

Improvement plan based on industrial engineering tools to reduce cost overruns in a heavy machinery rental company

Marilyn Brisly Cadillo-Estrella¹, Oswald Guissepi Chacón-Mariños¹, Ingrid Giomar Flores-Anderson¹, María Sofía Carolina Muñoz-Luna-Victoria¹, Anghela Brisset Viar-Narro¹ y Teodoro Geldres-Marchena², Master's degree in Industrial Engineering

¹ Engineering students from Universidad Privada del Norte, Peru, marilyn69estrella@outlook.com, ing.oswaldcm@hotmail.com, giomarflores30@gmail.com, carolinamlv213@gmail.com, anghela.viar.narro@gmail.com

² Engineering professor at the Universidad Privada del Norte, Peru, teodoro.geldres@upn.pe

Abstract– This work was prepared in a heavy machinery rental micro-company, where the economic losses generated in the company in the last year were determined in order to then propose an improvement plan to reduce said cost overruns by at least 25%. The improvement proposal designed used the 5S methodology industrial engineering tools, including plant distribution, ABC classification and linear warehouse distribution; Materials Requirement Planning (MRP) and performance indicators. The implementation of the proposal was simulated in the ProModel software and in the Monte Carlo simulation model. It was determined that the improvement plan reduces the cost overruns to S/11,314.15, which means a reduction of 55.44%, that means that the hypothesis was verified. Likewise, the economic improvement proposal was analyzed where an IRR of 25%, a NPV of S/6,157.00 and a B/C of 1.65 were obtained, which indicates that the implementation of the proposed improvement plan is profitable for the company.

Keywords– machinery, industrial engineering, warehouse, materials, maintenance.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Plan de mejora basado en herramientas de ingeniería industrial para disminuir sobrecostos en una empresa de alquiler de maquinaria pesada

Marilyn Brisly Cadillo-Estrella¹, Oswald Guissepi Chacón-Mariños¹, Ingrid Giomar Flores-Anderson¹, María Sofía Carolina Muñoz-Luna-Victoria¹, Anghela Brisset Viar-Narro¹ y Teodoro Geldres-Marchena², Maestro en Ingeniería Industrial

¹ Estudiantes de ingeniería de la Universidad Privada del Norte, Perú, marilyn69estrella@outlook.com, ing.oswaldcm@hotmail.com, giomarflores30@gmail.com, carolinamlv213@gmail.com, anghela.viar.narro@gmail.com

² Docente de ingeniería de la Universidad Privada del Norte, Perú, teodoro.geldres@upn.pe

Resumen– El presente trabajo fue elaborado en una microempresa de alquiler de maquinaria pesada, donde se determinaron las pérdidas económicas generadas en la empresa en el último año con el fin de luego proponer un plan de mejora para reducir dichos sobrecostos en al menos un 25%. La propuesta de mejora diseñada empleó las herramientas de ingeniería industrial de metodología 5S, incluyendo la distribución de planta, la clasificación ABC y distribución lineal del almacén; Planificación de Requerimiento de Materiales (MRP) e indicadores de desempeño. La implementación de la propuesta fue simulada en el software ProModel y en el modelo de simulación Montecarlo. Se determinó que el plan de mejora disminuye los sobrecostos a S/11,314.15, que significa una reducción de 55.44%, es decir que se comprobó la hipótesis planteada. Asimismo, se analizó la propuesta de mejora económicamente donde se obtuvo una TIR de 25%, un VAN de S/6,157.00 y un B/C de 1.65, lo que indica que la implementación del plan de mejora propuesto es rentable para la empresa.

Palabras clave– maquinaria, ingeniería industrial, almacén, materiales, mantenimiento.

I. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se realizó con el fin de aplicar todos los conocimientos adquiridos durante el estudio de la carrera de ingeniería industrial en un entorno problemático real.

Actualmente, las empresas buscan minimizar sus costos, pues esto las favorece económicamente, obteniendo un alza en la competitividad, rentabilidad y productividad [1]. En cuanto a los sobrecostos, se dice que es la cantidad por la cual el costo real invertido sobrepasa al presupuestado en un precio [2]. Todo esfuerzo orientado a reducir dichos costos significa un incremento de la ganancia y competitividad de la empresa [3].

Frente a esto, se escogió una microempresa como objeto de estudio, que ofrece servicios de alquiler de maquinaria pesada, principalmente montacargas, grúas y elevadores verticales. Se realizaron entrevistas con el administrador de la organización y el jefe de operaciones, además de visitas a las instalaciones de la empresa y se recopiló información pertinente sobre el proceso de los servicios brindados. Asimismo, se emplearon las herramientas de diagnóstico como el Diagrama Analítico del Proceso, la matriz FODA, el análisis de los 5 porqués y el diagrama de Ishikawa, con lo que se encontraron cuatro problemas principales que generaron sobrecostos en el último año (septiembre del 2020 a agosto del 2021).

Por medio de dichas herramientas, se identificaron las siguientes pérdidas económicas:

- Capacitaciones desperdiciadas. El costo y tiempo de capacitar a operarios que dejaron la empresa en un corto tiempo.
- Utilidad dejada de percibir. El costo de oportunidad por servicios que se pudieron haber brindado, pero no se llegaron a concretar.
- Compras innecesarias. El costo por materiales que se compraron en exceso y quedaron en inventario sin pronta utilidad.
- Penalizaciones de contrato. El pago que se realizó a algunos clientes por haber fallado en el servicio ofrecido y cumplir con el contrato.

