

# Improvement plan to reduce costs in an LGP packaging plant, 2024

Oscar Guarniz<sup>1</sup>, Sergio Jimenez<sup>2</sup>, and Teodoro Geldres-Marchena, Master's Industrial Engineering<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Students of Industrial Engineering of Universidad Privada del Norte, Perú, [N00190850@upn.pe](mailto:N00190850@upn.pe), [N00167540@upn.pe](mailto:N00167540@upn.pe)

<sup>3</sup>Industrial Engineering Professor at the Universidad Privada del Norte, Perú, [teodoro.geldres@upn.pe](mailto:teodoro.geldres@upn.pe)

**Abstract**– This work applied engineering knowledge to improve the situation of an LPG bottling plant, focusing on reducing costs by solving problems identified in an initial analysis. A diagnosis was made to prioritize the most harmful problems, and various alternatives were developed, choosing one based on specific criteria and restrictions. These alternative included standards such as Law No. 29783 on Occupational Safety and Health, and standards such as API RP 1170, NFPA 58, ASME B31.5, API RP 1162, and ASME BPVC, Section VIII for pressure vessels. ISO 9001:2015, ISO 45001:2018, EN 12807:2020 and ISO 14001:2015 were also applied to improve service quality, protect workers, design steel cylinders and manage environmental performance. Specific indicators allowed the development of the problems to be measured, and simulations were carried out in ProModel and Monte Carlo to validate the design. In the 5S tool upgrade, it was reduced from 77% to 23%; in preventive and autonomous maintenance, from 97% to 3%; and in the PDCA tool, it went from 45% to 55%. The economic evaluation showed a minimum rate of return of 18.49%, a NPV of S/. 34,213.71 and an IRR of 94%, indicating that the proposal is profitable. The B/C was 1.93, showing that for each sol invested, 0.93 soles are earned. Therefore, the improvement proposal is recommended.

**Keywords**-- Improvement plan, Capstone project, Engineering Design, Simulation in ProModel and Monte Carlo .

# Plan de mejora para reducir costos en una planta envasadora de GLP, 2024

Oscar Guarniz<sup>1</sup>, Rafael Jimenez<sup>2</sup>, and Teodoro Geldres-Marchena, Master's Industrial Engineering<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Students of Industrial Engineering of Universidad Privada del Norte, Perú, [N00190850@upn.pe](mailto:N00190850@upn.pe), [N00167540@upn.pe](mailto:N00167540@upn.pe)

<sup>3</sup>Industrial Engineering Professor at the Universidad Privada del Norte, Perú, [teodoro.geldres@upn.pe](mailto:teodoro.geldres@upn.pe)

**Resumen— Este trabajo aplicó conocimientos de ingeniería para mejorar la situación de una planta envasadora de GLP, enfocándose en reducir costos mediante la resolución de problemas identificados en un análisis inicial. Se realizó un diagnóstico para priorizar los problemas más dañinos y se desarrollaron diversas alternativas, eligiendo una en función de criterios y restricciones específicas. Estas alternativas incluyeron normas como la Ley N° 29783 sobre Seguridad y Salud en el Trabajo, y normas como API RP 1170, NFPA 58, ASME B31.5, API RP 1162 y ASME BPVC, Sección VIII para recipientes a presión. También se aplicaron las normas ISO 9001:2015, ISO 45001:2018, EN 12807:2020 e ISO 14001:2015 para mejorar la calidad del servicio, proteger a los trabajadores, diseñar cilindros de acero y gestionar el desempeño ambiental. Indicadores específicos permitieron medir el desarrollo de los problemas a tratar y se realizaron simulaciones en ProModel y Monte Carlo para validar el diseño. En la actualización de la herramienta 5S, se redujo del 77% al 23%; en mantenimiento preventivo y autónomo, del 97% al 3%; y en la herramienta PDCA pasó del 45% al 55%. La evaluación económica arrojó una tasa de retorno mínima de 18,49%, un VAN de S/. 34,213.71 y una TIR de 94%, lo que indica que la propuesta es rentable. El B/C fue de 1,93, lo que demuestra que por cada sol invertido se ganan 0,93 soles. Por lo que se recomienda la propuesta de mejora.**

**Palabras clave—Plan de mejoras, Capstone Project, Diseño de ingeniería, Simulación en Promodel y Monte Carlo.**

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la comercialización del Gas Licuado de Petróleo (GLP) envasado ha crecido rápidamente a nivel mundial, con aproximadamente 3,000 millones de personas utilizándolo para diversas necesidades como cocinar o impulsar vehículos, y también en grandes industrias para generar energía [1]. Según [2], la distribución del GLP, especialmente a granel, requiere una serie de actividades para asegurar que el producto llegue en condiciones adecuadas al cliente final. En Perú, este proceso está regulado por el Sistema de Control de Órdenes de Pedido (SCOP) de Osinergmin, supervisando todas las transacciones de compra y venta de combustibles, lo que ha permitido a las empresas del sector posicionarse y controlar el mercado.

La empresa en cuestión viene comercializando cilindros, válvulas reguladoras y GLP a granel. En su sede en Trujillo, se han identificado problemas que afectan su funcionamiento, como retrasos por falta de requerimientos, paradas de máquinas, ejecución incorrecta de tareas que genera reprocesos, y accidentes dentro de la planta. Estos problemas

están relacionados con la falta de capacitación, imprudencia de los colaboradores y falta de supervisión. Todos estos inconvenientes impactan directamente en los costos de la empresa, impidiendo su desarrollo óptimo y provocando pérdidas considerables de utilidades.

