

Design of an Autonomous Maintenance Plan and Kanban System for cost reduction in an Environmental Consulting Firm

Valeska Katherine Alvarez Chavez, Bachelor's Degree¹, Lizbeth Arancibia Temoche, Bachelor's Degree², and Rubén Osamu Tsukazan Nakaima, Master Degree³

^{1,2,3} Universidad Privada del Norte, Perú, n00292989@upn.pe, n00250158@upn.pe, ruben.tsukazan@upn.edu.pe

Abstract– This study was conducted to apply engineering methodologies and tools in an environmental consultancy firm to address issues related to poor maintenance management of environmental equipment and inadequate responsiveness to customer demand. To tackle these challenges, two alternative solutions were proposed and evaluated for each problem, with Autonomous Maintenance and the Kanban Methodology being selected as the most viable approaches. The simulation of these solutions demonstrated significant improvements within the company. Regarding the first issue, equipment availability increased from 75% to 91%. Additionally, customer service efficiency improved from 15% to 21%, validating the effectiveness of the implemented tools. Finally, the economic analysis revealed a total benefit of S/ 6,869.74, with an internal rate of return (IRR) of 21%, a net present value (NPV) of S/ 2,891.99, and a benefit-cost (B/C) ratio of 1.73. These results confirm that the applied solutions were both technically and economically viable, leading to substantial improvements in operational processes and customer responsiveness.

Keywords– Autonomous Maintenance, Kanban Methodology, implementation, costs, services.

Diseño de un Plan de Mantenimiento Autónomo y Sistema Kanban para reducción de costos en una Empresa de Consultoría Ambiental

Valeska Katherine Alvarez Chavez, Bachelor's Degree¹, Lizbeth Arancibia Temoche, Bachelor's Degree², and Rubén Osamu Tsukazan Nakaima, Master Degree³

^{1,2,3} Universidad Privada del Norte, Perú, n00292989@upn.pe, n00250158@upn.pe, ruben.tsukazan@upn.edu.pe

Resumen– Este estudio se llevó a cabo con el fin de aplicar metodologías y herramientas de ingeniería en una consultora ambiental para solucionar problemas relacionados con la mala gestión del mantenimiento de equipos medioambientales y la respuesta inadecuada a la demanda de los clientes. Para abordar estos desafíos, se propusieron y evaluaron dos alternativas de solución para cada problema, seleccionando como las más viables el Mantenimiento Autónomo y la Metodología Kanban. La simulación de estas soluciones demostró una mejora significativa en la empresa. Respecto al primer problema, relacionado con la disponibilidad de los equipos, esta aumentó de un 75% a un 91%. Por otro lado, la eficiencia en la atención a los clientes mejoró del 15% al 21%, validando la efectividad de las herramientas implementadas. Finalmente, el análisis económico evidenció un beneficio total de \$ 6,869.74, con una TIR del 21%, un VAN de \$ 2,891.99 y una relación B/C de 1.73. Estos resultados confirman que las soluciones aplicadas fueron viables tanto técnica como económicamente, proporcionando mejoras sustanciales en los procesos y en la respuesta a las necesidades de los clientes.

Palabras clave - Mantenimiento Autónomo, Metodología Kanban, implementación, costos, servicios.

I. INTRODUCCIÓN

A. Realidad problemática

En un entorno globalizado y lleno de competencia las empresas buscan minimizar costos para poder mantenerse competitivas cumpliendo con sus objetivos y metas propuestas [1]. El sector servicios es un componente crucial de la economía global, representando una parte significativa del PBI y del empleo a nivel mundial. Según datos del Banco Mundial, los servicios representan el 53.4% del PIB global, mientras que su participación en el empleo constituye un 51% [2].

En el Perú, se experimentó un crecimiento en las últimas décadas con una tasa de PBI promedio de 5.5% anual entre 2000 a 2019. Sin embargo, la pandemia de COVID-19 tuvo un impacto severo en la economía resultando en una contracción del PIB del 11.1% en 2020. Esta desaceleración afectó los costos operativos de las empresas especialmente de las que ofrecen servicios a empresas masivas de producción, manufactura, entre otros [3]. Por lo tanto, la presión que presentan las empresas para que innoven y mejoren continuamente sus procesos, garantizando la calidad y capacidad de respuesta de sus servicios va de la mano con la inversión que se aplicará a largo plazo.

La empresa de Servicios Ambientales se distingue por su enfoque innovador y su sólido conocimiento técnico en el ámbito del desarrollo sostenible. Ofrece soluciones integrales y

eficaces para abordar los desafíos medioambientales actuales, lo que la posiciona como un aliado invaluable en la protección del medio ambiente. No obstante, tras realizar un análisis interno, se identificaron dos problemas que impactan negativamente en su rentabilidad: altos costos operativos derivados de un manejo ineficiente de los recursos y una deficiente programación de maquinarias.

El primer desafío se identificó en el servicio de proyectos de la empresa donde se relaciona con la falta de operatividad de ciertos equipos medioambientales en las fechas programadas. Esta situación genera tiempos muertos significativos, afectando negativamente la eficiencia operativa y causando insatisfacción en los clientes debido al incumplimiento de los plazos establecidos. Además, se identificaron sobrecostos asociados al alquiler de maquinaria, ascendiendo a \$1,035.18, y un riesgo potencial de fallos en los equipos que podría implicar un costo de \$13,994.06 en mantenimiento correctivo. Un mantenimiento adecuado de los equipos podría mejorar la confianza del cliente, así como las pérdidas de ingresos.

