

Improvement proposal to increase performance by applying redesign of stations and work methods together with a preventive maintenance plan in a LPG bottling machine

Angie Noelia Santiago Ullero, Industrial Engineer¹, César Francisco Zelada Rubio, Industrial Engineer¹, Iliana Aracelli Macassi Jauregui, Industrial Engineer¹

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú, u201719046@upc.edu.pe, u201710102@upc.edu.pe, pcadlmac@upc.edu.pe

Abstract— *In a company, performance is defined as the ability to achieve greater productivity using the same resources in order to obtain positive results in financial, production efficiency, or customer satisfaction aspects. In the present case study, the productive performance of a liquefied petroleum gas (LPG) bottling company was initially evaluated at 75.88%. In order to determine whether the current performance of the company is within optimal operability ranges, this percentage was compared with the productive performance in LPG bottling industries in Mexico. The average productive performance of these industries is 83.47%. Comparing this percentage with that of the initial company reveals a technical gap of 7.59%. Faced with this situation, a model was developed that combines the redesign of stations and work methods with the implementation of a preventive maintenance plan. The objective of the model is to reduce the distances traveled by the material, the amount of wasted paint, operator fatigue, non-value generating activities, and the failures of the bottling scales. The main result obtained was that the number of cylinders that leave the system increased by 68 cylinders per hour.*

Keywords— *LPG cylinders, plant distribution, performance, ergonomics, preventive maintenance, work methods.*

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

Propuesta de mejora para aumentar el rendimiento aplicando rediseño de las estaciones y métodos de trabajo junto con un plan de mantenimiento preventivo en una envasadora de GLP

Angie Santiago Ullero, Ingeniera Industrial¹, César Zelada Rubio, Ingeniero Industrial¹, Iliana Aracelli Macassi Jauregui, Ingeniera Industrial²

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú, u201719046@upc.edu.pe, u201710102@upc.edu.pe, pcadlmac@upc.edu.pe

Abstract— En una empresa, el rendimiento se define como la capacidad de obtener un mayor resultado productivo utilizando los mismos recursos con el fin de obtener resultados positivos en el ámbito financiero, en la eficiencia productiva o lograr satisfacer al cliente. En el presente caso de estudio, se evaluó inicialmente que el rendimiento productivo de una empresa envasadora de gas licuado de petróleo (GLP) fue de 75.88%. Con el objetivo de determinar si el rendimiento actual de la empresa se encuentra en los rangos óptimos de operabilidad, se comparó este porcentaje con el rendimiento productivo en las industrias envasadoras de balones de gas en México. El rendimiento productivo de estas industrias tiene un valor promedio de 83,47%. Comparando este porcentaje con el de la empresa inicial se observa una brecha técnica del 7.59%. Frente a esta situación se realizó un modelo que combine el rediseño de estaciones y métodos de trabajo con la implementación de un plan de mantenimiento preventivo. El objetivo del modelo es reducir las distancias recorridas del material, la cantidad de pintura desperdiciada, la fatiga laboral en los operarios, las actividades que no generan valor y las fallas de las balanzas envasadoras. El principal resultado obtenido fue que la cantidad de balones que sale del sistema aumentó en 68 balones más por hora.

Keywords-- Balones de GLP, distribución de planta, rendimiento, ergonomía, mantenimiento preventivo, métodos de trabajo.

I. INTRODUCCIÓN

La globalización, la competencia en el mercado, las demandas de los clientes más individuales y rápidamente cambiantes han resultado en cambios en el sistema de producción. En la producción, los recursos (materias primas, máquinas, humanos, energía, etc.) son limitados. Por lo tanto, las empresas tienen que producir productos finales rentables, eficientes en energía y materiales, lo que se puede lograr mediante la utilización maximizada de los recursos. Se requieren tecnologías innovadoras y respetuosas con el medio ambiente y métodos de mejora del rendimiento para establecer la rentabilidad y la sostenibilidad [3]. De tal forma, las empresas tienen que enfocarse en la productividad y reducción de costos; por lo tanto, la aplicación de métodos de mejora de la eficiencia y rendimiento es fundamental e importante para las empresas con el fin de mantener y aumentar su competitividad y proporcionar una producción sostenible. [4]

En el Perú, el uso del GLP se posiciona como una de las principales fuentes de energía a nivel residencial [6]. Según [7]

en el periodo de 2019 a 2020, ocho de cada diez hogares peruanos recurren al uso de este hidrocarburo para la cocción de sus alimentos. En promedio, los hogares peruanos consumen un balón de GLP de 10 kg por mes, cuyo gasto representa el 2.2% del presupuesto mensual de los hogares. En [10] se diseñó una planta de recarga de GLP de manera que se minimice el riesgo total en términos económicos cuando la planta se expone a un accidente. Esto se hizo para minimizar el costo de las tuberías y el riesgo residual que representa para las unidades en caso de accidente. Se resolvió usando el paquete de optimización AMPL (A Mathematical Programming Language). Por otro lado, en [11] se desarrolló un modelo automático de envasado de balones de GLP teniendo en consideración el requisito de seguridad durante el trabajo de embotellado.