Diversas investigaciones han abordado la mejora de la gestión y operación de empresas dedicadas al GLP y otros sectores. Es así como se tiene [3], los cuales propusieron un sistema de control interno para optimizar la gestión de inventarios en AERO GAS del Norte S.A.C., Chiclayo, destacando la falta de herramientas adecuadas para gestionar las existencias y racionalizar los procesos logísticos. Asimismo [4], enfocaron su estudio en mejorar la productividad en el área de envasado de Costa Gas Chimbote S.A.C., mediante un diseño preexperimental y el análisis de tiempos, incrementando la producción de envasado y realizando un análisis costo-beneficio que mostró una propuesta factible con una recuperación de inversión en 5 meses y 8 días.

Por otro lado, [5] simplificó el proceso de pedido de cilindros de gas eliminando la dependencia de horarios de distribución mediante la metodología ágil Scrum. También automatizaron la recepción de pedidos de cilindros de gas con una aplicación móvil, facilitando el pedido sin restricciones horarias. Asimismo [6] recomendó mejorar el sistema de producción en "Comercial Damián E.I.R.L." para reducir retrasos en la entrega de pedidos mediante la estandarización de procesos y capacitación.

Además, se tiene [7], los cuales implementaron el control estadístico de procesos (CEP) en Loa Gas para mantener el control y reducir la variación del proceso utilizando herramientas estadísticas y la metodología MICEPS, estableciendo indicadores de control y cumpliendo con los requisitos de la norma ISO 9001:2015.

El primer problema identificado fue ventas perdidas por demora en la entrega de pedidos, la empresa estima un tiempo de entrega de 30 minutos para cumplir con todas las indicaciones y estándares de entrega e instalación. Sin embargo, los retrasos en la entrega pueden causar interrupciones en las operaciones comerciales o domésticas de los clientes, afectando gravemente su suministro de GLP. Estos retrasos recurrentes también pueden dañar la reputación de dicha empresa y su capacidad para retener clientes en un mercado altamente competitivo.

El segundo problema identificado son las paradas de máquina donde la incidencia principal son las interrupciones en los dos turnos de producción y envasado, principalmente en el turno de tarde debido a fallas en la maquinaria o problemas de mantenimiento. Estas interrupciones impiden alcanzar la cantidad esperada de balones de GLP, resultando en una pérdida diaria de S/ 101,250.00.

El tercer problema identificado fue Reprocesos de cilindros defectuosos, donde la empresa, a pesar de tener estandarizados sus tiempos de procesos, enfrenta rechazos de productos debido a baja calidad. Estos rechazos implican costos de reprocesos, incluyendo mano de obra, pérdidas materiales, insumos y costos de oportunidad. Los productos presentan fallas como válvula ancha, orring, picadura y fuga, cada una con un diferente costo de reproceso debido a que no todas se manejan bajo el mismo procedimiento. En casos de picadura y fuga, la empresa no realiza reprocesos porque la materia prima se pierde casi en su totalidad.

El último problema identificado fue los accidentes y enfermedades laborales, puesto que la empresa opera en un sector con diversos peligros y riesgos relacionados con la manipulación de cilindros y el manejo de GLP. Estos riesgos incluyen enfermedades que los trabajadores pueden contraer por exposición a sustancias tóxicas y ambientales durante sus actividades laborales. Esto representa un gran problema para la empresa, ya que puede resultar en la incapacidad del trabajador, dependiendo de la gravedad del accidente o enfermedad. Estos incidentes conllevan costos significativos para la empresa, como pagos por descanso médico e indemnizaciones en casos graves.

## II. METODOLOGÍA

### A. Diseño de investigación

El proyecto utiliza un diseño preexperimental con pruebas pre-test y post-test, sin grupo de control. Este enfoque común y sencillo se centra en evaluar cambios en las variables tras una intervención. Se mide a los sujetos antes y después del tratamiento para detectar cambios esperados [8]. A diferencia de los diseños experimentales, donde se manipulan variables para observar su impacto, el diseño preexperimental mide al mismo grupo antes y después de la intervención, permitiendo comparaciones [9]. Las variables definidas son O1 (antes del Plan de mejora), X (Plan de mejora) y O2 (después del Plan de mejora).

O1	X	O2
Pre - test	Propuesta por simulación	Post - test

O1: Medición de los costos operativos antes de la simulación de la implementación.

X: Simulación de la implementación del plan de mejoras conformado por metodologías 5s, TPM y PDCA

O2: Medición de los costos operativos después de la simulación de la implementación.

### B. Alternativas de solución

Se ofreció a la empresa una amplia gama de herramientas para abordar los problemas. No obstante, es esencial organizar estas herramientas en "Alternativas" para mejorar su eficiencia. Al agrupar las herramientas, se consideró su interrelación y su capacidad para resolver los cuatro problemas identificados. Para seleccionar la mejor opción de herramientas, es fundamental considerar el costo de implementación, el tiempo requerido, el alcance del proyecto y los recursos humanos disponibles.

Alternativa 1. La primera alternativa presenta las siguientes herramientas: las 5S, TPM, CICLO DE PDCA, con un costo de S/. 9,500.00, esta alternativa brinda una solución oportuna a los problemas observados mediante las mejoras en sus procedimientos aplicando las herramientas eficientes.

Alternativa 2. La segunda alternativa presenta las siguientes herramientas Metodología Kanban, Metodología Six Sigma, Análisis modal de fallos y efectos (AMFE), Poka Yoke, cuenta con un costo de S/. 10,000.00, esta alternativa está orientada en encontrar soluciones en la mejora de los problemas teniendo en cuenta la seguridad laboral del mantenimiento.

Alternativa 3. La tercera alternativa presenta las siguientes herramientas Hoja de Ruta, Método OWAS, tiene un costo de S/. 9,700.00, de una manera u otra nos permite reducir los problemas y optimizar operaciones.

Es así como se observan de manera más gráfica en la Tabla II las diferentes alternativas planteadas, las herramientas a utilizar y que recursos serían necesarios para su desarrollo.

