	17/06/2024	3 días
		Realización de ajustes	20/06/2024	3 días

Métricas para Evaluar el Éxito del Programa

- **Reducción de tiempos de inactividad:** Medir la disminución en los tiempos de inactividad no programada antes y después de la implementación.
- **Eficiencia operativa:** Evaluar la mejora en la eficiencia operativa mediante el análisis de la productividad y el rendimiento de los equipos.
- **Satisfacción del personal:** Recoger y analizar el feedback de los operadores y responsables de mantenimiento sobre la implementación del programa.
- **Cumplimiento del cronograma:** Verificar que todas las actividades se completen dentro del tiempo previsto.
- **Reducción de fallos:** Comparar la frecuencia y severidad de fallos de equipos antes y después de la implementación del programa.

Recursos Necesarios

- **Humanos:** Asignar personal específico para cada tarea según el cronograma.
- **Materiales:** Listado de herramientas y equipos necesarios para las actividades de mantenimiento.
- **Financieros:** Presupuesto asignado para la implementación del programa.

Riesgos y Medidas de Mitigación

- **Riesgo:** Posibles fallos en la implementación del cronograma.
✓ **Mitigación:** Monitoreo constante y ajustes necesarios en tiempo real.
- **Riesgo:** Resistencia al cambio por parte del personal.
✓ **Mitigación:** Sesiones de comunicación y motivación para resaltar los beneficios del programa.

Comunicación y Reportes

- Informes semanales sobre el progreso de las actividades.
- Reuniones mensuales para revisar el avance y discutir mejoras.
- Procedimientos Detallados
- Protocolos específicos para limpieza, inspección y monitoreo de equipos.
- Manuales operativos para cada tipo de equipo.

Capacitación Continua

- Programar sesiones de actualización periódica para el personal involucrado en el mantenimiento autónomo.

Para documentar y dar seguimiento a las actividades de mantenimiento y facilitar la detección temprana de problemas y la verificación de la efectividad de las tareas, se ha creado un formato de cumplimiento del Mantenimiento Autónomo, la empresa podrá editar conforme sea la maquinaria que se requiera verificar.

 FORMATO DE CUMPLIMIENTO DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO	
Empresa:	Car Wash "T&Q"
Equipo:	Compresora
Operador Responsable:	
Fecha:	
ACTIVIDADES REALIZADAS	
Limpieza:	(Describir las tareas de limpieza realizadas)
Inspección:	(Detallar los puntos de inspección revisados)
Monitoreo:	(Registrar los parámetros monitoreados)
Control de Calidad:	(Indicar si se realizaron pruebas de funcionamiento y los resultados obtenidos)
Observaciones: (Anotar cualquier problema encontrado, anomalías detectadas o acciones correctivas tomadas)	
<p style="text-align: center;"> Firma del Operador Firma del Supervisor </p>	

Fig. 9 Formato de cumplimiento de Mantenimiento Autónomo para maquinaria

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La siguiente tabla presenta el problema identificado en el área de operaciones, junto con la herramienta de mejora propuesta para abordarlo; en donde se establecen indicadores y fórmulas para medir el progreso y evaluar el éxito de la implementación de la herramienta, con valores actuales y esperados claramente definidos.

TABLA 12
FORMULACIÓN Y CÁLCULO DE INDICADORES

HERRAMIENTA	INDICADOR	FORMULA	V.A.	V.E.
MANTENIMIENTO AUTÓNOMO	MTBF (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS)	n° de horas de operación/n ^o paradas correctivas	74.7%	100%

A. Simulación

1. Mantenimiento Autónomo

Antes de simular la metodología de Mantenimiento Autónomo, se realizó una regresión lineal para identificar la relación entre las variables involucradas en su implementación. Se definió una variable dependiente (indicador del problema) y una variable independiente (condición que influye en la variable dependiente). En la siguiente tabla se detalla las variables utilizadas en la simulación.

TABLA 13
VARIABLE DEPENDIENTE E INDEPENDIENTE DE LA HERRAMIENTA MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

Variable dependiente	Variable independiente
Y: % MTBF	X: Error Humano

En segundo lugar, se examinó el coeficiente de determinación R^2 entre las variables dependiente e independiente, utilizando los datos históricos de la empresa. El resultado obtenido, $R^2 = 0.9311$, confirma la validez de los datos para su uso en el análisis. Véase en la Figura 10.