El análisis de las causas raíz que ocasionaron dichos efectos se observan en la Fig. 1. A partir de estas, se pudo plantear soluciones para remediarlas o mitigarlas.

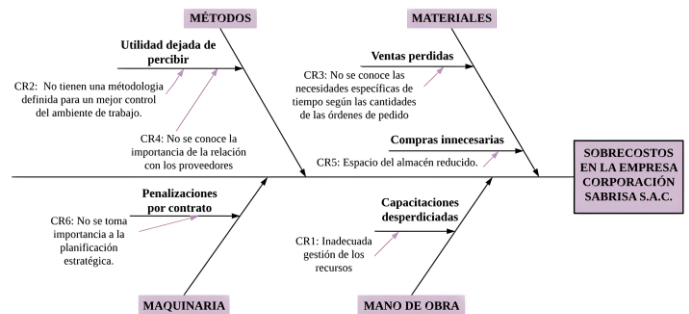


Fig. 1 Diagrama de Ishikawa

En la Tabla I, se calculó el valor monetario de dichos problemas y los sobrecostos que generan en la empresa.

TABLA I
RESUMEN DE LA MONETIZACIÓN ACTUAL

Problema	Costo (S/)
Capacitaciones desperdiciadas	6,720.00
Utilidades dejadas de percibir	14,900.00
Compras innecesarias	2,470.00
Penalizaciones por contratos	3,800.00
Total	27,890.00

Como bases teóricas se tuvo en primer lugar a la metodología 5S. Según [4], la metodología 5S se basa en cinco acciones cuyos nombres son de origen japonés.

- Seiri (Clasificación). Separar lo innecesario. Eliminar del espacio de trabajo lo que sea inútil
- Seiton (Orden). Situar lo necesario. Organizar el espacio de trabajo de forma eficaz.
- Seiso (Limpieza). Suprimir la Suciedad. Mejorar el nivel de limpieza en los lugares.
- Seiketu (Estandarización). Señalar anomalías. Prevenir la aparición de la suciedad y el desorden, establecer normas y procedimientos.
- Shitsuke (Mantener la disciplina). Mejora continua. Fomentar los esfuerzos en este sentido.

Al aplicar esta metodología, se busca mejorar las condiciones de trabajo y levantar la moral del personal, pues es más agradable laborar en un ambiente limpio y ordenado. Además, se pretende reducir gastos de tiempo y energía y minimizar los riesgos de accidentes, mejorando la calidad y seguridad en el trabajo.

Por otro lado, para Ref. [5] el método de Clasificación ABC consiste en la clasificación en tres tipos (A, B, C) los productos en función de su nivel de rotación o utilización y el nivel de stock que se establece como consecuencia y procura consignar de manera acertada los costos indirectos para optimizar los procesos e incrementar la utilidad en la organización.

La distribución de almacén consiste en distribuir el espacio con el que se cuenta teniendo en cuenta el volumen de los materiales, para aprovechar al máximo los recursos disponibles [6]. Se basa en el modelo creado por Ref. [7], utilizando (1) y (2) para el cálculo de espacios y estantes óptimos dentro del almacén.

$$m^* = \frac{(v_a - 2a)}{L} \quad (1)$$

Donde:

m*= Número óptimo de espacios

v_a= Ancho del almacén

a= Ancho de los pasillos

L= Longitud del espacio requerido de almacenaje

$$n^* = \frac{u_a}{(w+a)} \quad (2)$$

Donde:

n*= Número óptimo de estantes

u_a= Largo del almacén

w= Ancho de los estantes

a= Ancho de los pasillos

La distribución en planta es el método de organizar los elementos que forman parte del proceso productivo del espacio físico, para lograr una producción sumamente eficiente y adecuada [8]. Se toma en consideración las áreas necesarias

para el desplazamiento de materiales, almacén y trabajadores relacionados al área.

El sistema de Planeación de Requerimiento de Materiales (MRP) es un registro donde se indica las órdenes de compra hacia lo proveedores con el objetivo de satisfacer la demanda en la fecha establecida, que implica un método sencillo para identificar el número de componentes, materiales y piezas requeridos para generar un producto final [9].

Según Ref. [10], un registro de mantenimiento tiene la utilidad de poder registrar todo mantenimiento realizado, tanto preventivo como correctivo, de esta manera se tiene un diagnóstico inicial el cual sirve para determinar una rutina en lo que consta a los procedimientos de mantenimientos preventivos, de esta manera se tiene una mejora continua.

Por último, los indicadores de mantenimiento son la expresión cuantitativa del comportamiento y desempeño de un proceso. Su magnitud al ser comparada con una magnitud de referencia señala una desviación. Luego de ello se toma acción correctiva o preventiva según el caso [11].