Teniendo en cuenta el uso que se le da a este recurso “balones de GLP” la presente investigación tuvo como objetivo realizar un modelo que abarque herramientas de diseño de planta, métodos de trabajo y mantenimiento preventivo. Por ello, la fusión de todas las herramientas mencionadas tiene como principal finalidad aumentar el rendimiento en la empresa dedica al envasado de balones de GLP.

II. ESTADO DEL ARTE

En esta sección se analizó estudios previos que contribuyen con información relevante para el artículo. Para la búsqueda de papers se tomó en cuenta las herramientas implementadas, el sector de estudio y el problema que se busca resolver. A continuación se explican por categorías las fuentes consultadas.

A. Modelo de aumento de rendimiento en una envasadora de GLP

En [14] [15] se realizaron modelos para la adquisición de los balones de gas y su comercio con el fin de poder satisfacer la demanda pronosticada. Para lograr esto, se utilizó técnicas de series de tiempo como promedio móvil y suavización exponencial. Asimismo, para determinar el pronóstico de las ventas y la tasa de retorno se realizaron cálculos mediante regresión lineal múltiple y redes neuronales artificiales.

La exposición constante al gas en sus instalaciones es uno de los riesgos a los que se enfrentan las empresas envasadoras de GLP. Con el fin de prevenir accidentes en las plantas, se realizó una modelación para identificar posibles riesgos y evaluar sus consecuencias. Se busca garantizar la seguridad tanto de los trabajadores como de los consumidores.[12][13]

B. Modelo de aumento de rendimiento con el rediseño ergonómico de estaciones de trabajo

Los recursos humanos constituyen uno de los elementos más importantes en las actividades de producción industrial de la empresa. Para aumentar la productividad y mejorar la calidad de los productos, es fundamental tener en cuenta el entorno o el espacio de trabajo en el que los operarios realizan sus tareas [23][24]. Sin embargo, las organizaciones de diferentes sectores continúan registrando enormes pérdidas e ineficiencias debido a la alta tasa de enfermedades y lesiones relacionadas con el trabajo a pesar de la familiaridad de los conceptos de salud y seguridad ocupacional. La exposición de los riesgos se encuentra directamente relacionadas a un conjunto de movimientos incorrectos y prácticas peligrosas al momento de realizar actividades manuales (manipulación manual de cargas pesadas, cambios frecuentes entre diferentes tareas en períodos de tiempo irregulares, movimientos repetitivos un período prolongado de tiempo, levantamiento repentino de cargas) [25][26]. En la actualidad, mejorar el bienestar de los trabajadores en el proceso productivo es esencial para todas las empresas. Esto permite mayor eficiencia en los procesos que se pueden lograr gracias a la reducción del ausentismo y las interrupciones menos frecuentes [26][27].

C. Modelo de aumento de rendimiento con herramientas de estudio de métodos

Las industrias deben estar preparadas de antemano para sumergirse en la alta competencia para sobrevivir y obtener ganancias. Mientras se enfrenta a una fuerte competencia, una

empresa necesita mejorar el rendimiento esforzándose en administrar un sistema de gestión empresarial bien establecido para producir de manera más efectiva y eficiente, competir y obtener un beneficio. Una de las formas de lograr este objetivo es mejorar el proceso de producción. El proceso de producción debe llevarse a cabo de forma continua para reducir la pérdida de material y de tiempo [28] [29]. Del mismo modo, la gestión de capital humano, recursos materiales y financieros en conjunto son importantes, ya que estos permiten una reducción costos y una mejora en la calidad de los productos. Por tal motivo, para incrementar y mejorar la calidad de la producción se deben aplicar técnicas y herramientas de estudios de métodos como el estudio de tiempos y movimientos, diagramas de flujo, análisis de Pareto para que el sector industrial alcance competitividad [30][31].

