



Revista Venezolana de Gerencia



Como citar: Fábregas Villegas, J., Díaz Díaz, L., Medina Mosquera, C., y Buelvas Castro, E. (2023). Gerencia del mantenimiento enfocada en la industria de compresión de gas natural. *Revista Venezolana De Gerencia*, 28(Edición Especial 10), 1503-1517. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.e10.38>

Universidad del Zulia (LUZ)
Revista Venezolana de Gerencia (RVG)
Año 28 No. Especial 10, 2023, 1503-1517
julio-diciembre
ISSN 1315-9984 / e-ISSN 2477-9423



Gerencia del mantenimiento enfocada en la industria de compresión de gas natural

Fábregas Villegas, Jonathan*
Díaz Díaz, Lauriza**
Medina Mosquera, Claudia***
Buelvas Castro, Edgardo****

Resumen

El estudio se realiza un análisis con el propósito de mejorar las características operativas de determinadas maquinarias utilizadas en la industria de comercialización de gas natural comprimido, proveniente del Caribe colombiano, tales como Promigas, con el enfoque de reducción de costos de materiales, y tiempos implementados en esta actividad productiva. Para ello, se realizó una propuesta desde el ámbito de la gerencia del mantenimiento para la reducción de costos operativos en la industria de compresión de gas natural. Se aplican criterios de decisión desde la gerencia y gestión del mantenimiento, así como desde los aspectos tecnológicos y operativos de un sistema de lubricación forzada que promete, desde la aplicación de métodos de mejora continua como lo es el ciclo Deming, generar una reducción de costos potenciales y mejora tecnológica en el funcionamiento de dichos sistemas mecánicos, implementados en la producción de gas natural comprimido de una compañía ubicada en el Caribe colombiano. Como resultado de la estrategia se obtienen proyecciones de adaptación tecnológica de los sistemas, además de las mejoras económicas

Recibido: 23.05.22

Aceptado: 07.07.22

- * Doctorante en Dirección de Proyectos, Universidad Benito Juárez G., México. Magister en Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma del Caribe, Colombia. Ingeniero Mecánico, Universidad Autónoma del Caribe, Colombia. Docente investigador de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Caribe, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1924-8666>. Email: jonathanfabregasv@gmail.com
- ** Magister en Logística Integral, Universidad Autónoma del Caribe, Colombia. Especialista en Gerencia de Producción y Operaciones Logísticas, Universidad Autónoma del Caribe, Colombia. Ingeniero Industrial, Universidad Autónoma del Caribe, Colombia. Docente investigador del Programa Virtual de Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Americana, Colombia. Email: ldiaz@coruniamericana.edu.co
- *** Magister en informática, Universidad Tecnológica metropolitana, Chile. Ingeniero de Sistemas, Universidad Autónoma del Caribe, Colombia. Docente de la facultad de Ingeniería, Universidad De la Costa CUC, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5499-8513>. Email: cmedina4@cuc.edu.co
- **** Doctor en Ciencia, Universidad Rafael Belloso Chacin, Venezuela. Magister en Informática, Universidad Tecnológica Metropolitana, Chile. Especialista en Docencia Universitaria, Universidad Antonio Nariño, Colombia. Ingeniero de Sistemas, Universidad del Norte, Colombia. Docente investigador de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Caribe, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3097-1997>. Email: edgardobuelvas@gmail.com

Jonathan Fábregas Villegas; Lauriza Díaz Díaz; Claudia Medina Mosquera; Edgardo Buelvas Castro

*Gerencia del mantenimiento enfocada en la industria de compresión de gas natural*_____

proyectadas al ejecutarse la propuesta. Se puede destacar que los criterios de decisión resaltan el uso de la evaluación de los riesgos operativos y los beneficios de implementar la propuesta desarrollada.

Palabras clave: Gerencia del mantenimiento; mejora continua; análisis de riesgos; lubricación forzada; compresores recíprocos; gas natural comprimido.

Maintenance management focused on the natural gas compression industry

Abstract

A proposal was made from the field of maintenance management to reduce operating costs in the natural gas compression industry. Decision criteria are applied from the management and maintenance management, as well as from the technological and operational aspects of a forced lubrication system that promises, from the application of continuous improvement methods such as the Deming cycle, to generate a reduction in potential costs. and technological improvement in the operation of said mechanical systems, implemented in the production of compressed natural gas of a company located in the Colombian Caribbean. As a result of the strategy, projections of technological adaptation of the systems are obtained, in addition to the projected economic improvements when the proposal is executed. It can be noted that the decision criteria highlight the use of the evaluation of operational risks and the benefits of implementing the developed proposal.