TABLA II  
SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

N° de Alternativa	Herramientas	Recursos
Alternativa 1	Método 5 S	Supervisor de plataforma
	TPM	Jefe y técnico de Mantenimiento
	PDCA	Especialista
Alternativa 2	Kanban	Supervisor de plataforma
	Six Sigma	Supervisor de plataforma
	FMEA	Especialista
Alternativa 3	Poka Yokes	Especialista
	Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP)	Jefe SSOMA
	Hoja de ruta	Asistente de operaciones
	OWAS	Asistente de operaciones

### C. Selección de mejor Alternativa

Después de haberle proporcionado a la empresa una gran variedad de herramientas y habiéndose separado en alternativas, se procede a seleccionar la mejor alternativa considerando las siguientes restricciones realistas que tiene la empresa.

- **RESTRICCIÓN ECONOMICA:** La empresa tiene recursos limitados para realizar mejoras, con un presupuesto de solo S/15,000 y un plazo de retorno de inversión de 10 a 12 meses. Esta situación financiera restringe la implementación de mejoras de alto costo, y la empresa no puede solicitar financiamiento adicional debido a deudas pendientes.
- **RESTRICCIÓN POLÍTICA:** Mantiene una estricta política que prohíbe horas extras, rotación sin capacitación, uso de materiales no autorizados, y prácticas contaminantes. La empresa es auditada regularmente por OSINERGMIN y otras entidades para asegurar el cumplimiento normativo.
- **RESTRICCIÓN DE LOGISTICA:** Se reconoce la importancia del sistema de planeación de logística actual y se fomenta la implementación de métodos complementarios para adaptarse a las necesidades cambiantes. Se valoriza la empleabilidad de trabajadores antiguos y se considera trasladar el área de envasado a otro edificio lejos de la planta.
- **RESTRICCIÓN DE DEMANDA:** Se restringe cualquier modificación o mejora a la base de clientes existentes.
- **RESTRICCIÓN DE PROVEEDOR:** Para estabilidad en la cadena de suministro, se limita a 10 proveedores, manteniendo 5 fijos y considerando hasta 5 nuevos.
- **RESTRICCIÓN DEL MERCADO:** Restringe la producción y expansión a 2500-3500 cilindros diarios para prevenir la sobreproducción y asegurar una gestión eficiente de los recursos.

Luego de haber considerado los criterios técnicos, económicos y las restricciones planteadas, la mejor alternativa es la Alternativa 1, que considera las herramientas: Método 5S, TPM (Mantenimiento Productivo Total), PCDA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), utilizando los recursos: Supervisor de plataforma, jefe y técnico de mantenimiento y especialista con una inversión total de S/. 9,500.00.

### D. Diseño de la Alternativa Seleccionada

A partir de la selección de la alternativa, se procedió a realizar un flujograma que detalla la planificación para reducir costos en la empresa envasadora de GLP, iniciando con un análisis general que identifica problemas y pérdidas económicas. Se priorizan los problemas y se proponen soluciones, reemplazando el TPM por un mantenimiento preventivo y autónomo.

Primero, se implementará el método 5S para mejorar la eficiencia y seguridad en el trabajo, siguiendo las fases de Selección, Orden, Limpieza, Estandarización y Disciplina.

Este enfoque mejorará la organización, protección y calidad del entorno laboral basados en las normas ISO 45001:2018 e ISO 14001:2015.

Luego, se aplicará el Ciclo de Deming (PDCA) para optimizar la seguridad y salud. En la fase de Planificación, se definirán objetivos claros, identificarán riesgos basados en la Ley N° 29783, y se capacitará al personal siguiendo la Norma ISO 45001:2018. En Hacer, se ejecutarán las medidas planificadas y se monitorizará el desempeño. En Verificación, se evaluarán los indicadores y se realizarán auditorías. En Actuar, se implementarán acciones correctivas y se actualizarán los objetivos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).

Finalmente, se reemplazará el TPM por un programa de mantenimiento preventivo y autónomo, basado en los estándares API RP 1170 e ISO 9001:2015. Se evaluará el estado de las instalaciones, se diseñará el programa y se capacitará al personal. La fase 4 incorporará mantenimiento autónomo para mejorar la confiabilidad de los equipos y se evaluarán las mejoras mediante indicadores y comparaciones de costos, midiendo el impacto económico con PRI, VAN, TIR y B/C. Esto se puede observar en la Figura 1.