El segundo desafío se centró en el área comercial, donde se identificó una deficiencia en la atención oportuna a las empresas interesadas en cotizar servicios ambientales relacionados con aire y emisiones de gas. Esta falta de respuesta adecuada resultó en la pérdida de potenciales clientes y afectó el crecimiento del negocio. Además, se observó una carencia de planificación adecuada en la gestión de proyectos, lo cual provocó demoras en la programación de visitas técnicas. Durante un año, la empresa perdió 13 cotizaciones, lo que representa una pérdida anual promedio de \$ 6,500, equivalente al 8.3% de los ingresos potenciales. Para abordar este desafío, es fundamental implementar un servicio estandarizado y mejorado, con un flujo de atención eficiente y oportuno.

TABLA I
RESUMEN DE COSTO DE PROBLEMAS

Problema	Costo
Gestión ineficiente de mantenimiento	\$15,029.24
Ineficiente capacidad de respuesta ante la demanda de clientes	\$/6,500

La presente investigación está organizada en 5 secciones de las cuales la sección II presenta los métodos y materiales utilizados para la implementación de las soluciones propuestas. En la Sección III, se desarrolla un análisis detallado de las soluciones adoptadas, incluyendo el Plan de Mantenimiento Autónomo y el Sistema Kanban. La Sección IV se enfoca en los

resultados obtenidos mediante simulaciones y evaluaciones económicas. Finalmente, la Sección V resume las conclusiones y ofrece recomendaciones, destacando los puntos principales de la investigación y proponiendo futuras áreas de mejora para la empresa.

La referencia [4] analiza la implementación de un plan de mantenimiento autónomo para mejorar la disponibilidad del sistema de refrigeración industrial en una empresa. El estudio solucionó un problema inicial de baja disponibilidad del 87%, logrando incrementarla a un 18% mediante la incorporación de los operadores en tareas rutinarias y preventivas de mantenimiento. Además, se registraron mejoras cuantitativas, como la reducción del tiempo medio de reparación (MTTR) y el aumento del tiempo medio entre fallos (MTBF), así como cualitativas, reflejadas en una mayor participación y moral de los operadores.

La referencia [5] desarrolla la implementación de un plan de mantenimiento autónomo que incluye actividades como limpieza, lubricación, control autónomo en máquinas CNC, entre otras. Este enfoque aumentó permitió el índice de eficiencia global (OEE) en un 27,46%, mejorando tanto la disponibilidad como la efectividad del equipo. Esto genera un impacto positivo, ya que permite a la empresa cumplir con los plazos de producción, reducir los tiempos de inactividad y optimizar el uso de recursos, lo que resulta en una mejora significativa en la rentabilidad y la satisfacción del cliente

La referencia [6] expone la implementación de un plan de mantenimiento autónomo para mejorar la disponibilidad de los equipos Trackless en una operación minera. El estudio tuvo como objetivo el incremento de disponibilidad, logrando un aumento del 75% a más del 88% gracias a la participación de los operadores en tareas de cuidado y reporte de fallas. Esto resalta la importancia del factor humano en la ejecución eficaz del mantenimiento, ya que el compromiso y la capacitación del personal resultan clave para optimizar la operatividad de los equipos y garantizar la sostenibilidad.

Por otro lado, en la referencia [7] describe la implementación de la metodología Kanban en el proceso de emisión de seguros de caución en la compañía de seguros Avla Perú. El objetivo principal era reducir el tiempo de atención de solicitudes para atender a más clientes y generar un flujo de procedimientos más eficiente de manera colaborativa. La implementación de Kanban, tanto de forma colaborativa online como de suscripción para la empresa en general, permitió reducir el tiempo de atención en un 5%, mejorando así la eficiencia y rapidez del proceso. Los resultados demostraron que la herramienta fue conveniente, ya que se aplicó bajo un presupuesto bajo de implementación, personalización y mantenimiento, optimización.

La referencia [8] se centra en la aplicación de la herramienta Kanban para mejorar la productividad en las operaciones de mantenimiento de una empresa de servicios navales. Antes de la implementación, la eficiencia operativa de

la empresa era del 86,44%, debido a los tiempos de espera y transporte asociados al abastecimiento de materiales y disponibilidad de equipos. Con la introducción de Kanban, se estableció una programación semanal en un tablero, lo que facilitó el seguimiento y control de las actividades del personal. Esta herramienta permitió estandarizar los procesos en todas las etapas del servicio, eliminando desperdicios y mejorando la gestión del tiempo. Como resultado, la eficiencia operativa aumentó a 94,46%, reflejando una mejora significativa de un 8,02% en la productividad. Esta mejora impactó positivamente en la empresa, optimizando el uso de los recursos, reduciendo tiempos de espera y aumentando la capacidad para atender a más clientes, lo que se tradujo en una operación más ágil y eficiente.

La referencia [9] aborda la implementación de la metodología Kanban para mejorar la productividad en una empresa de confección, enfocándose en la optimización del proceso de elaboración de prendas piloto. Antes de su aplicación, la empresa enfrentaba tiempos largos de producción y una alta tasa de producto no conforme. Tras la implementación de Kanban, se observó una reducción del 6% en el tiempo de producción de la prenda piloto, lo que impactó positivamente en la entrega al cliente, mejorando la flexibilidad y confiabilidad del proceso. Además, se redujo hasta un 50% el producto no conforme, lo que contribuyó a la mejora de la calidad y redujo la necesidad de reprocesos. La aplicación de Kanban también permitió la supervisión constante de las actividades diarias de los operadores, estandarizando los tiempos y eliminando actividades innecesarias.

B. Problema

¿Cuál es el impacto del diseño de un plan de mantenimiento autónomo y sistema Kanban sobre los costos de la consultora ambiental?