D. Modelo de aumento de rendimiento con la implementación de un plan de mantenimiento preventivo

En el mercado mundial de las fuentes de energía de petróleo y gas, la complejidad de las instalaciones, equipos, sistemas, problemas y costos involucrados se encuentran relacionadas a las operaciones de mantenimiento. En varios informes relacionados con condiciones inseguras, incluidas las causadas por daños en el equipo, fugas en tuberías, errores de diseño, etc. Esto puede provocar una interrupción de la productividad, la seguridad y el medio ambiente, por lo que se necesita un esfuerzo para mejorar la calidad del mantenimiento de las instalaciones en el campo, sin dejar de prestar atención a la calidad y seguridad [33] [34]. Asimismo, la planta y las maquinarias representan más del 50% de los activos de los principales sistemas de ingeniería, y su análisis del tiempo de inactividad es clave para su supervivencia. Por tal motivo, con el fin de mantener inherente confiabilidad y estabilidad de los equipos en el diseño, la gestión y el mantenimiento se convierte en un sistema esencial de las actividades de producción empresarial [35]

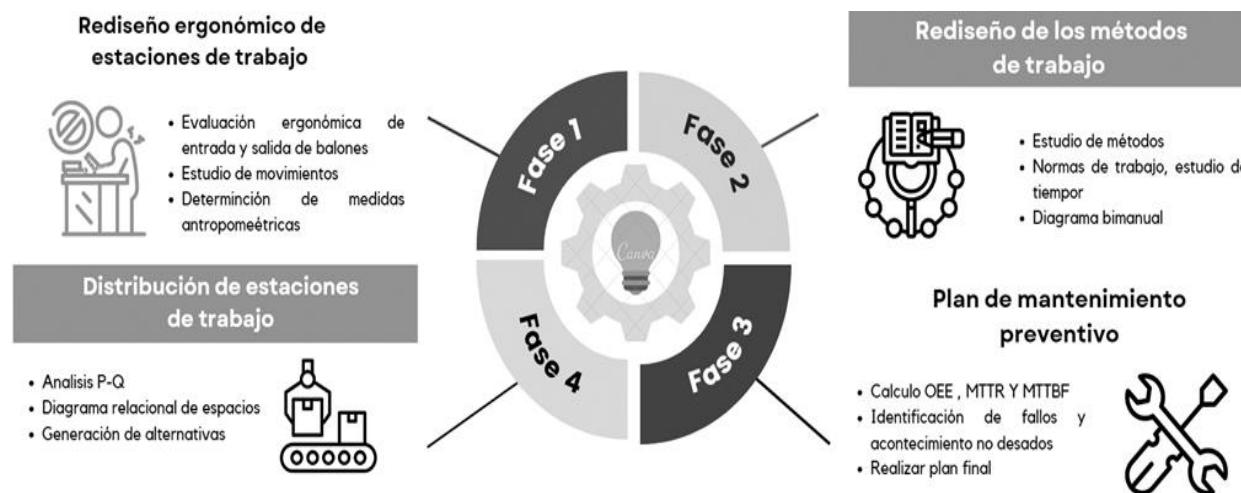


Fig. 1 Modelo general para la mejora del rendimiento

Nota: Este modelo fusiona herramientas de rediseño ergonómico, métodos y estaciones de trabajo, y la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo.

D. *Modelo de aumento de rendimiento con la distribución de estaciones*

Las empresas manufactureras suelen tener elevados tiempos de producción debido a las distancias que deben recorrer los materiales. Por ello, el diseño del uso de las instalaciones es un factor crucial para lograr un proceso de producción eficiente [16][17]. El rendimiento de la distribución de las estaciones de trabajo, así como su productividad, influyen en el desempeño general y la calidad de los productos. La disposición de las instalaciones físicas, maquinarias y equipos, es clave para lograr un flujo de materiales óptimo al menor costo posible [18][19].

A menudo, las estaciones de trabajo se diseñan sin tener en cuenta un diseño de planta eficiente, lo que genera problemas como el cruce de materiales durante el proceso de producción. El diseño de planta se utiliza para lograr objetivos específicos en el bosquejo de un nuevo centro de trabajo o para mejorar la productividad y ampliar la línea de productos [20][21]. El objetivo principal es minimizar el costo de manejo de materiales, pero también hay otros indicadores importantes para tener en cuenta. Ante esta situación, se han utilizado herramientas en conjunto con la distribución de planta para aumentar el rendimiento de la producción. El uso de estas ayuda a mejorar la eficiencia en el proceso productivo, lo que conduce a una mayor competitividad en el mercado. [22][23].