TABLA 14
ANÁLISIS DE REGRESIÓN

	Mes	Errores Humanos (X)	MTBF (Y)
HISTÓRICO	SETIEMBRE	5	64.0%
	OCTUBRE	4	70.0%
	NOVIEMBRE	3	76.0%
	DICIEMBRE	6	58.0%
	ENERO	3	76.0%
	FEBRERO	4	70.0%
	MARZO	4	74.7%
PRONÓSTICO (Simulado)	ABRIL	4.0	70.7%
	MAYO	4.2	69.5%
	JUNIO	3.8	71.7%
	JULIO	4.0	70.6%
	AGOSTO	4.0	70.6%
	SETIEMBRE	4.0	70.6%
	OCTUBRE	4.0	70.6%
	NOVIEMBRE	3.2	75.7%
	DICIEMBRE	2.4	80.4%
	ENERO	1.6	85.3%
	FEBRERO	0.8	90.2%
	MARZO	0.0	95.1%

Se utilizó la información histórica de la empresa en estudio para determinar las variables dependientes (y) e independientes (x), abarcando el periodo desde septiembre del 2023 hasta marzo de 2024. Esto implicó analizar los errores humanos cometidos al mes (x) y calcular el porcentaje del tiempo medio entre fallas (y) a partir de estos datos. Luego, para los meses de

abril 2024 a marzo de 2025, se emplearon valores simulados basados en una regresión lineal de los datos existentes. Véase Tabla 14.

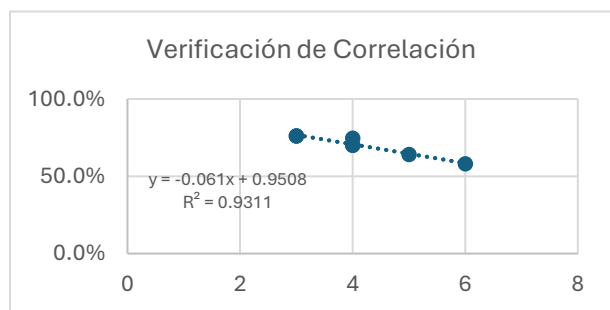


Fig. 10 Resultados del análisis de regresión

Como tercer paso, se usó un artículo como fuente de datos para realizar la simulación de nuestra herramienta de Mantenimiento Autónomo, con el indicador MTBF, la cual indicó que hubo una reducción de 15.42% mensual [5]. Véase Tabla 15.

TABLA 15
VARIABLE DEPENDIENTE E INDEPENDIENTE DE LA HERRAMIENTA
MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

Mes	Errores	MTBF	Mejora
	Humanos (X)	(Y)	Porcentual
ABRIL	4	70.70%	86.10%
MAYO	4.2	69.50%	84.90%
JUNIO	3.8	71.70%	87.10%
JULIO	4	70.60%	86.10%
AGOSTO	4	70.60%	86.00%
SETIEMBRE	4	70.60%	86.00%
OCTUBRE	4	70.60%	86.00%
NOVIEMBRE	3.2	75.70%	91.10%
DICIEMBRE	2.4	80.40%	95.80%
ENERO	1.6	85.30%	100.70%
FEBRERO	0.8	90.20%	105.60%
MARZO	0	95.10%	110.50%

B. Evaluación Económica

De la misma manera se muestra el resumen del beneficio económico de las herramientas, para un periodo de estimación de 12 meses. Véase Tabla 16

TABLA 16
RESUMEN DE BENEFICIO ECONÓMICO

BENEFICIO ECONÓMICO	
Mantenimiento Autónomo	
Pérdida monetaria antes de la mejora	S/ 44 850.00
Pérdida monetaria después de la mejora	S/ 21 125.77
BENEFICIO	S/ 23 724.23

En este estudio, se comenzó por determinar los costos asociados, los cuales abarcan el diseño, la mano de obra, la implementación y la capacitación. Posteriormente, se presentan los beneficios mensuales obtenidos a lo largo de un año gracias

a la simulación de la aplicación de cada herramienta. Finalmente, se obtiene el flujo de caja mensual, tal como se detalla en la Tabla 17.