Ante esta problemática, se planteó la pregunta de investigación: ¿En qué medida el plan de mejora basado en herramientas de ingeniería industrial disminuye los sobrecostos en la empresa de alquiler de maquinaria pesada? El objetivo general del estudio fue determinar en qué medida el plan de mejora basado en herramientas de ingeniería industrial disminuye los sobrecostos en la empresa de alquiler de maquinaria pesada. Para ello, los objetivos específicos fueron realizar un diagnóstico integral de la empresa y determinar los sobrecostos actuales, diseñar el plan de mejora con las herramientas de ingeniería industrial, elaborar la simulación de la implementación del plan de mejora, determinar la variación en los sobrecostos de la empresa después del plan de mejora y analizar el plan de mejora económicamente.

Según los antecedentes revisados, se planteó como hipótesis de la investigación que el plan de mejora basado en herramientas de ingeniería industrial disminuye los sobrecostos en la empresa de alquiler de maquinaria pesada en por lo menos 25%.

El presente proyecto se justifica en la importancia de implementar un plan de mejora aplicando diversas herramientas y técnicas de ingeniería industrial que ayuden a mitigar los sobrecostos que no son percibidos con facilidad, caso contrario la organización puede experimentar retrasos en su crecimiento en todos los aspectos. Asimismo, se considera trascendente por la comprobación de la efectividad de las teorías y herramientas de la ingeniería industrial en un entorno real, en este caso la microempresa de servicios elegida para la investigación.

II. METODOLOGÍA

A. Diseño de la investigación

Se tiene como variable independiente al Plan de mejora basado en herramientas de ingeniería industrial, mientras que por variable dependiente a los sobrecostos.

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo y de diseño preexperimental, pues se aplica un pretest (O1) a un

grupo objeto de estudio (G), después el tratamiento (X) y finalmente el posttest (O2). El resultado es la determinación en valores del cambio que ocurre desde el pretest hasta el posttest, que, en este caso, serán datos provenientes de una simulación.

Secuencia:

G O1 X O2

Donde:

G: Empresa de alquiler de maquinaria pesada

O1: Valor en el pretest.

X: Simulación de la implementación del plan de mejora basado en herramientas de ingeniería industrial.

O2: Valor en el posttest.

B. Alternativa de solución 1

Aplicar metodología de las 5S a través de las herramientas de distribución de planta, el método de clasificación de inventarios ABC y la distribución lineal, para lograr una mejor organización y control del ambiente de trabajo, de manera que los operarios no se sientan desmotivados; del mismo modo, servirá para gestionar de mejor manera el espacio reducido y así evitar las compras innecesarias.

Realizar una Planificación de los Requerimientos de Materiales (MRP) para gestionar de mejor manera las compras e inventarios del área de mantenimiento, con el fin de conocer a profundidad las necesidades específicas de las órdenes que se deben realizar de piezas, componentes y demás repuestos, para así evitar retrasos en mantenimiento que provoquen la pérdida de posibles ventas.

Crear un formato de registro del área de mantenimiento e indicadores de rendimiento para los operarios, de manera que se pueda recolectar información que debe ser actualizada diariamente para una mejor planificación de los mantenimientos preventivos y la disponibilidad de la maquinaria, así como de los trabajadores que saben operarla.

Por último, se debe capacitar a todos los colaboradores, desde los operarios hasta los jefes de área sobre la importancia de cada una de las herramientas propuestas y las pongan en práctica hasta que se habitúen al nuevo método de trabajo y no recaigan en las antiguas costumbres. Para esto, también se crearán indicadores que midan el grado de cumplimiento de las propuestas realizadas e incentivos monetarios para quienes logren las metas planteadas.

La estimación del costo de la primera alternativa suma una cantidad de S/15,700 aproximadamente.

C. Alternativa de solución 2

Crear un Manual de Organización y Funciones, para dejar bien establecido la labor de cada trabajador. Además, un modelo de programación lineal para la asignación del personal y la planificación anticipada de sus turnos de trabajo, con indicadores correspondientes que medirán la productividad de los operarios. Así, se piensa disminuir la rotación del personal.

Por otro lado, se propone implementar un sistema de Supplier Relationship Management (SRM) que sea constantemente verificado y actualizado, para que la empresa tenga una interacción más inmediata con sus proveedores y se cuente con la información más reciente de estos. De este modo, no se presentarán futuros inconvenientes que puedan perjudicar los tratos con los clientes. Además, se gestionará de mejor manera las compras que se deban realizar y se prevenirán posibles demoras en los plazos de entrega.

Asimismo, aplicar la herramienta de distribución física de almacenes para gestionar de manera óptima el espacio con el que se cuenta. También, usar el modelo de la Cantidad Económica de Pedido (EOQ) para evitar las compras innecesarias y exceso de stock de piezas y componentes.

Por otro lado, se debe implementar una bitácora de mantenimiento de maquinaria para tener un registro diario de los equipos y componentes, de manera que se puedan planificar estratégicamente los mantenimientos preventivos adecuados y así evitar paradas indeseadas durante servicios que perjudiquen a los clientes y a la empresa misma.

Finalmente, se debe capacitar a los trabajadores en el uso y la importancia de cada una de las herramientas por implementar. Para esto, también se crearán indicadores que midan el desempeño de estos.

La inversión aproximada de este plan es de S/19,200.

D. Selección de la alternativa

Se escogió el plan de mejora según los criterios establecidos en la Tabla II, basados en siete restricciones: presupuesto, tiempo, renuencia de los trabajadores, espacio o instalaciones, uso de tecnología, información y sostenibilidad del plan. Además, se hizo el cálculo aproximado de los beneficios esperados de cada una de las alternativas de solución.