III. APORTE

A. *Fundamento*

El modelo de mejora se desarrolló en base a la combinación de diferentes herramientas para lograr el aumento de rendimiento en la producción. En la primera etapa de la propuesta se buscó realizar cambios en los métodos de transporte de materiales mediante un enfoque ergonómico para disminuir el índice de riesgo ergonómico OWAS. Además, se combinó el rediseño ergonómico de estaciones de trabajo junto al rediseño los métodos de trabajo para disminuir tiempos en los procesos manuales y repetitivas. En [30] el modelo del rediseño de los métodos de trabajo logró eliminar y mejorar actividades innecesarias que podrían afectar la productividad, seguridad, y calidad de la producción. Por otro lado, con el fin de mitigar la deficiente calibración en las balanzas se propone implementar un plan de mantenimiento preventivo. En [35] determinan que dicho plan permitió evitar pérdidas y aumentar la productividad de los dispositivos de fabricación. Finalmente, las metodologías de Diseño Sistemático de Planta (SLP), en el que la estructura y organización de las estaciones de trabajo de la empresa es un factor influyente en el desempeño para respaldar el proceso de producción optimizado.

B. *Aporte General*

Se realizó el diseño del modelo general con el objetivo de aumentar el rendimiento en el proceso de envasado de balones de 10 kg de GLP en la empresa.

En la primera fase, se realizó el rediseño ergonómico de las estaciones de trabajo mediante una evaluación ergonómica con la herramienta OWAS. La definición de esta proviene del acrónimo que significa "Ovako Working Posture Analysis System", que en español se puede traducir como "Sistema de Análisis de Postura de Trabajo de Ovako", con la cual se identificó operaciones repetitivas que afectan a largo plazo el sistema musculoesquelético de los operarios. Seguidamente, se realizó el diseño propuesto con ayuda de un estudio antropométrico a los operarios en las estaciones de trabajo con el objetivo que los trabajadores puedan trabajar en óptimas condiciones.

En la segunda fase, se implementó el rediseño de los métodos de trabajo con los pasos sugeridos por la OIT, en el cual se dividen en evaluar, definir, implementar y mantener en uso. Mediante el establecimiento de normas de trabajo se permite lograr el aumento de la productividad y reducir el costo por unidad, logrando aumentar su eficiencia de forma que se pueda producir más productos en menor tiempo. [29]

En la tercera fase, se ejecutó el diseño del plan de mantenimiento preventivo para las balanzas envasadoras. En [35] para implementar el plan de mantenimiento se debe realizar el análisis de las funciones de la maquinaria, relacionar a las posibles causas de fallo, clasificar las causas y realizar soluciones para mitigar las causas encontradas. Por ello, se realizó cronogramas acerca del periodo de mantenimiento que debe seguir una máquina para que su funcionamiento y vida útil no sean afectados.

En la cuarta fase, se realizó el análisis y redistribución de las estaciones de trabajo basado en la metodología Systematic Layout Planning (SLP) o Planeación Sistemática de la Distribución en Planta. Esta técnica es la más utilizada para la resolución de distribución en planta a partir de criterios cuantitativos y cualitativos [31]. Permitiendo mejorar la ubicación de las estaciones de trabajo con el objetivo de reducir las distancias recorridas y la cantidad de pintura desperdiciada.

IV. VALIDACIÓN

A. *Descripción del escenario*

Este artículo se enfoca en una empresa del sector de energía, específicamente en una envasadora de balones con GLP. En esta empresa se identificó que la demanda de los balones de GLP no se encuentra satisfecha y se procedió a identificar cual era la principal causa. Para ello, se realizó un estudio de tiempos en el proceso de envasado de balones. de manera que se determine el tiempo estándar de cada actividad, además del tiempo del ciclo, la capacidad real de producción y

los cuellos de botella. El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a una tarea definida [14]. Cabe mencionar que el estudio de tiempos se realizó con un cronometraje de tipo acumulativo, mientras que para el factor de valorización se tomó como referencia la tabla de Whestinghouse. Esta consiste en evaluar la actuación del operario calificando cuatro valores claves: Habilidad, esfuerzo, condición y consistencia. [15]. A continuación, se muestra en la tabla I el resumen del estudio de tiempos.

TABLA I
CÁLCULO DE TIEMPO ESTÁNDAR

Estación	F.V	Tiempo observado (segundos)	Tiempo básico (segundos)	Suplementos %	Tiempo estándar (segundos)	Unidades /minuto
Recepción	1.20	15.4	18.5	1.2	11.3	5.31
Pintado	1.00	6.5	6.5	1.2	7.5	7.98
	0.85	5.9	5.0	1.2	3.1	19.67
Tarado	0.90	6.6	5.9	1.2	6.9	8.72
Envasado	1.00	4.1	4.1	1.2	4.8	12.63
	1.00	2.8	2.8	1.1	3.1	19.65
	1.00	60.8	60.8	1.0	5.1	11.84
	1.00	2.7	2.7	1.2	3.3	18.06
Repesado	1.00	8.0	8.0	1.2	9.6	6.24
Probado	1.15	6.6	7.6	1.1	8.5	7.05
Logueado	0.95	2.6	2.5	1.1	2.8	21.74
Precintado	0.90	8.6	7.7	1.1	8.6	7.02
Salida	0.90	6.5	5.8	1.3	3.9	15.50
	1.00	8.4	8.4	1.3	5.6	10.75
Tiempo de ciclo (segundos/balón)		172				
Rendimiento (balones/hora)		374				