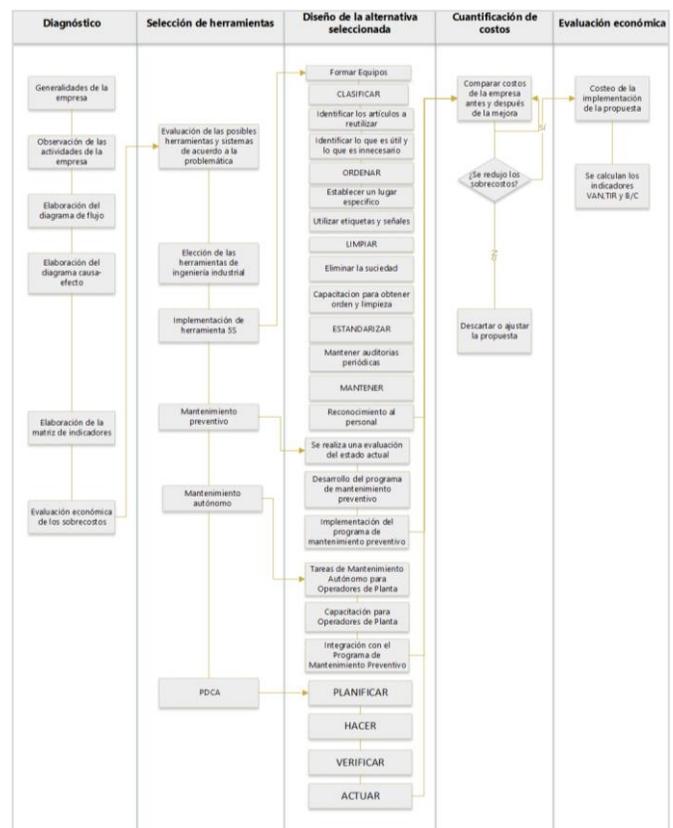


Fig. 1 Diseño de la Alternativa Seleccionada

*E. Identificación y selección de Estándares de ingeniería*

Se buscaron fuentes para estándares de ingeniería para asegurar consistencia y alta calidad en el informe, optimizando procesos, reduciendo errores y costos. Esto garantiza el cumplimiento de regulaciones, facilita la mejora continua y aumenta la satisfacción y confianza de la empresa. Los estándares seleccionados son vitales para mejorar el estudio y se aplicarán adaptándose a las herramientas planeadas, basándose en normas y códigos para potenciar los resultados esperados. Estos estándares se muestran más a detalle en la Tabla III que se está mostrando a continuación.

TABLA III  
SELECCIÓN DE ESTÁNDARES

ÍTEM	ESTÁNDAR
1	OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería)
2	Ley N°29783. Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo
3	API RP 1170: Prácticas recomendadas para la operación y el mantenimiento de instalaciones de almacenamiento y manejo de GLP a granel
4	ASME BPVC, Sección VIII: Código para recipientes a presión
5	NORMA ISO 9001: 2015. Sistema de Gestión de la Calidad
6	NORMA ISO 45001: 2018. Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el trabajo
7	EN 12807: 2020 Botellas transportables y recargables en acero soldadas para GLP
8	NORMA ISO 14001: 2015 Sistemas de Gestión Ambiental

*F. Formulación de Cálculo de Indicadores*

Se llevó a cabo la formulación y cálculo de los indicadores que permitirán medir el nivel de mejora.

Para la metodología 5S se utiliza el indicador # de pedidos entregados con demora, este se calcula a partir de la ecuación que se muestra en (1), es así como en una producción anual donde se define a las variables de pedidos atendidos con demora y el total de pedidos, en el cual los tiempos no deben superar los 30 minutos de entrega. Para calcular el monto monetario se toma en cuenta el total de entregas cuyo valor nos da S/. 4,992.00.

(1)

Para el mantenimiento preventivo se emplea el indicador

$$\frac{\# \text{ Pedidos atendidos con demora}}{\text{Total de pedidos}} * 100 \quad \% \text{ cilindros dejados de producir, este trabaja bajo la ecuación presentada en (2),}$$

en donde en un periodo anual, empleando las variables de

cilindros dejados de producir y la producción total, donde se producen en 2 turnos, Turno mañana y Turno Tarde. Para calcular su monetización se tomaron en cuenta la producción total en el Turno mañana y Turno tarde por el costo unitario cuyo valor fue de S/. 2,241.00 y S/. 4,482.00 respectivamente.

(2)

$$\frac{\% \text{ Cilindros dejados de producir}}{\text{Producción total}} * 100$$

Para el mantenimiento preventivo y autónomo se toma el indicador de % reproceso con el tipo de falla que se calcula basándose en (3), en donde los tipos de fallas calculados en turnos mañana y tarde son Válvula ancha, orring y base doblada, y los tipos de fallas calculados por mes son picadura y fuga, las variables empleadas son el reproceso por tipo de fallas, la producción total y el número de fallas en el mes. Para encontrar el valor monetario se calcula la producción total en cada turno laborado por el costo unitario, cuyo valor por Válvula ancha en el turno mañana es de S/. 597.60 y en el turno tarde S/. 318.72, el reproceso por Orring tiene un valor de S/. 531.20 en el primer turno y S/. 265.60 en el segundo turno, la base doblada en sus turnos de mañana y tarde tiene un valor de S/. 166.00 y S/ 73.04 respectivamente. Para el # de reproceso por picadura y fuga, se trabaja con (4), en donde se tiene en cuenta el precio de venta cuyo valor es de S/. 252.00 para ambas fallas.

$$\frac{\% \text{ Reproceso por tipo de falla}}{\text{Producción total}} * 100 \quad (3)$$

$$\frac{\# \text{ Reproceso por picadura}}{\text{mes}} \quad (4)$$

En la metodología PDCA, se tiene en cuenta los indicadores el # accidentes (5), contagios (6) y horas extras (7), calculados en un mes de trabajo, las variables empleadas son el mes laborado y el tipo de enfermedad, donde la monetización de dichos factores son el costo laboral y el número de trabajadores, cuyo valor es S/. 1,680.00 para el # de accidentes, S/. 720.00 para el # de contagios y para el # de horas extras es de S/. 750.00

$$\frac{\# \text{ Accidentes}}{\text{mes}} \quad (5)$$

$$\frac{\# \text{ Contagios}}{\text{mes}} \quad (6)$$

$$\frac{\# \text{ Horas extras}}{\text{mes}} \quad (7)$$

*G. Elección de Modelos de la Simulación*

El flujograma describe el diseño y simulación de dos programas para evaluar futuros resultados de problemas y mejoras tras implementar la solución seleccionada.

Primero, se utiliza ProModel para abordar problemas como paradas de máquina, reprocesos y retrasos en pedidos.

Se crean librerías gráficas y se modela el proceso en la planta envasadora, considerando las actividades en ambos turnos (mañana y tarde). Se analizan indicadores como pedidos con demora, paradas de máquina y reprocesos por distintos motivos. La simulación inicial se usa para ver el estado actual, luego se simula la implementación de la alternativa de solución basada en las 5S y mantenimiento preventivo para estimar mejoras y reducción de costos.