TABLA II
SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN SEGÚN CRITERIOS

Criterio	Peso	Alternativa	Alternativa	Alternativa	Alternativa
		1	2	1	2
		Calificación		Ponderación	
Inversión necesaria	20.00%	1	2	0.2	0.4
Tiempo necesario	15.00%	3	2	0.45	0.3
Dificultad para la adaptación al cambio	10.00%	3	2	0.3	0.2
Espacio necesario	15.00%	4	5	0.6	0.75
Conocimientos tecnológicos necesarios	15.00%	2	4	0.3	0.6
Información	10.00%	3	5	0.3	0.5
Sostenibilidad	15.00%	2	3	0.3	0.45
Total	100.00%	18	23	1.85	2.25

^aLa calificación se puntúa de 1 a 5.

Se observó que la alternativa 1 obtuvo un menor puntaje en la ponderación según el peso de cada criterio, es decir, es la alternativa que tendría menos complicaciones para implementar. Asimismo, se previó que obtendría el mayor beneficio monetario entre las dos alternativas, ya que un cálculo estimado predijo que se obtendrían S/9,690 frente a los S/6,190 de la alternativa 2.

E. Diseño de la alternativa seleccionada

Metodología 5S: Al aplicar esta metodología, se buscó mejorar las condiciones de trabajo y levantar la moral del personal, pues es más agradable laborar en un ambiente limpio y ordenado. Además, se pretendió reducir gastos de tiempo y energía y minimizar los riesgos de accidentes, mejorando la calidad y seguridad en el trabajo. Esta metodología, se apoyó en el uso de las herramientas de la distribución de planta, la clasificación ABC y la distribución lineal del almacén. Cada uno de estos puntos se centraron en las áreas de logística, almacén y mantenimiento y tuvieron como alcance a todos los trabajadores de dichas áreas.

Distribución de planta: Se diseñó la modificación de la distribución de los talleres del área de mantenimiento verticalmente (Fig. 2), por lo que así se disminuirían los tiempos de transporte de un vehículo hacia otro taller de mantenimiento, además los servicios se realizarían mucho más rápidos y por consiguiente, aumentaría la productividad de los trabajadores y equipo. Asimismo, se invirtió de manera vertical el área del almacén, para tener por ambos lados entrada y salida de dicha área, con el objetivo de tener por un lado recepción y despacho de los productos y tener un mejor control en el seguimiento de la data realizada por los encargados de logística y almacén.

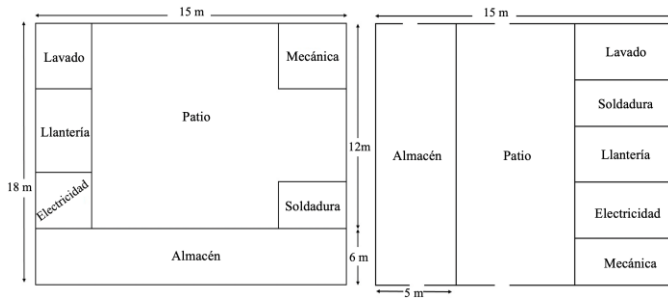


Fig. 2 Distribución de planta actual y propuesto

Clasificación ABC: Para definir la clasificación según el método de análisis ABC, se toma la cantidad total de consumo promedio y se multiplica por tus porcentajes de distribución (15, 20 y 65% para zona A, B y C respectivamente). Se observó que, de los 54 artículos de la empresa, 48% son clasificación A, 24% B y 28% C.

Distribución lineal: Se recopiló información sobre el inventario de piezas y herramientas, recolectados en la clasificación ABC. Asimismo, se entrevistó al jefe del área de logística y a los operarios de mantenimiento para realizar una lluvia de ideas para el diseño y nueva distribución del almacén, teniendo en consideración sus necesidades de acceso al almacén. Se realizaron los cálculos correspondientes y se diseñó el nuevo layout. En el caso de este proyecto, para el área de 90 m² con el que se contó, el número óptimo de estantes es resultó de 7, es decir que se deben eliminar dos anaqueles. Además, se creó una nueva rotulación para estos y el orden de almacenamiento de las piezas según lo mostrado en la Fig. 3.