Mediante este estudio se obtuvieron los siguientes resultados:

- La capacidad de producción de la planta es de 374 balones por hora.
- El cuello de botella se encuentra en la estación de repesado con un tiempo de 6.24 balones por minuto.
- El tiempo de ciclo es de 172.15 segundos.

Con esta información, se procedió a determinar la capacidad de planta para poder compararla con la producción real diaria. El resultado de la producción de planta diaria (ver tabla II) fue de 8234 balones mientras que la producción real se encuentra en 6248 balones por día, según la data analizada en el periodo de enero a diciembre del 2021.

TABLA II
CAPACIDAD DE PLANTA TEÓRICA Y REAL

Capacidad de planta				
Tiempo	Día		Hora	
Capacidad de planta (Teórica)	8234	balones/día	374	balones/hora
Producción de planta (Real)	6248	balones/día	284	balones/hora
Rendimiento actual	75.88%			

Las principales causas que originan este bajo rendimiento son los balones que incumplen con rango de peso indicado Decreto Supremo N° 01-94, los reprocesos por balones defectuosos y la fatiga laboral. Dicho decreto señala en el artículo N° 9 que el peso neto del GLP ingresado al balón debe ser $\pm 2.5\%$ del peso nominal declarado. Es decir, para un balón de 10 kg el peso debe encontrarse en el intervalo de 9.750 kg a 10.250 kg.

Continuando con la explicación de las causas que originan el bajo rendimiento tenemos, en primer lugar, los balones que no tienen el rango de peso dentro de la normativa son ocasionados que la empresa no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo para las balanzas envasadoras y pesadoras. En segundo lugar, el reproceso de balones por defecto es causado por los balones que presentan fallas en el pin, válvula o ambas. Finalmente, la fatiga laboral surge como resultado de actitudes y posturas de trabajo en la realización de actividades sin prestar atención a las normas ergonómicas de trabajo. Esto impacta directamente al proceso debido a que gran parte de las actividades son repetitivas y manuales. Por ello, se procedió a brindar herramientas que logren dar solución al problema del bajo rendimiento.

B. Diseño de la validación

El método de validación del modelo de mejora se realizará por medio de una prueba piloto y por simulación. Por un lado, para el rediseño ergonómico de las estaciones de trabajo y el rediseño de métodos de trabajo se realizó una prueba piloto que consistió en capacitaciones del personal, concientización del uso de EPPS y seguimiento constante de los cambios de métodos de trabajo. El estudio piloto elaborado cuenta con los siguientes pasos:

- **Preparación:**

Para realizar la preparación de la validación se realizó un plan de capacitación con temas

obligatorios según la Ley N° 29783, ley de seguridad y salud en el trabajo.

- **Capacitación:**

Por un lado, al jefe de planta y a los supervisores de la producción, se les instruyó en los temas de evaluación en seguridad y salud ocupacional. Explicando el enfoque de la evaluación de actividades potenciales que pueden ocasionar accidentes e incidentes en los operarios por medio de la identificación, valoración y control de dichas causas. La finalidad de esto es monitorear y mitigar las causas de los accidentes por medio de planes periódicos de control. Por otro lado, la capacitación del personal se realizaron los martes, jueves y sábados de 4 a 5:30 pm, ya que se consideró el horario ideal porque según los datos históricos de la empresa en ese rango de horas hay menor flujo de balones para envasar.

Por otro lado, para la validación de la distribución de estaciones y la implementación del sistema auxiliar de salida balones, una cabina de pintado y la de un plan de mantenimiento preventivo se utilizó el software Arena 16.2 para simular la viabilidad de la propuesta. Una vez realizada la simulación, se analizó los indicadores del tiempo de producción por balón, la cantidad de balones producidas por año, cantidad de balones que presentan un peso excesivo y la cantidad de pintura utilizada por balón.

V. DISCUSIÓN

A. Nuevos Escenarios vs. Resultados

En este apartado, se discutirá acerca de los resultados de la validación en diferentes condiciones. Para ello, se subdividirá los siguientes escenarios:

Escenario 1: Aplicación de la prueba piloto del rediseño ergonómico de estaciones y métodos de trabajo.