Segundo, se usa el simulador Monte Carlo en Excel para problemas como demoras en pedidos, accidentes laborales y enfermedades. Se segmentan indicadores y se analiza data histórica para obtener probabilidades. La simulación inicial se verifica con datos actuales, luego se implementa el ciclo PDCA para mejorar estos problemas. Finalmente, se corre otra simulación para evaluar si la implementación del PDCA resultó en mejoras y reducción de costos. El desarrollo del diseño de ambos simuladores se puede observar en la Figura 2 que se muestra a continuación.

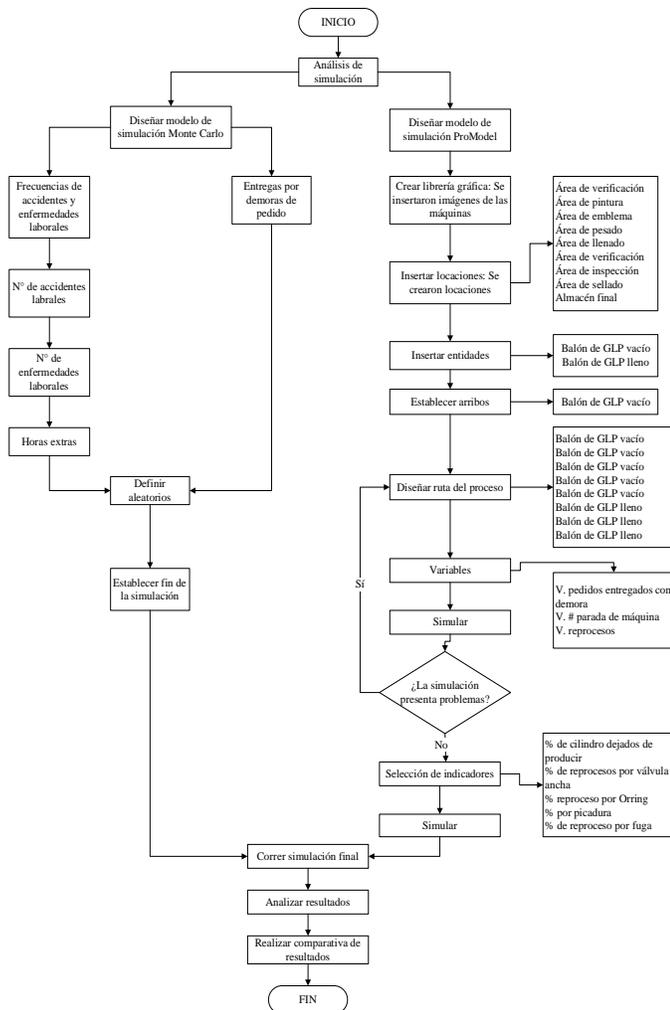


Fig. 2 Flujograma general de la simulación

### III. RESULTADOS

#### H. Ejecución de la Simulación

El layout incluye áreas de verificación, pintura, emblema, pesado, llenado, rellenado, inspección, sellado y almacén final, cada una con su capacidad y tiempo de operación para balones de GLP vacíos y llenos. La simulación, que dura 16 horas, comienza con la llegada de 4 cilindros por minuto y sigue un proceso detallado a través de cada área. Se optimizó el procesamiento para mejorar la eficiencia. Variables de simulación, como pedidos entregados con demora y paradas de máquinas, se ajustaron para claridad y comprensión.

La Figura 3 muestra el layout generado por el Software ProModel, indicando las siguientes áreas: verificación, pintura, emblema, pesado, llenado, rellenado, inspección, sellado y almacén final, cada una con su capacidad y tiempo de proceso. Las entidades consideradas son Balón de GLP vacío y Balón de GLP lleno. Se ha planteado una simulación para este modelo.

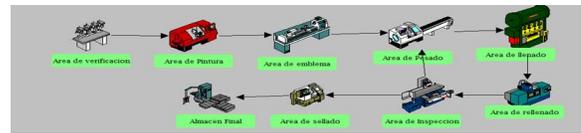


Fig. 3 Layout actual

TABLA IV  
VARIABLE RESUMEN – SITUACIÓN ACTUAL

Variable Resumen						
Nombre	Total, Cambios	Tiempo Por cambio Promedio (Min)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Actual	Valor Promedio
V Pedidos Entregados Con Demora	7	121.5372857	0	14	14	6.84306875
V Nro. de Parada de Máquina	7	121.5372857	0	7	7	3.42153438
V Reprocesos	260	3.676965385	0	260	260	135.328068

TABLA V  
ENTIDAD RESUMEN – SITUACIÓN ACTUAL

Entidad Resumen - Actual							
Nombre	Total, Salidas	Cantidad actual En Sistema	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En lógica de movimiento Promedio (Min)	Tiempo Esperado Promedio (Min)	Tiempo Operación Promedio (Min)	Tiempo de Bloqueo Promedio (Min)
Balón de GLP vacío	0	8	0	0	0	0	0
Balón de GLP lleno	3572	4	3.001 66517 4	0	0.327881 579	2.159 50168	0.51428 1915

En la Tabla V, se muestra una producción de 3,572 balones, con un tiempo promedio en el sistema de 3.00 minutos y un tiempo de operación de 2.16 minutos. Hubo 14

balones entregados con retraso, con un tiempo de cambio promedio de 121.54 minutos. La simulación diaria registró 7 paradas de máquinas con el mismo tiempo promedio de cambio. Los reprocesos resultaron en 260 balones diarios, con un tiempo de cambio promedio de 3.68 minutos.