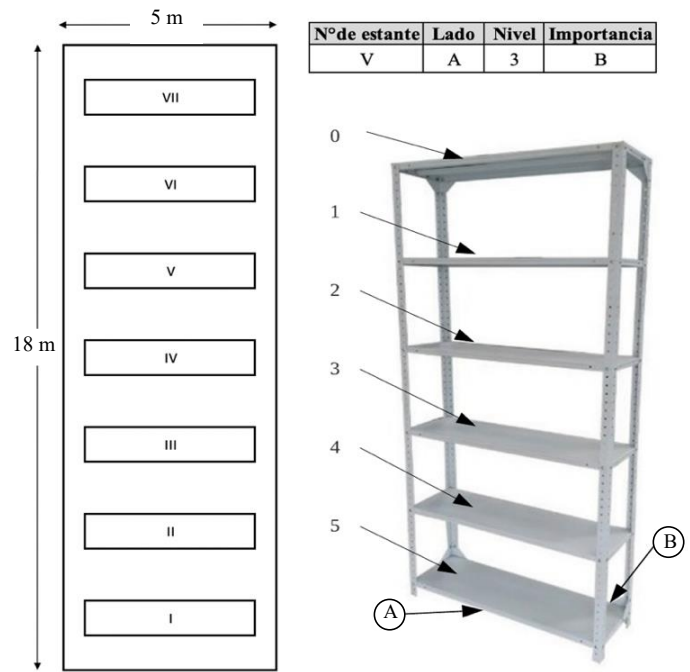


Fig. 3 Distribución lineal y rotulación del almacén

MRP: Se procesaron los resultados arrojados de un Plan Maestro de Producción, luego de analizar la demanda según la data histórica y se recolectó la información realizada del método ABC. Luego se realizó un diagrama de registro de los materiales que requieren cada máquina para su uso, su stock en inventario, y considerando el tiempo de entrega, se obtuvo en la Tabla III la base de datos del MRP. Se muestran los días en que se deben realizar pedidos de cada material o elemento.

TABLA III
PLAN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES (MRP)

Material/Elemento	Unidad	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Montacargas	und	8	-	8	-	8	-
Grúas	und	2	-	-	2	-	-
Elevadores	und	-	2	-	2	-	2
Combustible	gal	10	2	8	4	8	2
Repuestos	und	-	-	-	-	7	2
Lubricantes	und	-	-	-	4	8	2
Neumáticos	und	2	10	14	22	24	-

Registro de mantenimiento e indicadores: Se realizó un diagnóstico del área de mantenimiento, para analizar el estado en el que se encuentra, después se sacaron las conclusiones generales para elegir los indicadores, que en este caso fueron el de disponibilidad de maquinaria y productividad de los operarios. Después, se realizó una entrevista general al personal para que puedan brindar una información más precisa; luego, se hizo un conteo de las maquinarias y se identificaron sus tipos y funcionamientos para proceder a evaluar la disponibilidad de estas y de los operarios. De acuerdo con ello, se hizo la planificación del plan de mantenimiento preventivo y un cronograma. Finalmente, se creó el formato de registros de mantenimientos y el plan de contratación de dos ponentes para

brindar charlas sobre la importancia y el uso de estas nuevas herramientas.

F. Identificación de estándares de ingeniería

Se realizó una investigación de leyes, normas y estándares de ingeniería aplicables al plan de mejora propuesto, de donde se priorizaron cinco según su importancia y relación con el rubro de la empresa:

- Norma Internacional - ISO 14001:2015, 5 Liderazgo, 5.2 Política ambiental
- Ley N° 28694.- Ley que regula el contenido de azufre en el combustible diésel.
- Ley N° 29783.- Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo
- Decreto Supremo N° 052-1993-EM. - Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos
- Decreto Supremo N° 045-2001-EM. -Reglamento para la Comercialización de Combustibles Líquidos y otros Productos Derivados de Hidrocarburos.

Estos llevaron a realizar pequeñas modificaciones al plan de mejora. Por ello, se agregó una matriz de riesgos de la planta, una placa de características del almacén, un registro de entrega de residuos para la disposición final de reutilización o tratamiento y un formato de matriz IPER (Identificación de Peligros y la Evaluación de Riesgos y Controles).

III. RESULTADOS

Se realizaron cuatro diseños de simulación para calcular las mejoras de los problemas con la implementación de las herramientas propuestas para cada una de las pérdidas económicas o problemas encontrados. En primer lugar, se realizó una simulación según el modelo de Montecarlo para la simulación de las capacitaciones desperdiciadas, donde como fundamento se tomó la data de renuncias de los trabajadores en el último año y aleatoriedad en la frecuencia en meses. Después de la propuesta de mejora, se consideró que con la implementación de la metodología 5S existirá un aumento del 55% de motivación de los trabajadores, y se obtuvo que las renuncias efectuadas disminuyeron de 6 a 2.

Asimismo, se diseñó un modelo en el software ProModel para las compras reactivas antes y después de implementar la clasificación ABC y la distribución lineal, donde no solo se obtuvo una reducción de las compras innecesarias sino también un incremento de los requerimientos listos del almacén, o total de compras anuales, como se observa en la Tabla IV.

Tabla IV
RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN PARA COMPRAS REACTIVAS

Indicador	Unidades Actual	Unidades Mejora	Valor (S/) Actual	Valor (S/) Mejora
Compras reactivas	165	116	2,470	1,736.48
Total compras anual	330	514	10,474	16,314.05
%Compras reactivas	50.00%	22.57%	23.58%	10.64%

En cuanto a las utilidades dejadas de percibir, se realizó un modelo Montecarlo para el MRP, donde se consideraron prestaciones de servicio efectuadas y no efectuadas y un resumen de probabilidades de compra de los componentes. El modelo constó de 218 solicitudes, donde hubo la misma cantidad de aleatorios para luego realizarse la búsqueda de máquinas efectuadas y no efectuadas, y la búsqueda de la aprobación o negación de las compras de componentes MRP. Se obtuvo una cantidad total de maquinarias dejadas de percibir de 13 máquinas a 6 de ellas, cantidad que luego se multiplicó por la utilidad perdida o coste de oportunidad según tipo de máquina.