C. Objetivo

Determinar el impacto del diseño de un plan de mantenimiento autónomo, y sistema Kanban sobre los costos de la consultora Ambiental.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Diseño de la investigación

Este estudio se ha llevado a cabo bajo una metodología preexperimental, centrandó su análisis en una consultora ambiental como unidad de estudio.

B. Alternativas de solución e identificación de restricciones

Para abordar los problemas mencionados anteriormente, se propusieron dos posibles soluciones. Estas fueron evaluadas utilizando restricciones realistas específicas de la industria, que ayudaron a determinar la opción más adecuada para resolver el primer problema detectado referente a la falta de un plan de mantenimiento. Para obtener estos resultados, se utilizó una metodología basada en encuestas y entrevistas con operarios y personal clave, además de observación directa de los procesos.

Las restricciones fueron evaluadas según costos, tiempo, recursos disponibles y la capacidad de adaptación de las herramientas a las necesidades de la empresa.

TABLA II
CUADRO COMPARATIVO DE HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DEFICIENTE DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS

Restricciones	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Autónomo
Económica	S/ 3,677.42	S/ 1,458.25
Tiempo	12 días	19 días
Accesibilidad	88%	89%
Funcionabilidad	93%	95%
Usabilidad	99%	77%
Adaptabilidad	97%	100%
Sostenibilidad	98%	87%

El mantenimiento preventivo se basa en intervenciones programadas para evitar fallas, pero genera costos por tareas innecesarias. En contraste, el mantenimiento autónomo permite a los operarios detectar y solucionar fallos tempranos, lo que mejora la eficiencia y reduce tiempos muertos [10]. Este enfoque resulta más adecuado para maximizar la disponibilidad y minimizar costos operativos. (Véase Tabla II). El sistema *Kanban* es un enfoque visual para la gestión de flujo de trabajo que optimiza la producción mediante la organización de tareas en tarjetas, lo que permite un control eficiente de inventarios y tiempos de entrega. En contraste, el software CMR que no está directamente enfocado en la optimización de procesos internos como *Kanban* [11]. Para la evaluación de estas herramientas, se aplicaron encuestas masivas con el fin de obtener información necesaria que permitiría la aplicación de dichas herramientas. Una vez generada las encuestas se tabulo los resultados en base a las siete restricciones realizando la comparativa entre las dos herramientas propuestas por cada problema detectado en la empresa. Finalmente se optaron por las soluciones más acordes y flexibles para su implementación. Por lo tanto, *Kanban* resulta más adecuado para mejorar la eficiencia operativa y reducir tiempos muertos (Véase Tabla III).

TABLA III
CUADRO COMPARATIVO DE HERRAMIENTAS PARA LA INEFICIENTE CAPACIDAD DE RESPUESTA

Restricciones	Kanban	Software CRM
Económica	S/.712.50	S/.1,439.17
Tiempo	15 días	21 días
Accesibilidad	92%	84%
Funcionabilidad	92%	84%
Usabilidad	92%	76%
Adaptabilidad	96%	80%
Sostenibilidad	88%	80%

C. Selección de la mejor alternativa

En base al análisis previo a través de un análisis comparativo de ambas propuestas de mejora para cada

problema identificado, se seleccionaron las siguientes soluciones (Véase Tabla IV)

TABLA IV
SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

N°	Problemas Identificados	Alternativa Seleccionada
1	Gestión deficiente de mantenimiento en equipos medioambientales	Mantenimiento Autónomo
2	Ineficiente capacidad de respuesta ante la demanda de clientes	Kanban

Para el primer problema se decidió aplicar el mantenimiento autónomo para evitar la inoperatividad de los equipos durante las inspecciones medioambientales. El objetivo final es evitar el alquiler de equipos ocasionando costos inesperados para el cumplimiento de los proyectos y detectar posibles fallas antes que se conviertan en fallas graves. El segundo problema se decidió la aplicar el sistema *Kanban* de esta forma permitirá mejorar el flujo de atención de los clientes interesados en cotizar los servicios que ofrece la empresa y convertir las consultas en servicios y proyectos potenciales. El objetivo de la implementación de esta metodología en el área comercial resulta útil para mejorar el seguimiento de solicitudes y etapas de los proyectos.

III. DISEÑO

A. Mantenimiento Autónomo

Se aplicará con el objetivo de reducir la frecuencia de fallos en los equipos utilizados para brindar el servicio. Previo al inicio de la implementación, es necesario diseñar un programa con los pasos adecuados a seguir para una implementación efectiva (Véase Tabla V).

TABLA V
ETAPAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

Etapas	Descripción
Pre- implementación	Desarrollar un cronograma de reunión según el tipo de maquinaria por semana.
	Crear un equipo responsable de la implementación del mantenimiento autónomo.
	Recolectar datos sobre los equipos
Implementación	Realizar el programa de mantenimiento autónomo relacionado con la limpieza, calibración, lubricación e inspección.
Post implementación	Elaborar un plan de reuniones programadas.

Pre-implementación: Esta sección detalla las actividades previas para iniciar el plan de mejora con el mantenimiento autónomo. Se comienza con la confirmación y compromiso inicial de la empresa (Véase Figura 1).

MAQUINA EXAMINADA	S1	S2	S3	S4	S5
Analizadores de gases	X				
Sensores de pH		X			
Perforadoras de suelos			X		
Bombas de muestreo de aire				X	
Monitores de partículas				X	
Sondas multiparamétricas					X
Sismógrafos					X

Fig. 1 Cronograma según el tipo de maquinaria a examinar por semana

Sucesivamente se realiza la creación del equipo a cargo para la implementación y seguimiento de la mejora de los equipos (Véase Tabla VI).