En este escenario, se analiza sólo la aplicación de la prueba piloto realizada en la empresa. La prueba piloto consistía en la aplicación del rediseño de estaciones y métodos de trabajo. En este caso, se logró disminuir la categoría de riesgo de las actividades críticas que pueden generar lesiones musculoesqueléticas en los operarios. Asimismo, se buscó disminuir la cantidad de actividades que no generan valor al proceso ni al cliente en la actividad de tarado de balones.

Escenario 2: Aplicación de la simulación de la implementación del plan de mantenimiento preventivo y la redistribución de estaciones de trabajo

En este escenario, se realizará la simulación de la implementación de plan de mantenimiento preventivo y la redistribución de estaciones de trabajo con los tiempos iniciales de tarado, envasado y logueado. Por ello, se debió

tener en cuenta las variables de frecuencia de mantenimiento, tiempo promedio de mantenimiento de las balanzas por actividad, el tiempo de traslado de materiales y el número de reprocesos.

Escenario 3: Aplicación del modelo de mejora para aumentar el rendimiento

Este escenario es el ideal debido a que se combina los tiempos de la aplicación del modelo piloto de rediseño de estaciones y métodos de trabajo con la simulación de un plan de mantenimiento preventivo y la redistribución de estaciones de trabajo.

B. Análisis de los resultados

En este apartado, se realizará el análisis de los resultados del rendimiento, tiempo promedio de envasado y cantidad de balones que presentan peso excesivo en los escenarios previamente explicados:

TABLA III
INDICADORES

Escenarios	Valor	Rendimiento de la planta	Tiempo promedio del proceso de envasado (segundo/balón)	Cantidad de balones que presentan peso excesivo
	1		7116	168.5
2		7215	165.8	575
3		7523	154.5	414
Estadísticas	Promedio	7284.67	162.93	571.33
	Varianza	173.31	6.06	127.00
	Desviación Estándar	212.26	7.43	155.53

Se puede apreciar de la tabla III que la variabilidad del rendimiento de la planta y la cantidad de balones que presentan peso excesivo es alta. Esto se debe a que los resultados se toman como referencia el tiempo de trabajo en una jornada de 20 horas de trabajo. Mientras que en el tiempo promedio del proceso de envasado su variabilidad es menor ya que se considera como análisis de estudio el tiempo de envasado por unidad.

AGRADECIMIENTOS

Por medio de este artículo agradecemos al apoyo de todas las personas que nos brindaron su apoyo para lograr realizar y desarrollar esta investigación. En primer lugar, agradecemos a nuestros padres que nos brindaron los recursos necesarios para poder formarnos como profesionales íntegros en la sociedad.

En segundo lugar, a nuestra asesora que nos brindó las recomendaciones para realizar esta investigación. Finalmente, a la empresa de estudio que nos ofreció los datos y los permisos para aplicar nuestra propuesta.

CONCLUSIONES

El proyecto de investigación tuvo como principal objetivo aumentar el rendimiento actual de la empresa. Inicialmente el rendimiento de la empresa fue de 75.29%. Luego de realizar una revisión literaria, se identificó que este rendimiento estaba por debajo del promedio en empresas envasadoras de GLP, las cuales tenían un rendimiento promedio del 83.47%. Es por ello, que se realizó una propuesta de mejora basada en 4 fases en las que se aplican herramientas de estudio de métodos de trabajo, SLP e implementación de un plan de mantenimiento preventivo. Como resultado, se espera aumentar el rendimiento en un 11.47%, lo que daría como resultado un del 86.76% del rendimiento total en el proceso de envasado. Esto se lograría gracias a la aplicación de estas herramientas propuestas en el plan de mejora.

La validación de la propuesta se realizó de dos formas. En primer lugar, para validar el rediseño ergonómico de las estaciones y el rediseño de métodos de trabajo en la estación de tarado se realizó un plan piloto para poder monitorear como impactan las recomendaciones en tiempo real. Asimismo, en el caso del rediseño ergonómico, se realizó entrenamientos constantes de los métodos correctos para evitar lesiones y la creación de planes de detección y eliminación de riesgos que pueden impactar de forma negativa a los operarios. En segundo lugar, la validación de la distribución de estaciones de trabajo y la implementación de un plan de mantenimiento preventivo se realizó por medio de simulaciones en el software Arena 16.2.