Para las penalizaciones por contrato causados por la parada de maquinaria, se realizó un modelo Montecarlo, donde se empezó con una toma de datos de prestaciones realizadas y de maquinarias paradas. Luego, se hizo una matriz de frecuencias para realizar la matriz probabilidad, de esta manera se pudo encontrar las máquinas paradas y no paradas para el modelo de simulación aleatorio. Se obtuvo una reducción de 10 a 6 máquinas paradas.

En la tabla V se muestra la comparación de los resultados obtenidos de las simulaciones con los sobrecostos antes y después de la simulación de la implementación del plan de mejora, así como también el beneficio monetario por la reducción de los problemas que generaron las pérdidas económicas.

Tabla V
COMPARACIÓN DE LOS INDICADORES

P ^a	Indicador	Fórmula	Actual		Mejora		Beneficio
			S/	%	S/	%	
(1)	% Rotación de empleados	N° de renuncias anuales	S/6,720	55%	S/2,240	18%	S/4,480
(2)	% Compras reactivas	(Compras reactivas/Total Compra anual) x100	S/2,470	24%	S/1,736	11%	S/734
(3)	% Prestaciones perdidas	(Prestaciones no efectuadas/ Prestaciones efectuadas) x100	S/14,900	4%	S/5,800	2%	S/9,100
(4)	% Paradas de maquinaria durante servicio anual	(N° de paradas de máquina/Total de servicios anual) x100	S/3,800	3%	S/1,567	1%	S/2,233

^a Problemas: (1) Capacitaciones desperdiciadas, (2) Compras innecesarias, (3) Utilidad dejada de percibir, (4) Penalizaciones por contrato.

Para la evaluación económica se aplicó un flujo mensual de caja para el plan de mejora (Fig. 4). Primero, se consideraron los costos por herramienta, considerando a cada una como un conjunto de las soluciones planteadas para cada uno de los problemas tratados, según el mes en que iban a ser implementadas, en este caso se ha considerado la evaluación por un año. Después se calcularon los beneficios por herramienta obteniendo los valores detallados anteriormente en la Tabla V. Finalmente, se restaron los beneficios menos los egresos para obtener el flujo de caja.

MES	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Total
EGRESOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Herramienta 1 (5S, Distribución física)			S/109	S/109	S/109	S/109	S/109	S/109	S/109	S/109	S/109	S/109	S/109	S/1,200
Herramienta 2 (5S, Distribución lineal,		S/745	S/745	S/745	S/745									S/2,981
Herramienta 3 (MRP)		S/615	S/615											S/1,230
Herramienta 4 (Indicadores de Mantenimiento)			S/770	S/770	S/770	S/770	S/770							S/3,850
Bono indicadores		S/500												S/500
TOTAL EGRESOS	S/0	S/1,860	S/2,239	S/1,624	S/1,624	S/879	S/879	S/109	S/109	S/109	S/109	S/109	S/109	S/9,761
BENEFICIOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Herramienta 1			S/67	S/67	S/67	S/67	S/67	S/67	S/67	S/67	S/67	S/67	S/67	S/734
Herramienta 2		S/373	S/373	S/373	S/373	S/373	S/373	S/373	S/373	S/373	S/373	S/373	S/373	S/4,480
Herramienta 3		S/758	S/758	S/758	S/758	S/758	S/758	S/758	S/758	S/758	S/758	S/758	S/758	S/9,100
Herramienta 4			S/203	S/203	S/203	S/203	S/203	S/203	S/203	S/203	S/203	S/203	S/203	S/2,233
TOTAL BENEFICIOS	S/0	S/1,132	S/1,401	S/1,401	S/1,401	S/1,401	S/1,401	S/1,401	S/1,401	S/1,401	S/1,401	S/1,401	S/1,401	S/16,547
FLUJO DE CAJA	S/0	-S/728	-S/838	-S/223	-S/223	S/522	S/522	S/1,292	S/1,292	S/1,292	S/1,292	S/1,292	S/1,292	S/6,786

Fig. 4 Flujo mensual de caja

Seguido, se hizo el cálculo de la tasa de descuento mensual o TMAR, teniendo en cuenta la tasa de descuento brindada por la empresa de 11% anual, según su categoría de riesgo de TMAR fija por capital que considera al proyecto de bajo riesgo por ser de reducción de sobrecostos. En la Tabla VI, se muestran los indicadores económicos.

TABLA VI
INDICADORES ECONÓMICOS

TMAR	0.87%
TIR	25%
VAN	S/6,157
B/C	1.65
VAN Beneficios	S/15,632
VAN Egresos	S/9,475

*Según evaluación de 12 meses.

IV. DISCUSIÓN

En Ref. [12], con la implementación de la metodología 5S, en la etapa de orden, en distribución de planta, se presenta un incremento del 55% en la satisfacción y productividad de los trabajadores. Por consiguiente, aplicando la metodología 5S en la empresa estudiada, se observó una mejora monetaria del 18.18% del problema de capacitaciones desperdiciadas, lo que representa la disminución de S/4,480.00 de sobrecosto. De igual manera, estos resultados guardan relación con la investigación llevada a cabo en Ref. [13], donde con la aplicación de distribución de planta se logró minimizar el tiempo empleado en la atención en los servicios ofrecidos por la empresa, es decir se aumentó la productividad laboral.