TABLA VI
CONFORMACIÓN DE EQUIPOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO AUTÓNOMO.

Nº	Cargo	Rol	Responsabilidad
1	Jefe de Mantenimiento	Líder	Supervisión general
2	Ingeniero de Mantenimiento	Especialista Técnico	Diagnóstico de equipos
3	Supervisor de Operaciones	Facilitador de Área	Coordinación con operadores
4	Operador de Maquinaria	Participante Clave	Ejecución de actividades de mantenimiento
5	Responsable de Mejora Continua	Soporte Metodología	Aplicación de herramientas lean
6	Técnico de Seguridad y Medio Ambiente	Asesor SST	Asegurar cumplimiento de protocolos

Implementación: Durante esta fase, se detallan las acciones necesarias para la correcta implementación de mantenimiento por máquina y trabajador. Se definen inicialmente las tareas de mantenimiento que los empleados deben realizar en los equipos e instrumentos (ver Tabla VII).

TABLA VII
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO POR MAQUINA Y TRABAJADOR

Nº	Maquina	Limpieza Regular	Calibración	Lubricación	Inspección	Encargado
1	Muestreador de partículas	X	X		X	Operador 1
2	Isostack	X	X		X	Operador 1
3	Medidor de Campos Electromagnéticos	X	X		X	Operador 1
4	Termohigrómetro	X	X		X	Operador 2
5	Phmetro	X	X		X	Operador 2
6	Analizador de aire	X	X		X	Operador 2
7	Tren de Epa 6 (Caja con	X	X		X	Operador 3

	impngers pequeños)				
8	Opacmetro	X	X		X
9	Estación Meteorológica	X	X		X
10	Tornillo de banco	X		X	X
11	Multímetro/Kit eléctrico	X		X	X
12	Detector de tensión/Kit eléctrico	X	X		X
13	Comprobador de tensión y corriente	X	X		X

Así mismo en la Figura 2 se muestra el procedimiento de mantenimiento de uno de los equipos más requeridos llamado "Analizador de Gases".

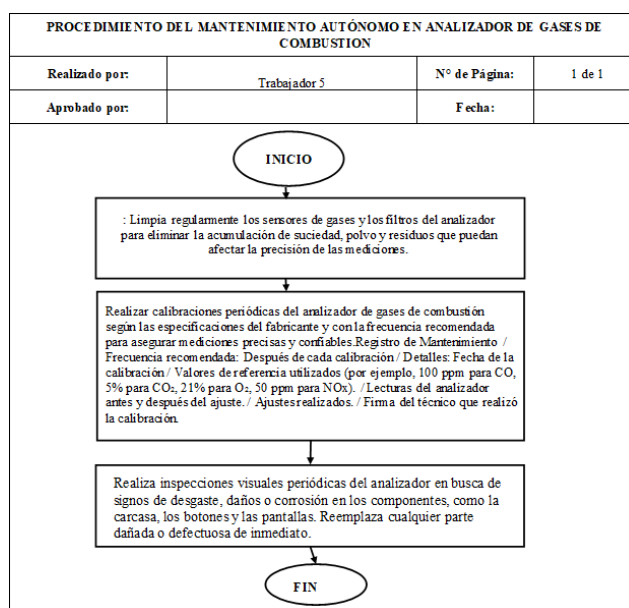


Fig. 2 Procedimiento de mantenimiento autónomo para la máquina de analizador de gases de combustión

Post implementación. Después de identificar las tareas de mantenimiento para cada máquina, se establece una checklist que los trabajadores deben seguir y un plan de reuniones periódicas. Asimismo, se busca garantizar el correcto funcionamiento de los equipos, como inspección, limpieza, calibración y lubricación. Por lo que el siguiente formato considera la formación continua del personal y la actualización tecnológica, fortaleciendo así la prevención de fallos. Su aplicación contribuye a una mayor eficiencia operativa y compromiso del equipo. Luego de implementarlo, es recomendable establecer reuniones periódicas para evaluar

resultados y mejorar el proceso continuamente. (Véase Figura 3)

Fig.3 Check list para el seguimiento de la aplicación del mantenimiento

CHECK LIST DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO AUTONOMO				
ACTIVIDADES	Frecuencia		Ejecutado	
	Diario	Semanal	SI	NO
Inspección visual de los instrumentos de operación				
Limpieza regular de los instrumentos				
Verificación de la calibración de los instrumentos				
Lubricación según sea necesario				
Identificación y reporte de cualquier anomalía o defecto				
Registro de las actividades de mantenimiento realizadas				
Capacitación continua sobre el manejo y cuidado de los instrumentos				
Evaluación periódica del desempeño de los instrumentos				
Actualización de software y firmware según las recomendaciones del fabricante				
Cumplimiento de los procedimientos de seguridad al operar los instrumentos				
OBSERVACIONES:				

autónomo.

Para abordar las averías y los imprevistos de los equipos medioambientales, se consideró un valor estándar de 100% como ideal para el indicador de disponibilidad de equipos. Según los datos históricos proporcionados por la empresa, el valor actual de este indicador es de 70%. Por lo tanto, se concluye que la implementación del mantenimiento autónomo podría incrementar mensualmente el porcentaje de disponibilidad (Véase Tabla VII).