Keywords: Maintenance management; continuous improvement; risk analysis; forced lubrication; reciprocating compressors; compressed natural gas.

1. Introducción

Las actividades gerenciales y productivas en las industrias de compresión de gas natural provenientes del Caribe colombiano, en general, pueden ser afectadas por fallos operativos desde el área del mantenimiento de equipos, lo que incurre a que se presenten gastos adicionales

de compra de insumos como lo es el aceite de lubricación para las máquinas, por lo tanto, se requiere del análisis de decisiones para mejorar las actividades y procesos de estas compañías. Y en consecuencia se hace necesario establecer criterios para presentar una propuesta con el propósito de evaluar nuevas maneras de encontrar ahorros dentro de los procesos ya

parametrizados y con trazabilidad.

Lo que implica rehacer desde las actividades gerenciales y de gestión nuevos planes y capacitaciones para que desde el primer nivel de la cadena se ejecuten mejoras en los procesos.

Partiendo de lo mencionado, una planificación que englobe los procesos gerenciales desde las actividades de mantenimiento de equipos de producción, requieren de identificar, seleccionar y establecer las metodologías a aplicar.

La metodología Lean Six Sigma (LSS) es utilizada con el propósito de mejorar los procesos, reducir costos operativos, lograr una mejor eficiencia en los procesos, minimizar el impacto ambiental, entre otros factores aplicados al sector industrial. Al hacer una revisión de sus aplicaciones se detalla la contribución en organizaciones, enfocándose en analizar la administración operativa con base a la mejora continua de los procesos, y su importancia relevante en el escenario de la industria 4.0 (Abbes et al, 2022; Guleria et al, 2022; Ramírez et al, 2021; Rath et al, 2021; 2022).

Desde la administración contable de los procesos, en la actividad gerencial de las organizaciones se desarrollan las estrategias implementadas en la mejora continua y su aporte a los procesos contables, como por ejemplo en las Mipymes (Crespo et al, 2020). Destacándose el uso de la planificación, la comercialización, la administración, la contabilidad y finanzas, la calidad, el talento humano, la gestión ambiental, y los sistemas de información, como dimensiones que aportan a la mejora de los procesos a nivel empresarial (Bada et al, 2017; Mora-Riapira et al, 2015; Torres & Lamenta, 2015).

Para la actividad productiva de la industria objeto de estudio y tomando

la finalidad de la mejora continua en la planificación, metodologías como el método de las 5s que en siglas representan la filosofía japonesa de; ordenar (Seiri), poner en orden (Seiton), limpiar (Seiso), estandarizar (Seikutsu), y mantener (Shitsuke), soportan la importancia de este método para actividades industriales con el propósito de mejorar la producción y generar una cultura de mejora continua en los procesos, que aplican desde pequeñas compañías de ámbito artesanal así como de grandes industrias que emplean maquinaria de alta tecnología (Flores et al, 2018; Senthil et al, 2022; Shahriar et al, 2022; Veres et al, 2018).

Consecuentemente, Luciani et al, (2019), analizó el comportamiento gerencial en Mipymes ubicadas en el territorio ecuatoriano, en la que se hizo una revisión de las actividades que involucran criterios de las llamadas 8 dimensiones empresariales, utilizadas en la mejora continua de procesos, las cuales destacan una importancia relevante con relación a la actividad comercial que presentan estos sectores.

Además, se destaca que Benites et al, (2020) aplicaron métodos de mejora continua en una empresa ubicada en el territorio colombiano, en el cual se enfocaron en un producto para evaluar y analizar el comportamiento del método de las 5s, donde se observa que este presenta incrementos significativos en la productividad de la empresa objeto de estudio, demostrándose así la importancia que presenta la aplicación de este método en el ámbito industrial.

Al hacer inferencia de lo detallado anteriormente, para el desarrollo del presente estudio se realiza un análisis con el propósito de mejorar las características operativas de determinadas maquinarias utilizadas en

la industria de comercialización de gas natural comprimido, proveniente del Caribe colombiano, tales como Promigas, con el enfoque de reducción de costos de materiales, y tiempos implementados en esta actividad productiva. Aplicando criterios de decisión basados en la gerencia del mantenimiento y el ciclo PHVA de Deming para la mejora continua de los procesos.

2. Gerencia del mantenimiento

En organizaciones ubicadas en el Caribe colombiano, vinculadas a aplicaciones industriales como lo puede ser el almacenamiento, la venta, y el transporte del gas natural comprimido, se encuentra el área de gestión del mantenimiento de equipos y sistemas, que tiene el propósito de extender la vida y operatividad de los componentes de máquinas y líneas de procesos utilizados para tal actividad, como también los tiempos empleados por el talento humano destinados en estas áreas.