Los principales resultados de la implementación de la propuesta son que se podrá aumentar el rendimiento en 11.47% y el OEE en de las balanzas en 49%. Por otro lado, se logrará reducir el tiempo promedio de envasado por balón en 12.71%, la cantidad de balones que presentan peso que incumplen con la norma en 49.20%, uso de galones de pintura en 13.89% y el índice de actividades que no generan valor en el área de tarado en 21%.

REFERENCIAS

[1] Dominguez-Alfaro, D., Mendoza-Muñoz, I., Montoya-Reyes, M. I., Navarro-González, C. R., Cruz-Sotelo, S. E., & Vargas-Bernal, O.Y. (2021). Ergovsm: A new tool that integrates ergonomics and productivity. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(3), 552–569. <https://doi.org/10.3926/jiem.3507>.

[2] Ceccacci, S., Matteucci, M., Peruzzini, M., & Mengoni, M. (2019). A multipath methodology to promote ergonomics, safety and efficiency in agile factories. *International Journal of Agile Systems and Management*, 12(4), 407–436. <https://doi.org/10.1504/IJASM.2019.104582>

[3] Roh, P., Kunz, A., & Wegener, K. (2019). Information stream mapping: Mapping, analysing and improving the efficiency of information streams in manufacturing value streams. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 25, 1–13. <https://doi.org/10.1016/J.CIRPJ.2019.04.004>

[4] Chu, J., Wu, J., Chu, C., & Liu, M. (2020). A new DEA common- weight multi-criteria decision- making approach for technology selection.

International Journal of Production Research, 58(12), 3686–3700. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1634294>

[5] De la Cruz, R., Solís, B., Coello, F., & Guevara, E. Determinantes de los diferenciales de precios en el mercado de GLP envasado en el Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1473569/Documento%20de%20Trabajo%2049.pdf>

[6] OSINERGMIN. (2020). Informe de Resultados Consumo y Usos de los Hidrocarburos Líquidos y GLP Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía-ERCUE 2018. http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/pages/Estudios_Economicos/77.htm

[7] Vásquez, A.; Aguirre, C.; Guevara, E. y Phan, H.; (2017). La Escalera Energética: Marco Teórico y Evidencias para el Perú. Reporte Especial No 001-2017- GPAE/OS Febrero. Gerencia de Políticas y Análisis Económico, Osinergmin – Perú.

[8] Bariha, N., Srivastava, V. C., & Mishra, I. M. (2021). Incident analysis of various sections of a liquefied petroleum gas (LPG) bottling plant. *Indian Chemical Engineer*, 63(1), 50–61. <https://doi.org/10.1080/00194506.2019.1690591>

[9] Zhou, F., Liu, H., & La, J. (2020). Fatigue Analysis of Liquefied Petroleum Gas Cylinders for Safety Risk Assessment. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 25(3), 394–397. <https://doi.org/10.1007/s12204-019-2143-x>

[10] Kolawole, A., Ikubanni, P. P., Adeleke, A. A., Alaka, O. S., & Agboola, O. O. (2020). Modeling of a Plant Layout for a Liquefied Petroleum Gas Refilling Plant. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 55(6), 2049–2060.

[11] Shimul Hossain, M., Golam Muntasir Shehab, M., Mahmood Leon, S., Kumar Pal, S., Rafi, R., Alom Emon, R., Kumar Gain, S., & Shaheen Shah, M. (2019). Liquefied Petroleum Gas (LPG) Bottling Process and Required Safety During Bottling: A Case Study. *Petroleum Science and Engineering*, 3(1), 5. <https://doi.org/10.11648/j.pse.20190301.12>

[12] Kukfisz, B., Kuczyńska, A., Piec, R., & Szykuła-Piec, B. (2022). Research on the Safety and Security Distance of Above-Ground Liquefied Gas Storage Tanks and Dispensers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph19020839>

[13] Bariha, N., Srivastava, V. C., & Mishra, I. M. (2021). Incident analysis of various sections of a liquefied petroleum gas (LPG) bottling plant. *Indian Chemical Engineer*, 63(1), 50–61. <https://doi.org/10.1080/00194506.2019.1690591>

[14] Correia, A., Lopes, C., Costa e Silva, E., Monteiro, M., & Lopes, R.B. (2020). A multi-model methodology for forecasting sales and returns of liquefied petroleum gas cylinders. *Neural Computing and Applications*, 32(16), 12643–12669. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-04713-0>

[15] Misra, S., Kapadi, M., Gudi, R. D., & Saxena, D. (2019). Resource Optimization and Inventory Routing of the Packaged Liquefied Gas Supply Chain. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 58(18), 7579–7592. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b05604>

[16] Onyejeakor, A. T., Ugheoke, B. I., Muhammad, I., & Adejo, A. (2021). Production-time Evaluation Technique for Small Manufacturing Plants Aadaora Theophine Onyejeakor. *FME Transactions*, 49(1), 186–194. <https://doi.org/10.5937/FME2101186T>

[17] Kovács, G. (2020). Combination of Lean value-oriented conception and facility layout design for even more significant efficiency improvement and cost reduction. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2916–2936. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1712490>

[18] Kovács, G. (2019). Layout design for efficiency improvement and cost reduction. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 67(3), 547–555. <https://doi.org/10.24425/bpasts.2019.129653>.