TABLA VIII
INDICADOR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO AUTONOMO

Problema	Estándar	Indicador	Formula	V.A.	V.E.
Gestión deficiente de mantenimiento en equipos	Implementación de mantenimiento o autónomo herramientas neumáticas en una línea de montaje (2021)	% Disponibilidad en equipos	$%D = \frac{[(TTO - TTP) / (TTO)] * 100}{100}$	70%	100%

B. Sistema Kanban

Se aplicó en el área comercial con el objetivo de mejorar la capacidad de respuesta ante la demanda de consultas por los servicios y/o cotizaciones de parte de los clientes y de esta forma pasen de prospectos a potenciales clientes. Esta metodología se dividió en tres etapas para su aplicación (Véase Tabla IX).

TABLA IX
ETAPAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA KANBAN

Etapas	Descripción
Pre-implementación	Anuncio de la implementación del sistema Kanban en el área comercial
	Validación del proceso actual de atención

Implementación	Diseñar y configurar el tablero Kanban
Post implementación	Asegurar que todos los empleados están capacitados y preparados.

Pre-implementación. Como primera fase se informó al área comercial la implementación de la constitución de la metodología Kanban (Véase Figura 4).

Actividad	Responsable	Fecha Inicio	Duración (días)	Fecha Fin
Anuncio oficial de la implementación del sistema Kanban	RRHH	9/10/2024	0.08	9/10/2024
Revisión y mapeo del proceso actual de atención	Supervisor Comercial	30/10/2024	0.17	30/10/2024
Entrevistas con personal clave del área	Analista de procesos	3/11/2024	1	4/11/2024
Identificación de cuellos de botella y puntos críticos	Equipo de mejora continua	9/11/2024	1	10/11/2024
Definición de objetivos SMART de la implementación de Kanban	Gerencia Comercial	25/11/2024	0.13	25/11/2024

Fig.4 Cronograma para la Implementación del tablero Kanban

Posteriormente se analizó el proceso actual de clientes que realizan las consultas para la cotización de un servicio ambiental (Véase Figura 5).

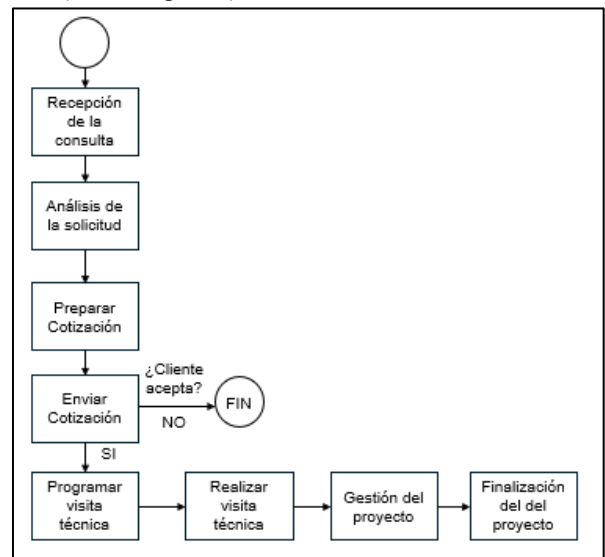


Fig.5 Proceso de cotización de un servicio

Implementación. Se elaboró el diseño del tablero Kanban con diez columnas que va desde Backlog, análisis en curso, que describir las etapas del flujo de trabajo en la implementación de tarjetas Kanban dentro de un proceso de gestión de proyectos o servicios. Esta metodología visual

permite organizar y controlar de manera eficiente las actividades, facilitando el seguimiento, priorización y asignación de tareas. Al implementar Kanban, se busca mejorar la transparencia, reducir los cuellos de botella y optimizar el tiempo de respuesta a los clientes, asegurando un desarrollo fluido y ordenado de cada proyecto o requerimiento (Véase Figura 6).

Nº	Nombre de la Columna	Detalle
1	Backlog	Todas las nuevas solicitudes de cotización y consultas entran aquí. El responsable debe revisar y mover a la siguiente columna.
2	Análisis en Curso	Solicitudes que están siendo analizadas para determinar requerimientos.
3	Cotización en Proceso	Elaboración de la cotización basada en los requerimientos del cliente.
4	Revisión/Aprobación	Cotizaciones listas para ser revisadas y aprobadas por el responsable autorizado.
5	Cotización Enviada	Cotizaciones enviadas al cliente y a la espera de su respuesta.
6	Seguimiento	Realizar seguimiento activo con el cliente para resolver dudas y obtener su decisión.
7	Visita Técnica Programada	Programar la visita técnica una vez aceptada la cotización.
8	Visita Técnica Realizada	Documentar resultados de la visita técnica.
9	Proyecto en Curso	Gestión activa del proyecto de acuerdo a lo planificado.
10	Proyecto Finalizado	Proyectos completados.

Fig.6 Estructura del tablero Kanban

El diseño de las tarjetas Kanban cuenta con un formato específico para usarse en cada columna establecido del tablero, así mismo el llenado se realizará en base a las fases del proyecto que va desde la recepción de la solicitud, inicio del servicio, revisión del servicio, aprobación del proyecto y finalización. Finalmente cuenta con colores establecidos para brindar la priorización necesaria las cuales se dividen en alta prioridad (rojo) mediana prioridad (amarillo) y baja prioridad (verde). Véase los ejemplos desde la Figura 7a la 11.