TABLA VI  
VARIABLE RESUMEN – SITUACIÓN MEJORADA

Variable Resumen- Actual						
Nombre	Total, Cambios	Tiempo Por cambio Promedio (Min)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Actual	Valor Promedio
V Pedidos Entregados Con Demora	1	520.761	0	2	2	0.9150813
V Nro. de Parada de Maquina	1	520.761	0	1	1	0.4575406
V Reprocesos	81	11.44417	0	81	81	42.883532

TABLA VII  
ENTIDAD RESUMEN – SITUACIÓN MEJORADA

Entidad Resumen - Mejorada							
Nombre	Total Salidas	Cantidad actual En Sistema	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En lógica de movimiento Promedio (Min)	Tiempo Esperado Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)	Tiempo de Bloqueo Promedio (Min)
Balón de GLP vacío	0	8	0	0	0	0	0
Balón de GLP lleno	3792	7	2.74411	0	0.324594	2.0892	0.330316

Como se aprecia en la Tabla VII, la tabla de indicadores muestra una producción final de 3,792 balones, con un tiempo promedio en el sistema de 2.74 minutos y un tiempo de operación de 2.09 minutos, lo que supone un aumento del 5.80%. Los pedidos retrasados se redujeron en un 86% y las paradas de máquinas en un 85.71%. Los reprocesos mejoraron en un 69%, con una reducción en los tiempos de operación.

### Simulador Montecarlo en la Metodología 5s y PCDA

Para la simulación Montecarlo, se utilizaron tablas de distribución de probabilidad de llegadas y tiempos de atención del agente vendedor. Se consideraron tiempos de llegada de 5, 15, 25, 30 y 40 minutos, así como métodos de pago como Yape, Plin, transferencia o efectivo. Se analizaron también el número de pedidos diarios, el tiempo de atención promedio de 30 minutos, y se simuló accidentes y contagios mensuales. La aplicación del ciclo PDCA se extendió por 12 meses, enfocándose en mejoras continuas con datos históricos proporcionados por la empresa.

### 5S ACTUAL

TABLA VIII  
NÚMERO DE PEDIDOS ENTREGADOS CON DEMORA

# pedidos entregados con demora en 1 día	14
# pedidos entregados con demora *semana	84
# pedidos entregados con demora *mes	336
# pedidos entregados con demora *año	4032

Según la Tabla VIII de la simulación de Montecarlo, cada agente vendedor puede atender hasta 25 clientes diarios, con 14 pedidos entregados con demora, lo que representa el 56%. Esto equivale a 84 pedidos por semana y 336 por mes, totalizando 4,032 pedidos anuales atendidos con demora.

### PDCA ACTUAL

TABLA IX  
RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN MONTECARLO

Días sin accidentes o contagios	105
Número de accidentes/año	130
Número de contagios/año	77
Horas extras/año	517.50

Anualmente se registran 130 accidentes, 77 contagios y 517.5 horas extra. Esto implica un 54% de probabilidad de que cualquier trabajador experimente un accidente o contagio en la empresa. El Anexo 1 proporciona el enlace al drive con los Excel de las simulaciones de ProModel y Montecarlo, y los cuadros de distribución de probabilidades.

### 5S Y PDCA MEJORADO

TABLA X  
RESULTADO MONTECARLO MEJORADO

# pedidos entregados con demora en 1 día	4
# pedidos entregados con demora *semana	24
# pedidos entregados con demora *mes	96
# pedidos entregados con demora *año	1152

En esta segunda simulación de Montecarlo, se redujo el tiempo base de llegada del agente vendedor de 30 a 20 minutos, resultando en una capacidad aumentada de 37 pedidos diarios atendidos, un incremento del 32%. La cantidad diaria de pedidos entregados con demora disminuyó de 14 a 4, representando una reducción significativa del 71.43% diariamente, así como semanal, mensual y anualmente.

TABLA XI  
RESULTADO DE LA SIMULACIÓN MONTECARLO

Días sin accidentes o contagios	220
Número de accidentes/año	59
Número de contagios/año	33
Horas extras/año	150

D

urante el año de simulación, la empresa registró 59 accidentes, reduciéndose un 55%, y 33 contagios, disminuyendo un 57%. Las horas extras anuales fueron 150, mostrando una reducción del 71%. Se lograron 220 días libres de incidentes, representando el 60.27% del año laboral estándar.

### I. Evaluación Económica

Para la evaluación económica, se utilizó el flujo de caja del presente plan de mejora. Primero, se tuvieron en cuenta los costos o egresos asociados con la implementación de cada herramienta, según el mes de su aplicación, considerando un periodo de un año. Posteriormente, se calcularon los beneficios de cada herramienta, obteniendo los valores correspondientes, tomando en cuenta la inversión realizada.

TABLA XII  
EGRESOS, INGRESOS Y FLUJO DE CAJA

EGRESOS	0	1	2	3	4	5
Inversión	S/ 5,300.00					
Capacitación de personal	S/ 1,250.00	S/ 1,250.00	S/ 1,250.00	S/ 1,250.00	S/ 1,250.00	S/ 1,250.00
Materiales (fóletos, lapiceros, etc.)	S/ 1,760.00	S/ 1,760.00	S/ 1,760.00	S/ 1,760.00	S/ 1,760.00	S/ 1,760.00
Equipos y herramientas	S/ 2,800.00	S/ 2,800.00	S/ 2,800.00	S/ 2,800.00	S/ 2,800.00	S/ 2,800.00
Materiales de limpieza	S/ 500.00	S/ 500.00	S/ 500.00	S/ 500.00	S/ 500.00	S/ 500.00
Stock de repuestos	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00
TOTAL EGRESO	S/ 5,300.00	S/ 8,310.00	S/ 8,310.00	S/ 8,310.00	S/ 8,310.00	S/ 8,310.00
INGRESOS	0	1	2	3	4	5
Beneficio herramienta1	S/ 3,840.00	S/ 5,760.00	S/ 8,640.00	S/ 12,960.00	S/ 19,440.00	S/ 25,920.00
Beneficio herramienta2	S/ 2,961.00	S/ 4,441.50	S/ 6,662.25	S/ 9,993.38	S/ 14,990.06	S/ 22,485.09
Beneficio herramienta3	S/ 1,585.00	S/ 2,377.50	S/ 3,566.25	S/ 5,349.38	S/ 8,024.06	S/ 12,036.09
TOTAL INGRESOS	S/ -	S/ 8,386.00	S/ 12,579.00	S/ 18,868.50	S/ 28,302.75	S/ 42,454.13
FLUJO DE CAJA	-S/ 5,300.00	S/ 76.00	S/ 4,269.00	S/ 10,558.50	S/ 19,992.75	S/ 34,144.13