TABLA 17
FLUJO DE CAJA MENSUAL EXPRESADO EN SOLES

Mes	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
EGRESOS		1	2	3	4	5
Diseño	S/ 560.00					
Mano de Obra	S/ 50.00					
Implementación	2,500.00					
Capacitación	350.00					
TOTAL EGRESOS	3,460.00					
BENEFICIOS						
Beneficio Mantenimiento Autonomo	4,690.18	451.14	392.06	343.67	254.08	
TOTAL BENEFICIOS	S/ -	4,690.18	451.14	392.06	343.67	254.08
FLUJO MENSUAL DE CAJA	-S/ 3,460.00	4,690.18	451.14	392.06	343.67	254.08

Mes	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
EGRESOS	6	7	8	9	10	11	12
Diseño							
Mano de Obra							
Implementación							
Capacitación							
TOTAL EGRESOS	86.00%						
BENEFICIOS							
Beneficio Mantenimiento Autonomo	S/ 213.68	S/ 179.70	S/ 151.13	S/ 127.10	S/ 106.89	S/ 89.90	S/ 75.60
TOTAL BENEFICIOS	213.68	179.70	151.13	127.10	106.89	89.90	75.60
FLUJO MENSUAL DE CAJA	S/ 213.68	S/ 179.70	S/ 151.13	S/ 127.10	S/ 106.89	S/ 89.90	S/ 75.60

TABLA 18
RESUMEN DE INDICADORES ECONÓMICOS

INDICADORES ECONOMICOS	
TMAR	1.5%
VAN	S/ 3,362.78
TIR	54%
B/C	1.97
VAN Beneficios	S/ 6,822.78
VAN Egresos	S/ 3,460.00

En este análisis, se ha utilizado una Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) del 1.5% para evaluar la rentabilidad de la inversión. Según los indicadores financieros en la Tabla 18, el proyecto es rentable ya que los beneficios superan los costos. Y se demuestra que la implementación del Plan Mantenimiento Autónomo tendrá un impacto financiero favorable para la empresa.

C. Discusión de Resultados

La empresa enfrentaba un elevado número de paradas no programadas, el cual presentaba un valor de 74.7%. Para solucionar esto, se implementó el Mantenimiento Autónomo, que mejoró la eficiencia de estas paradas al 95.1%, lo cual demuestra un aumento del MTBF de 20.4%. Este resultado demuestra la importancia de capacitar al personal en el mantenimiento de equipos, ya que esto optimiza su uso y reduce los tiempos de inactividad. De manera similar, un estudio realizado en la planta Electrobas Amazonas Energía demostró los beneficios del Mantenimiento Autónomo, logrando un aumento del MTBF de 15.72% [5]. Comparando ambos casos, se puede observar que, aunque los porcentajes de mejora varían ligeramente, ambos estudios confirman que la capacitación del personal y la implementación del Mantenimiento Autónomo son estrategias efectivas para reducir el tiempo de inactividad en las operaciones. A pesar de los costos iniciales que implica la implementación de esta herramienta, los beneficios a largo plazo para la empresa son claramente significativos.

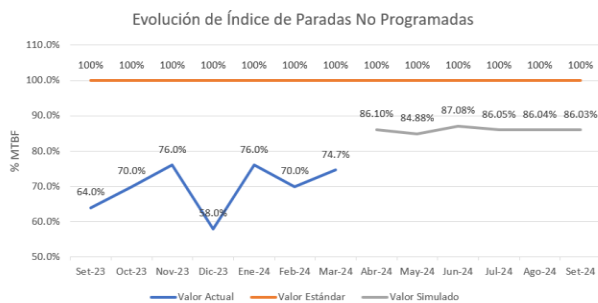


Fig. 11 Evolución del Índice de Paradas No Programadas

V. CONCLUSIONES

En el diagnóstico de la situación actual en el área de Operaciones de la organización se identificó el problema principal, el cual es que se presentan paradas no programadas debido a fallos en la compresora, fugas en las mangueras de hidro-lavadora y problemas eléctricos en las aspiradoras. En la Tabla 1, se muestra que las paradas representaban un tiempo de inactividad total de 810 minutos al mes. En la Tabla 2, se muestra los costos generados por el problema, siendo S/. 7,475.00.