BACKLOG			
Solicitud de cotización de la empresa "XXX"			
Fecha de Recepción:	Teléfono:	Etiqueta	Tipo de servicio
Nombre del Contacto:			
Correo Electrónico:			
Descripción del Servicio Solicitado:			
Notas Adicionales:			

Fig. 7 Diseño de tarjeta para el proceso backlog

COTIZACIÓN EN PROCESO		
Preparación de cotización para la empresa "XXX"		
Fecha de Preparación:	Etiqueta	Prioridad
Responsable de la cotización:		
Correo Electrónico:		
Componentes de la cotización:		
Notas del Reponsable:		

Fig. 8 Diseño de tarjeta para una cotización en proceso

VISITA TECNICA PROGRAMADA		
Vista técnica programada "XXX"		
Fecha de Preparación:	Etiqueta	Prioridad
Responsable de la programación:		
Correo Electrónico:		
Observaciones de la visita:		
Notas del Reponsable:		

Fig. 9 Diseño de tarjeta para visita técnica programada

VISITA TECNICA REALIZADA			
Vista técnica programada "XXX"			
Fecha de visita:	Hora de visita:	Etiqueta	Tipo de servicio
Tecnico asignado:			
Correo Electrónico:			
Objetivo de la visita:			
Notas Adicionales:			

Fig. 10 Diseño de tarjeta para visita técnica realizada

PROYECTO FINALIZADO			
Proyecto finalizado para "XXX"			
Fecha de finalización:	Teléfono	Hora de visita:	Etiqueta
Responsable cierre:			
Correo Electrónico:			
Resumen del proyecto:			

Fig. 11 Diseño de tarjeta para un proyecto finalizado

Post Implementación. Después de la creación del tablero se elaboró un check list (Véase Figura 12) el cual permitirá validar el cumplimiento de las actividades asignadas y asegurar la correcta utilización del tablero. Asimismo, se desarrolló un plan de capacitación dirigido a todos los colaboradores involucrados, con el objetivo de garantizar el entendimiento de las funcionalidades y beneficios del sistema implementado.

Checklist para la implementación Kanban	
Marca con una "x" las actividades que se cumplieron correctamente:	Fecha / /
Comprender correctamente el proceso actual de ineficiente capacidad de respuesta ante la demanda de clientes	
Identificar y documentar todas las etapas de la herramienta Kanban del trabajo actual	
Diseñar un tablero Kanban que refleje las etapas indentificadas	
Asegurar que todos los empleados están capacitados y preparados	
Realizar una evaluación inicial del desempeño del sistema Kanban	
Asegurar la coordinación entre diferentes departamentos afectados	
Ajustar metas y objetivos según los resultados obtenidos	
Revisión de KPIs y Metas	
Realizar seguimiento y ajustes periodicos del proceso Kanban para mejorar su eficiencia	

Fig. 12 Check list del tablero Kanban

Del mismo modo para evidenciar la mejora de atención de los clientes se definió como valor estándar un 100% como ideal para el indicador de tiempo de respuesta a consultas y solicitudes de cotización. Según el dato histórico brindado por la empresa el valor actual es de un 15%. Por lo que se proyecta

que la implementación de la metodología Kanban podría incrementar el número de cotizaciones para la empresa (ver Tabla X).

TABLA X
INDICADOR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA KANBAN

Problema	Estándar	Indicador	Formula	V.A.	V.E.
Falta de capacidad de respuestas ante la demanda de clientes	La organización debe asegurarse de que tiene la capacidad de cumplir los requisitos para los productos y servicios (ISO,2015)	Tiempo de Respuesta a Consultas y Solicitudes de Cotización	Tasa de Conversión= (Número de Cotizaciones Aceptadas/Número de Cotizaciones Enviadas) ×100	15%	100%

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Simulación del Mantenimiento Autónomo

La aplicación de la simulación se realizó mediante el uso de la regresión lineal aplicando variables las X y Y que influyen directamente al problema (Véase Tabla XI)

TABLA XI
VARIABLES DEL MANTENIMIENTO AUTONOMO

Variable Dependiente	Variable Independiente
Y: %Disponibilidad	X: Imprevistos

El modelo matemático arroja un valor de 0.79 el cual indica una correlación alta donde las variables presentan correlación y causalidad (Véase Figura 13).

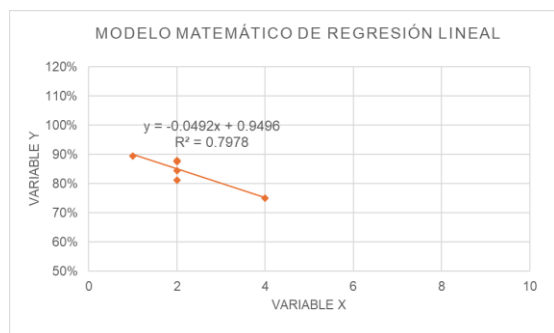


Fig. 13 Modelo matemático de la simulación del mantenimiento autónomo.

Seguidamente utilizando los datos históricos de la empresa en base a los imprevistos presentados durante un año se aplicó la simulación con las mejoras obtenidos en otras publicaciones aplicando la misma herramienta lo cual arroja la siguiente mejora en la disponibilidad de los equipos de un 75% a 91% (Véase Tabla XII).

TABLA XII
RESUMEN DEL ANALISIS DE REGRESIÓN CON MEJORA PORCENTUAL

Meses	Imprevistos (X)	% Disponibilidad (Y)	Mejora Porcentual
Julio	1.8	89%	98%
Agosto	1.8	89%	98%
Septiembre	1.7	89%	98%
Octubre	1.7	90%	99%
Noviembre	1.6	90%	99%
Diciembre	1.7	89%	99%

B. Simulación del Sistema Kanban

La aplicación de la simulación se realizó mediante el uso de la regresión lineal aplicando variables las X y Y que influyen directamente al problema (Véase Tabla XIII).

TABLA XIII
VARIABLES DEL SISTEMA KANBAN

Variable Dependiente	Variable Independiente
Y: Cotizaciones Enviadas	X: Número de clientes

El modelo matemático arroja un valor de 0.79 el cual indica una correlación alta donde las variables presentan correlación y causalidad (Véase Figura 14).