En las tablas anteriores se evidencia la evaluación económica de la empresa proyecta para 5 años, en la tabla de ingresos se consideró el aumento del 1.5% anual, por consiguiente, se calculó el flujo neto efectivo para realizar el cálculo de los indicadores económicos.

TABLA XIII  
INDICADORES ECONÓMICOS

TMAR		18.49%
TIR		94%
VAN	S/	34,213.71
B/C		1.93
VAN ingreso	S/	59,913.75
VAN egreso	S/	31,000.97

La tasa mínima de retorno que se consideró fue del 18.49%, ya que fue brindada por la misma empresa.

El VAN fue de S/. 34, 213.71 y el TIR fue 94%, como el resultado salió mayor a 0, significa que la propuesta de mejora es rentable para la empresa. El B/C fue 1.93 soles, lo que quiere decir que por cada sol invertido se gana 0.93 soles. Por lo tanto, la propuesta de mejora es recomendable y viable.

### IV. DISCUSIONES

Durante el desarrollo de la investigación, se analizó la situación de la envasadora de GLP en la cual se identificaron cuatro problemas; debido a ello se planteó tres herramientas de ingeniería las cuales son: 5s, PDCA y Mantenimiento preventivo; para reducir los costos elevados que ocasionan dichos problemas.

El primer problema hallado fue las ventas perdidas por demora en entrega de pedidos, debido a ello se planteó trabajar como solución la herramienta 5S y logramos contar con una producción final de 3,792.00 balones con un tiempo en sistema promedio de 2.74 minutos y un tiempo de operación promedio de 2.09 minutos. Esto representa el aumento de la producción en un 5.80%. Es así como [10], en su tesis planteó como objetivo Incrementar la productividad en el área de maestría de la empresa Mecánica Industrial Manuel mediante la implementación de la metodología 5S, donde se concluyó de la investigación que el resultado obtenido de la productividad logró incrementar en un 46.79%, en relación a la eficiencia un 23.79% y a la eficacia un 33.33%. Y aumentando la calidad del clima laboral en la empresa. De esta forma se evidencia que la implementación de una mejora basada en la metodología 5s ayuda a las empresas a mejorar la productividad en los diferentes procesos y una mejora en el clima laboral.

En el problema de parada de maquina se aplicó como solución la herramienta del mantenimiento preventivo (MP), la cual nos ayudó a capacitar bien al personal de la empresa, basado en las normas API RP 1170 y API RP 1162, esto permitió adquirir los conocimientos, habilidades y destrezas

necesarias para realizar las tareas de mantenimiento de manera segura, eficiente y efectiva. Por otro lado, en el estudio [11], se tuvo como objetivo principal proponer mejoras para reducir las paradas imprevistas e incrementar la disponibilidad de los equipos de la empresa Obrainsa. Realizaron un diagnóstico de la situación actual del mantenimiento con la información de sus características, averías e indicadores de gestión de mantenimiento. Se encontró que los equipos críticos tienen un estudio de paradas de máquina y propuesta de plan de mantenimiento preventivo fábrica de envases de lata lux s.a. [12], disponibilidad menor al 88%. Se analizaron las causas que originan las fallas de los equipos y en base a estas se propusieron actividades que permitan la disminución de las ocurrencias de fallas. La simulación diaria arrojó con un total de 1 parada de máquina con un tiempo por cambio promedio de 520.791 minutos. Se muestra una reducción significativa del número de paradas de máquina con un 85.71%.

Respecto al problema reprocesos de cilindros defectuoso, también aplicamos como solución el mantenimiento preventivo (MP), la cual nos ayudó identificar los activos críticos, los modos de falla potenciales y las consecuencias de las fallas. Según [13], un plan de mantenimiento se realiza a través de un conjunto de actividades que se desarrollan de manera preventiva con la finalidad de llegar a la disponibilidad y a un alto grado de confiabilidad con la convicción de reducir costos altos de inversión, lo que, en nuestra propuesta, se realiza a través de sus respectivas evaluaciones.

El último problema hallado fue accidentes y enfermedades laborales, se planteó trabajar como solución la herramienta del PDCA, la cual nos ayudó a ejecutar los programas de capacitación planificados para los trabajadores, garantizando la comprensión y el cumplimiento de las normas de seguridad y salud en el trabajo teniendo en cuenta que el número de accidentes serían 77, cifra que nos da un indicador significativo siendo una reducción del 63%, el número de contagios anual de 27 que nos da una reducción de 36%, y el número de horas extra anuales sería de 195 que proporciona una reducción del 40%. La investigación [14], durante su diagnóstico realizado se encontró un 20% de cumplimiento de los requisitos de SGSST evidenciando de que la empresa no se preocupa por una cultura de seguridad hacia sus trabajadores, pero que luego de la propuesta de mejora que planteó logró aumentar el cumplimiento de dimensiones a un 96% en promedio de todos los requisitos. De similar forma, en el presente estudio se encontró un nivel de cumplimiento bajo de los requisitos ISO 45001, por ello tras la implementación de procedimientos y programas de seguridad se logró mejorar las condiciones donde laboran los trabajadores de la empresa de gas.