La distribución lineal del almacén realizada en conjunto a la clasificación ABC permite tener un mejor control del área, de manera que los trabajadores ubiquen las existencias sencillamente y se reduzcan las compras innecesarias de piezas y repuestos en un 54.86%, esto representa un beneficio de S/733.52; sin embargo, si se considera el aumento de las compras útiles en la simulación realizada, el beneficio puede aumentar hasta los S/2,110.73. Los resultados positivos concuerdan con Ref. [12], quienes a través de la redistribución

y ordenamiento del almacén de la empresa en donde se desarrolló su investigación, usando la implementación de la metodología 5S y la clasificación ABC, lograron disminuir tiempos y costos asociados al inventario, al hacer una mejor utilización del espacio disponible y estandarizar los procedimientos de trabajo, obteniendo un beneficio de \$4,050.96. Asimismo, Ref. [4] y Ref. [15] disminuyeron las compras injustificadas utilizando dicha metodología.

En conjunto, el uso de las 5S tuvo una reducción de S/5,213.52, en contraste con el trabajo de Ref. [4], quienes, con la aplicación de esta metodología, obtuvieron una reducción de \$1,310.40 en los costos operativos del área logística.

La implementación de la herramienta MRP permite establecer un plan de compras y presupuesto, para satisfacer las necesidades de los procesos y a su vez efectuar los requerimientos de todos los materiales necesarios para el servicio por las cantidades exactas que dicho plan requiere [16]. Asimismo, en la aplicación de la simulación Montecarlo, el porcentaje de utilidades dejadas de percibir se logró ver una notoria reducción, a partir del 30% de respuesta de compras de componente en el MRP por lo que concuerda con el trabajo de [17] que implementó un MRP, considerando el pronóstico, inventario y lead time, obteniendo una disminución del 50% de stock y un incrementó en el servicio al cliente de un 40%.

Por otro lado, en el estudio realizado se logró disminuir la cantidad de maquinarias no efectuadas la cual tuvo una reducción del 77% en los montacargas, 50% en grúas y 60% para elevadores, por lo que consiste que dos de cada seis montacargas no son efectuadas, asimismo uno de cada dos grúas y dos de cada cinco elevadores carecen de disponibilidad; lo cual esta reducción de maquinaria no efectuadas hace que aumente la cantidad de maquinarias efectuadas respecto a la prestación de servicio, y se ve reflejado en la reducción de utilidades dejadas de percibir tanto en el monto de dinero perdido como el porcentaje, dinero perdido de S/14,900 soles redujeron a S/5,800 soles y el porcentaje de utilidad dejada de percibir de 4.08% a 2.43%, calculando una reducción del 38.9%

del dinero perdido.

De tal manera se logra confirmar con la tesis de Ref. [18] que habla sobre la aplicación de un MRP, la cual obtuvo resultados de un 39% de incremento en la productividad del área de servicios de mantenimiento, un 19% en las horas efectivas y un 8% en la eficacia de los servicios brindados

La implementación de indicadores y un registro de mantenimiento reduce a un 5% los costos de las fallas de máquinas en contraste con [19], quienes redujeron en un 72%. Asimismo, en la simulación Montecarlo realizada se disminuyó el número de paradas de máquinas y por tanto se tuvo una reducción del 3% a un 0.55% en las penalizaciones de contratos. En el presente estudio, al aumentar la cantidad de maquinarias no paradas y disminuir las penalizaciones por contrato, logra la reducción del monto de dinero perdido de un total de S/3,800 soles a S/1,566.67 soles. De tal manera que se logra afirmar según Ref. [20], que con un plan de gestión y sus indicadores de mantenimiento se obtienen resultados favorables logrando una disminución de 50% en sus paradas y fallas, además de una reducción en sus costos.

Con respecto a la pregunta de investigación, el plan de mejora propuesto logra una reducción de los sobrecostos de S/16,546.85, que superó los S/9,690.00 estimados al inicio del proyecto.

V. CONCLUSIONES

Se determinó que el plan de mejora basado en herramientas de ingeniería industrial disminuye los sobrecostos en la empresa de alquiler de maquinaria pesada en un 55.44%, es decir que se comprobó la hipótesis planteada.

Se realizó un diagnóstico integral de la empresa y se determinaron los sobrecostos que presentaban, los cuales fueron de S/27,890.00.

Se diseñó la propuesta de mejora con las herramientas de ingeniería industrial de metodología 5S, incluyendo la distribución de planta, la clasificación ABC y distribución lineal del almacén, además del uso de la Planificación de Requerimiento de Materiales (MRP), los indicadores de desempeño y el registro de mantenimiento.

Se elaboró la simulación de la implementación de la propuesta de mejora con las herramientas propuestas, donde se utilizó el software ProModel y el modelo Montecarlo. Se lograron diseñar 4 modelos que imitaron la realidad de las áreas y problemas de estudio.

Se determinó la variación en los sobrecostos de la empresa después de la propuesta de mejora que fueron de S/11,343.15, es decir, una reducción considerable.

Se analizó la propuesta de mejora económicamente donde se obtuvo una TIR de 25%, un VAN de S/6,157.00 y un B/C de 1.65, lo que indica que la implementación del plan de mejora propuesto es rentable para la empresa.

AGRADECIMIENTO

Se agradece la participación del Ing. Teodoro Alberto Geldres Marchena por la mentoría brindada y de los

trabajadores entrevistados en la empresa y por la información que nos facilitaron para realizar esta investigación.