[19] Suhardi, B., Juwita, E., & Astuti, R. D. (2019). Facility layout improvement in sewing department with Systematic Layout planning and ergonomics approach. *Cogent Engineering*, 6(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1597412>

[20] Harari, Y., Bechar, A., & Riemer, R. (2019). Simulation- Based Optimization Methodology for a Manual Material Handling Task Design That Maximizes Productivity while Considering Ergonomic Constraints. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 49(5), 440–448. <https://doi.org/10.1109/THMS.2019.2900294>

- [21]Liu, S., Nkrumah, E. N. K., Akoto, L. S., Gyabeng, E., & Nkrumah, E. (2020). The State of Occupational Health and Safety Management Frameworks (OHSMF) and Occupational Injuries and Accidents in the Ghanaian Oil and Gas Industry: Assessing the Mediating Role of Safety Knowledge. *BioMed Research International*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6354895>
- [22]Boulila, A., Ayadi, M., & Mrabet, K. (2018). Ergonomics study and analysis of workstations in Tunisian mechanical manufacturing. *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, 28(4), 166–185. <https://doi.org/10.1002/hfm.20732>
- [23]Brito, M. F., Ramos, A. L., Carneiro, P., & Gonçalves, M. A. (2020). A continuous improvement assessment tool, considering lean, safety and ergonomics. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(5), 893–916. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2017-0144>
- [24]Ita Erliana, C., Monika Br Ginting, I., & Abdullah, D. (2021). Redesign Work Method Using Kaizen Engineering. 11(1).
- [25]Andrade, A. M., Del Río, C. A., & Alvear, D. L. (2019). A study on time and motion to increase the efficiency of a shoe manufacturing company. *Informacion Tecnologica*, 30(3), 83–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300083>
- [26]Germanes, J. S., Puga, M. F., Sabio, R. B., Sanchez, E. M., & Hugo, J. C. (2017). Improving Efficiency of Shoe Manufacturer through the Use of Time and Motion Study and Line Balancing. *Journal of Industrial and Intelligent Information*. <https://doi.org/10.18178/jiii.5.1.16-22>
- [27]Djumentara, U. A., As'Adi, M., & Dewi, A. C. (2021). The Implementation of Maintenance Quality Function Deployment (MQFD) to Improve the Quality Maintenance Management for the Upstream Oil and Gas Industry. *Journal of Physics: Conference Series*, 1899(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1899/1/012087>
- [28]Inyama, G. K., & Oke, S. A. (2021). Maintenance downtime evaluation in a process bottling plant. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 38(1), 229–248. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-12-2018-0340>
- [29]Zeng, P., Shao, W., & Hao, Y. (2021). Study on preventive maintenance strategies of filling equipment based on reliability- centered maintenance. *Tehnicki Vjesnik*, 28(2), 689–697. <https://doi.org/10.17559/TV-20190404054849>
- [30]Schindlerová, V. (2020). Potential of Using TPM to Increase the Efficiency of Production Processes. *Tehnicki Vjesnik*, 27, 737–743. <https://doi.org/10.17559/TV-20190328130749>
- [31]Andrade, A. M., Del Río, C. A., & Alvear, D. L. (2019). A study on time and motion to increase the efficiency of a shoe manufacturing company. *Informacion Tecnologica*, 30(3), 83–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300083>
- [32]Marek Ondov, Andrea Rosova, Marian Sofranko, Jan Feher, Jozef Cambaland Erika and Feckova Skrbulakova (2022). Redesigning the Production Process Using Simulation for Sustainable Development of the Enterprise. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14031514>
- [33]Andrade, A. M., Del Río, C. A., & Alvear, D. L. (2019). A study on time and motion to increase the efficiency of a shoe manufacturing company. *Informacion Tecnologica*, 30(3), 83–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300083>
- [34]Kovács, G. (2020). Combination of Lean value-oriented conception and facility layout design for even more significant efficiency improvement and cost reduction. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2916–2936. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1712490>
- [35]Kovács, G. (2019). Layout design for efficiency improvement and cost reduction. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 67(3), 547–555. <https://doi.org/10.24425/bpasts.2019.129653>