## V. CONCLUSIONES

Se realizó un correcto diagnóstico inicial de la empresa, utilizando diferentes herramientas de ingeniería, las cuales permitieron identificar los problemas que se estaban

presentando en la empresa, los cuales tras un análisis más específico mostraron sus diferentes causas raíz.

Tras la identificación de los problemas, se calcularon los costos de los problemas correctamente, ya que se utilizó data brindada por la misma empresa y la relacionamos con el tiempo perdido, unidades dejadas de producir, horas extra, descansos médicos, etc.

Se diseñaron diferentes planes de mejora para que se puedan evaluar mediante criterios y restricciones para que pueda ser elegida la mejora opción, es así como tras el análisis de estas, se decidió optar por una que contaba con las herramientas como las 5S, el PDCA y el mantenimiento Preventivo y Autónomo. En la mejora de la herramienta 5S se redujo de 77% a un 23% de la situación actual, en la implementación del mantenimiento preventivo y autónomo se ve una variación de 97% al 3%, tal es el caso en la herramienta PDCA pasamos de un 45% a un 55%.

Se indagó correctamente sobre los simuladores que existen en el mercado para poder analizar y elegir cual se adaptaba más a las condiciones del trabajo, en donde tras una ponderación, quedaron el simulador ProModel y Montecarlo. A partir de ello y basándonos en la data histórica y actual de la empresa, se diseñaron los simuladores los cuales estaban relacionados a los problemas y a los indicadores previamente determinados, esto permitió obtener los posibles resultados de la implementación de la alternativa diseñada, estos resultados mostraron una mejora considerable.

Finalmente, tras realizar todo el trabajo de manera exitosa, se cumplió el objetivo general, determinando en qué medida el plan de mejora reduce los costos de la empresa envasadora de GLP. A partir de los resultados obtenidos en la simulación, en donde se calculó la variación de costos mediante una comparación entre los costos del análisis inicial y los datos nuevos obtenidos, mostrando una variación favorable en cada indicador establecido. Además, se realizó una evaluación económica exhaustiva que involucró todos los costos de la implementación del diseño y los beneficios reflejados en indicadores económicos como el VAN, TIR, y B/C. La tasa mínima de retorno considerada fue del 18.49%, proporcionada por la empresa, resultando en un VAN de S/. 34,213.71 y un TIR del 94%. Dado que el VAN es mayor a 0, se concluye que la propuesta de mejora es rentable para la empresa. El B/C fue de 1.93 soles, indicando que por cada sol invertido se ganan 0.93 soles. Por lo tanto, la propuesta de mejora es recomendable y viable

## VI. REFERENCIAS

- [1] Andina. (2020, 7 junio). Más de 28 millones de personas se benefician con el uso de GLP en el Perú Es económico, no contamina y tiene una gran red de distribución en todo el. <https://andina.pe/agencia/noticia-mas-28-millones-personas-se-benefician-con-uso-glp-el-peru-800665.aspxM>.
- [2] Semmaq. (2022, 27 diciembre). Venta de GLP a Granel: ¿Cómo se Comercializa este Producto? SEMMAQ SAC. <https://semmaq.com/venta-glp-granel/>
- [3] Bonilla, F., & Castro, A. (2023). Control interno para mejorar la gestión de inventarios de GLP en la Empresa Aero Gas del Norte S.A.C -

- [4] Doig, J., & Ríos, M. (2021). Mejora de métodos de trabajo para incrementar la productividad en el área de envasado de la Empresa Costa Gas Chimbote S.A.C. - 2021. UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/85316>
- [5] Galarza, I. (2019). APLICATIVO PARA TOMA DE PEDIDOS DE CILINDROS DE GAS, UTILIZANDO UBICACIÓN GEO REFERENCIAL PARA LA CIUDAD DE QUITO. <https://repositorio.uisrael.edu.ec/xmlui/handle/47000/2168>
- [6] Patazca, A. (2018). Mejora del sistema productivo de la empresa Comercial Damián E.I.R.L. para reducir retrasos en la entrega de pedidos. USAT. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1632>
- [7] Martínez, M., Alexis, P., & Oliva, T. (2017). Análisis del grado de responsabilidad social empresarial en una empresa de gas natural en Perú. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Retrieved from <http://hdl.handle.net/10757/621516>
- [8] Morales, P. (2013). Investigación experimental, diseños y contraste de medias
- [9] Pérez. (2020). Obtenido de Metodología de la investigación científica. Editorial Maipue
- [10] Hernández, K. (2018). Implementación de la metodología 5S para Mejorar la Productividad en el Área de Maestría en la empresa Mecánica Industrial Manuel, Los Olivos, 2018, (Tesis de pregrado), Universidad Cesar Vallejo, Escuela de Ingeniería Industrial, Lima.
- [11] Tuesta, J. (2014). Plan de Mantenimiento para Mejorar la Disponibilidad de los Equipos Pesados de la Empresa Obrainsa, (Tesis). Universidad Nacional del Callao, Perú.
- [12] Yparraguirre, Y. A. (2018). Estudio de paradas de máquina y propuesta de plan de mantenimiento preventivo fábrica de envases de lata Lux S.A. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/14328>
- [13] Estrada Miranda, R. E., & Morales Medina, D. E. (2019). Aplicación de la estrategia de mantenimiento preventivo de cilindros hidráulicos para incrementar la disponibilidad de las excavadoras pc-4000 Komatsu 2019. Marquez Portilla, K. N. (2019). Diseño de un Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo en La Empresa GT Constructores y Consultores S.A.C. San Jacinto, 2018. Perú.
- [14] Llovera, G. E. (2023). Diseño de un sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional bajo la norma ISO 45001:2018 para disminuir riesgos en una empresa de gas en la ciudad de Cajamarca [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/35940>.