REFERENCES

- [1] Ccahuay Cercado, J. J., Jara Roncal, K. E. y Vásquez Coronado, M. H. (2020). Plan de mejora en la gestión operativa para reducir costos de la empresa Shalom Empresarial S.A.C. Chiclayo-2019. <http://doi.org/10.26495/tzh.v12i3.1332>
- [2] Henao-Cárdenas, D.A., Cano-Ortiz, G.A. y Palacio-Morales, J.A. (2017). Los sobrecostos en los equipos de medición del proceso de pintura de la empresa Renault Sofasa, aplicando la metodología Kaizen. *Revista CEA*, 3(6), 77-92. <https://doi.org/10.22430/24223182.672>
- [3] Pérez, M. M., y Wong, H. G. (2018). Gestión de inventarios en la empresa Soho Color Salón & Spa en Trujillo (Perú), en 2018. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 14(27). <https://www.redalyc.org/journal/4096/409658132010/movil/>
- [4] Capristano, A. N. (2017). Aplicación de la Metodología 5S para incrementar la productividad de la empresa Acadic S.R.L. S.J.L.-2017. Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/10362>
- [5] Macías, R., León, A., y Limón, C. (2019). Análisis de la cadena de suministro por clasificación ABC: el caso de una empresa mexicana (Supply Chain Analysis by ABC Classification: The Case of a Mexican Company). *RAN-Revista Academia & Negocios*, 4(2).
- [6] Quinte Tudela, L. J. Propuesta de un sistema de redistribución y gestión de almacenes en una empresa del sector microfinanciero. [Tesis de Grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/594544>
- [7] Bassan, Y., Roll, Y. and Rosenblatt, M. J. (1980). "Internal layout design of a warehouse". *AIIE Transactions*, 12(4), 317-322.
- [8] Gosende, P. A. (2016). Evaluación de la distribución espacial de plantas industriales mediante un índice de desempeño. *Revista de Administração de Empresas*, 56, 533-546. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020160507>
- [9] Chase, R., Jacobs, R., y Aquilano, N. (2017). Administración de Operaciones: Producción y Cadena de Suministros. McGraw Hill Educación.
- [10] Ruiz, J. D. (2013). Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la Empresa Inverglobal INC LTDA. [Tesis de ingeniería]. Universidad Pontificia Bolivariana. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/500>
- [11] Espinoza Tejada, M. A. (2018). Mejora del plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de los buses de la empresa de transporte Allin Group Javier Prado SA concesionaria de los corredores complementarios de la Municipalidad de Lima. [Tesis de ingeniería]. Universidad Tecnológica del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/1697>
- [12] Poma, S. (2017). Propuesta de implementación de la metodología de las 5s para la mejora de la gestión del almacén de suministros en la empresa Molitalia SA. sede los Olivos - Lima, 2017. [Tesis de licenciatura]. Universidad Privada del Norte. Lima.
- [13] Veloz, J. A., Vásquez, M. H., y Arrascue, M. A. (2020) Mejora de distribución de planta, para incrementar la productividad, en la empresa Timones Hidráulicos veloz de la ciudad de Trujillo. *Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*. <https://doi.org/10.26495/icti.v7i2.1494>
- [14] Huguet, J., Pineda, Z., & Abreu, E. G. (2016). Mejora del sistema de gestión del almacén de suministros de una empresa productora de gases de uso medicinal e industrial. *Ingeniería Industrial. Actualidad y nuevas tendencias*, (17), 89-108. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215049679007>
- [15] Changanahui del Águila, J., Meza Silva, C., Paucarcaja López, E. y Paredes Pflucker, F. (2018). Propuesta de mejora en la gestión de compras de un grupo de empresas del rubro de distribución de energía eléctrica. Repositorio Académico UPC. [Tesis de maestría]. <http://hdl.handle.net/10757/623134>
- [16] Angulo-Noel, B., Carretero-Landauro, D., Iturrino-Vilchez, D., Vásquez-Mananita, J., y Geldres-Marchena, T. (2021). Propuesta de mejora en el área de logística sobre los costos operativos de Bermanlab SAC Trujillo, 2020. *LACCEI, Inc.* <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.117>
- [17] Vargas Hernández, J., Muratalla Bautista, G., y Jiménez Castillo, M. (2016). Lean Manufacturing ¿una herramienta de mejora de un sistema de

- producción? Ingeniería Industrial. Actualidad y nuevas tendencias, (17), 153-174. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215049679011>
- [18] Aparicio Valladolid, J. J. (2018). Aplicación de la planificación de los requerimientos de materiales (MRP) para mejorar la productividad en el área servicio de mantenimiento de la empresa Autoclass SAC, Surquillo, 2018. [*Tesis de licenciatura*]. Universidad César Vallejo. Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/22829H>
- [19] Rojas Vite, C. E., & Salazar Lara, A. J. P. (2018). Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento para reducir el tiempo de paradas de máquina en una empresa fabricante de plásticos en el Perú. [Tesis de Ingeniero]. Universidad Ricardo Palma. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3363>.
- [20] Alarcón, M., Martínez García, F. M. & Gómez de León Hijes, F.C (2021). Energy and maintenance management systems in the context of industry 4.0. Implementation in a real case. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110841>