El impacto del diseño del plan de Mantenimiento Autónomo sobre los costos de la microempresa dedicada al rubro de servicio de lavado de vehículos es positivo, según los indicadores económicos de Tabla 18 se obtuvo el costo/beneficio calculado, por cada sol invertido en el proyecto, se adquieren 1.97 soles de beneficio. Además, el VAN obtenido para el proyecto es de S/. 3,362.78, lo que indica también, que el proyecto generará un valor positivo para la empresa. Asimismo, la TIR calculada es del 54%, lo cual muestra que el proyecto es rentable y ofrece un rendimiento superior a la

TMAR establecida en 1.5%. El VAN de los beneficios generados por el proyecto se calcula en S/ 6,822.78; mientras que el VAN de los egresos relacionados con la implementación de la herramienta es de S/ 3,460.00. Esto muestra que los beneficios superan los costos, lo cual es una señal positiva para la viabilidad económica del proyecto.

Se evaluaron dos alternativas: mantenimiento preventivo y mantenimiento autónomo. El mantenimiento autónomo fue seleccionado como la alternativa más adecuada, dado que mostró un mejor balance entre costo, tiempo de implementación, accesibilidad, funcionalidad, usabilidad además de ser más sostenible a largo plazo.

El diseño del Plan de Mantenimiento Autónomo incluyó actividades de limpieza, inspección, monitoreo y control de calidad, junto con la capacitación del personal. El cronograma de implementación se completó en un periodo de nueve semanas, asegurando que todas las actividades fueran realizadas eficientemente.

Se determinó como indicador para esta herramienta: el porcentaje de MTBF. También se definió el estándar de 100% de porcentaje de tiempo medio entre fallos, siendo el actual de 74.7% y se espera obtener un valor simulado de 110.5%. Véase Tabla 15.

Se determinó el impacto económico para la propuesta de diseño sobre el problema identificado. En la Tabla 16, se muestra que para el problema de paradas no programadas y su alternativa de solución Mantenimiento Autónomo, generaría un beneficio económico de S/. 23,724.23 a favor de la empresa.

El presente caso de estudio pretende generar un modelo de estudio replicable, respaldado en los cálculos de regresión lineal, realizados para la simulación de la herramienta de Mantenimiento Autónomo (Figura 10). Los resultados obtenidos indican que este modelo puede generar resultados similares en otras empresas que presenten los mismos desafíos, lo que refuerza su aplicabilidad general, pero para lograrlo se necesita involucrar personal realmente comprometido.

REFERENCIAS

- [1] Alavedra Flores, C., Gastelu Pinedo, Y., Méndez Orellana, G., Minaya Luna, C., Pineda Ocas, B., Prieto Gilio, K., Ríos Mejía, K., & Moreno Rojo, C. (2016). Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013. *Ingeniería Industrial*, 34(034), 11-26. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2016.n034.529>
- [2] Bonifácio, M., & Martins, A. (2021). Results of the application of autonomous maintenance in the mitigation of waste generation: Case study in a footwear company in Jaú/SP. *Gestão y Producción*.
- [3] Carbajal-Martinez, H. & Alcázar-Blanco, W. (2019). Implementación del plan de mantenimiento autónomo para mejorar la disponibilidad de los equipos en una industria gráfica, Lima – 2019.
- [4] Guerra Lopez, E., & Oca Risco, A. (2019). Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería.

- [5] Holanda-Bezerra, U., Fonseca-Junior, M., Cabral-Leite, J., & Reyes-Carvajal, T. (2015). Maintenance management program through the implementation of predictive tools and TPM as a contribution to improving energy efficiency in power plants. SCielo: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v82n194/v82n194a18.pdf>
- [6] Madrid Pita, J. (2021). IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS SMED Y MANTENIMIENTO AUTÓNOMO PARA INCREMENTAR DISPONIBILIDAD EN LA LÍNEA DE ENVASADO 22 EMPRESA AJEPER, PERIODO 2018 – 2019.
- [7] Muñoz-Abella, M. (sf.). *Mantenimiento Industrial*. Universidad Carlos III de Madrid, Área de Ingeniería Mecánica.
- [8] Solarte Arango, D. M. (2023). Estandarización e implementación del pilar mantenimiento autónomo (paso 0-1), pilar mantenimiento planeado (paso 1) y apoyo en procesos de ingeniería de mantenimiento productivo total (TPM).
- [9] Torres-Martinez, J. & Tucno-Alcantara, J. (2019). Propuesta de implementación del Mantenimiento Autónomo para reducir las paradas de máquina no programadas en una empresa metal mecánica.
- [10] Toyos, S. (2023). El secreto del éxito en el TPM: Mantenimiento autónomo. <https://www.fractal.com/es/blog/que-es-el-mantenimiento-autonomo-en-tpm>