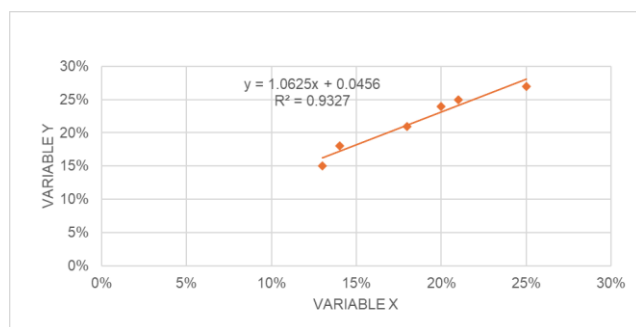


Fig. 14 Modelo matemático de la simulación del Sistema Kanban

Seguidamente utilizando los datos históricos de la empresa en base a los imprevistos presentados durante un año se aplicó la simulación con las mejoras obtenidos en otras publicaciones aplicando la misma herramienta lo cual arroja la siguiente mejora en la disponibilidad de los equipos de un 15% a 23% (Véase Tabla XIV)

TABLA XIV
RESUMEN DEL ANALISIS DE REGRESIÓN CON MEJORA
PORCENTUAL

	Meses	N°		Mejora Porcentual
		Clientes (X)	Cotizaciones Enviadas (Y)	
DATA HISTORICA	Enero	0.3	27%	
	Febrero	0.2	21%	
	Marzo	0.2	23%	
	Abril	0.1	19%	
	Mayo	0.2	18%	
	Junio	0.1	15%	
PRONOSTICO SIMULADO	Julio	0.2	23%	73%
	Agosto	0.2	22%	72%
	Septiembre	0.2	21%	71%
	Octubre	0.2	22%	72%
	Noviembre	0.2	21%	71%
	Diciembre	0.2	22%	72%

C. Evaluación económica

Para la representación de la evaluación económica, primero se detallan las inversiones que se realizaron para cada propuesta implementada, teniendo en cuenta el diseño, mano de obra, implementación y capacitación en un periodo de 12 meses (Véase Tabla XV).

TABLA XV
EGRESOS EXPRESADOS EN DÓLARES

EGRESOS	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Diseño	\$1186.3					
Mano de Obra	\$95					
Implementación	\$2170.8					
Capacitación	\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75
TOTAL EGRESOS	\$3977.8	\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75
\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75	\$525.75

Se detallan los beneficios obtenidos luego de la implementación de las dos herramientas en un periodo de doce meses. (Véase Tabla XVI).

TABLA XVI
BENEFICIOS EXPRESADOS EN SOLES

BENEFICIOS	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Beneficio Mantenimiento Autónomo		\$1130.4	\$926.93	\$760.08	\$623.27	\$511.08
Beneficio Kanban		\$1180.83	\$79.95	\$65.56	\$53.76	\$44.08
TOTAL BENEFICIOS	0	\$2311.23	\$1006.88	\$825.64	\$677.03	\$555.16

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
\$419.08	\$343.65	\$281.79	\$231.07	\$189.48	\$155.37	\$127.40
\$36.15	\$29.64	\$24.31	\$19.93	\$16.34	\$13.40	\$10.99
\$455.23	\$373.29	\$306.10	\$251.00	\$205.82	\$168.77	\$138.39

La simulación de la aplicación de las herramientas en base a la evaluación económica destaca que su implementación es viable logrando un TMAR de 1.5%, un VAN de \$ 2,891.99, una TIR de 21%, un B/C de 1.73, un VAN Beneficios de \$ 6,869.74 y un VAN Egresos de \$ 3,977.75 (Véase Tabla XVII)

TABLA XVII
RESUMEN DE INDICADORES ECONOMICOS

INDICADORES ECONOMICOS	
TMAR	1.5%
VAN	\$ 2,891.99
TIR	21%
B/C	1.73
VAN Beneficios	\$ 6,869.74
VAN Egresos	\$ 3,977.75

D. Discusión de Resultados

Para el primer problema, referente a la gestión deficiente de mantenimiento en equipos medioambientales. Mediante el uso de la regresión lineal, se determinó la correlación entre el % de disponibilidad y el número de imprevistos. Para el cálculo se aplicó las fórmulas establecidas del Sistema de indicadores de Gestión (2021), con una mejora porcentual al 18% tal como indica el autor de la referencia [6]. Se procedió a simular teniendo en cuenta las condiciones actuales, logrando obtener un valor de 91% en los últimos meses, manteniéndose constante hasta diciembre. Implementar un mantenimiento autónomo será beneficioso, ya que permitirá tener una disponibilidad más constante y aumentará con el tiempo a medida que se implemente (Ver Figura 15).

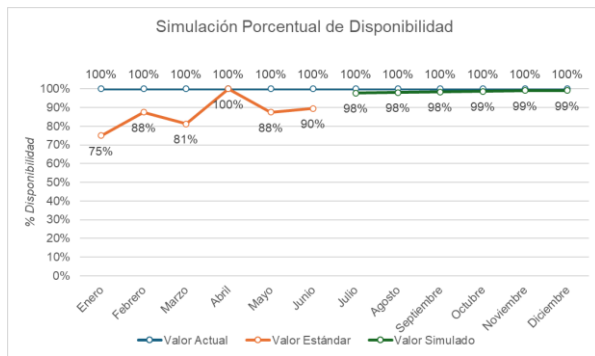


Fig. 15 Simulación % disponibilidad según N° de imprevistos

Para el segundo problema, la organización enfrentaba una demora significativa y una respuesta ineficiente ante la demanda de los clientes. A partir de los datos históricos y la información recopilada, se cuantificó el indicador de porcentaje de clientes cotizados, el cual reflejaba un valor actual del 15% para la consultora ambiental. mediante el uso del método de regresión lineal se pudo determinar causalidad y correlación entre el % de número de clientes y el % clientes cotizados, y se procedió a simular basándonos en los datos históricos brindados por la empresa. Para el cálculo se aplicó los términos establecidos conforme a los estándares de la Norma Internacional ISO [12] (Ver Figura 16).

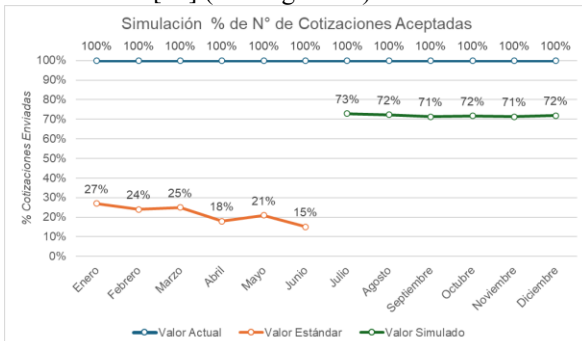


Fig. 16 Simulación % número cotizaciones aceptadas entre número de cotizaciones enviadas

V. CONCLUSIONES

- Se evaluó el impacto de las herramientas de Ingeniería, como el Mantenimiento Autónomo y Sistema Kanban en los costos de la empresa de Servicios Ambientales., logrando un resultado positivo con un ahorro promedio de 12 meses de \$. 1862.80.
- Para abordar los problemas, se decidió evaluar las dos soluciones más convenientes para cada uno, considerando la Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Autónomo, Kanban y CRM, Estas alternativas fueron sometidas a un análisis considerando restricciones como el costo total de implementación, la duración del tiempo, el nivel de accesibilidad, la funcionalidad, la usabilidad, la sostenibilidad y la adaptabilidad al cambio. Basado en

esta evaluación, se seleccionaron las opciones más adecuadas para el contexto de la empresa, específicamente el Mantenimiento Autónomo, sistema Kanban.

- La implementación del mantenimiento autónomo, la empresa aumentó la disponibilidad de equipos del 75% al 91%, generando beneficios económicos significativos y mejorando la eficiencia operativa al mitigar paros y tiempos muertos.
- La implementación de Kanban para gestionar la demanda mejoró la eficiencia del 15% al 23%, destacando su capacidad para satisfacer las necesidades de los clientes y establecer un marco robusto para la innovación continua dentro de la consultora ambiental.

REFERENCIAS

- [1] Banco Central de Reserva del Perú. (2021). "Reporte de Inflación: Panorama Actual y Proyecciones Macroeconómicas 2021-2022." Retrieved from bcrp.gob.pe.
- [2] Cueva-Rodríguez, L., & Jácome-Estrella, H. D. J. (2024). Productividad laboral del sector de servicios y crecimiento económico en Ecuador. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 55(216), 113-139.
- [3] Escudero, A. (2023). *Aplicación De Técnicas Lean En Una Empresa De Servicios: Mejora De La Eficiencia Y Calidad Operativa*. [Tesis de Pregrado, Universidad Miguel Hernández De Elche]. Repositorio Universidad Miguel Hernández De Elche.
- [4] Condori, H. (2017). *Aplicación del mantenimiento autónomo para mejorar el índice de eficiencia global de máquinas CNC del área de producción de la empresa Mimco S.A.C. Callao 2017* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].
- [5] Hidalgo, A. (2021). *Propuesta de mejora en el proceso de emisión de seguros de caución a través de una herramienta Kanban en la compañía de seguros Avla Perú*. [Tesis de Pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Institucional de la Universidad San Ignacio de Loyola.
- [6] Nunura, J. (2018). *Plan de mantenimiento autónomo para mejorar la disponibilidad del sistema de refrigeración industrial de la empresa LAIVE S.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
- [7] Organización Internacional de Normalización. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos* (Norma núm. 9001). http://www.congresoson.gob.mx:81/Content/ISO/documentos/ISO_9001_2015.pdf
- [8] Romero Palomino, A. M., Trejo Celestino, J. R., & Vargas Sagástegui, J. D. (2023). Uso del Lean Service para incrementar la productividad de las operaciones de mantenimiento en una empresa de servicios navales. *INGnosis*, 9(1), 97–108. <https://doi.org/10.18050/ingnosis.v9i1.3175>
- [9] Begum, S., Akash, M. A. S., Khan, M. S., & Bhuiyan, M. R. (2024). A FRAMEWORK FOR LEAN MANUFACTURING IMPLEMENTATION IN THE TEXTILE INDUSTRY: A RESEARCH STUDY. *GLOBAL MAINSTREAM JOURNAL*, 1(4), 17–31. <https://doi.org/10.62304/ijse.v1i04.181>
- [10] Calmet, M., Magagna B. (2024). *Aplicación de Mantenimiento Autónomo y Preventivo en una empresa del sector alimenticio para mejorar la eficiencia del proceso productivo de granos de arroz*. [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- [11] Luna, A. (2024). *Aplicación De Herramientas Lean Manufacturing Para Incrementar La Productividad En La Empresa De Calzados Rebaza, Trujillo - 2024*. [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional de la Universidad Privada del Norte.

- [12] Medina, A.; Nogueira D.; Hernández-Nariño, A. y Comas, R. Procedimiento para la gestión por procesos: métodos y herramientas de apoyo. *Revista Chilena de Ingeniería*, 27(2), 330-340. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000200328>