Una de las estrategias aplicables a la gerencia del mantenimiento está asociada a la gestión de la mejora continua o Modelo Self Lead Team, este último enfocado en el alcance de los objetivos junto a los resultados comprobables, teniendo como propósito de logro la mejora en los procesos, capacidades del talento humano y la propia actividad económica (Rujano et al, 2020).

Basándose en la revisión contextual de la gestión de mantenimiento a nivel de industria se puede evidenciar que muchos de los procesos presentan paradas por mantenimiento correctivo, lo que hace que se tengan falencias desde la planificación gerencial para prevenir eventos inesperados (Ventura, 2015; Yoris, 2017). El mantenimiento correctivo

en si se utiliza para reparar daños repentinos o cambios de componentes de máquinas, lo que implica realizar paradas en la producción hasta que se subsanen estas fallas presentadas, esto afecta directamente las planificaciones gerenciales que se hayan tomado en pro de la mejora de la producción (Emami-Mehrgani et al, 2016; Özgür-Ünlüakın et al, 2021; Yu et al, 2019; Zhang et al, 2021).

La tarea de gerenciar cada plan de mantenimiento se encuentra directamente vinculado con la actividad económica de la compañía, al ser el elemento fundamental para garantizar la operatividad industrial de la misma.

Es por ello por lo que, el área encargada de la gerencia del mantenimiento industrial debe presentar conocimientos administrativos, abordando herramientas informáticas gerenciales que permitan una relación de los costos y eficiencia operativa de los equipos (Ardila et al, 2016).

Existen métodos como el de disponibilidad Dupont que es utilizado para la evaluación de indicadores tanto de calidad como de efectividad de los equipos en el área del mantenimiento, y es una herramienta que permite la toma de decisiones al hacer una revisión tecnológica de la operatividad en función de la actividad económica que presenta la compañía (Consuegra-Díaz et al, 2017), lo que presenta ayudas para la planificación de las estrategias en torno a la disminución de recursos, tiempos, riesgos para la actividad productiva y comercial estudiada.

Se resalta entonces que la gestión del mantenimiento debe ser una actividad gerencial vista como un pilar que induce a la mejora continua, y la competitividad de la compañía (Ortiz, Rodríguez & Izquierdo, 2013), con el propósito de

enlazar todos los niveles de decisión en una actividad gerencial coherente con la actividad productiva.

3. Procesamiento del gas natural comprimido

En la industria colombiana de transporte, venta y uso del gas natural comprimido se utilizan maquinarias específicas para tal propósito, una de ellas son los compresores recíprocos también llamados compresores alternativos. Estos compresores operan con sistemas de cilindro pistón, algo parecido a la etapa de compresión de un motor de combustión interna (Vergel et al, 2021). Son utilizados para elevar la presión del gas natural a través de su compresión hasta una magnitud determinada para su almacenamiento o venta.

El movimiento del pistón de estos compresores genera fricción y desgaste a la camisa del cilindro si no se lubrica adecuadamente (Cuevas, 2017), es por ello por lo que en esta etapa se utiliza el método de lubricación forzada que se hace a través de la impulsión por medio de una bomba de lubricación, con parte del aceite alojado en el cárter del compresor y destinado a las camisas de los pistones del mismo.

Este aceite una vez de cumplir su propósito de lubricar el pistón es inmediatamente desechado, el uso de este residuo es tratado por áreas postprocesos en este tipo de industrias.

Lo que indica que para un compresor recíproco convencional, el cual cuenta con 4 cilindros, se hace un consumo gradual del aceite proveniente del cárter de este mismo compresor. Por lo que un tanque de almacenamiento, el cual se encuentra para este estudio a una altura de 12 m recarga el nivel de aceite en este cárter, para así cumplir

con las condiciones de operación.

De este proceso se puede destacar que el aceite del cárter del compresor es renovado de manera automática, sin embargo, el consumo de aceite y tiempos de mantenimiento generan sobrecostos por parte del motor que opera con gas natural, ya que este no utiliza su aceite en el proceso de lubricación forzada, sino que este es desechado cuando se presenta su debida parada de mantenimiento, cabe destacar que la función del motor es transmitir la potencia utilizada en el compresor recíproco.

3.1 Características del proceso de compresión del gas natural

En la industria de compresión de gas natural proveniente del Caribe colombiano, empresas utilizan la serie de compresor Dresser RAM HOS de las cuales pueden tener un determinado número de cilindros de compresión. Para este estudio se empleó un número de 4 cilindros para la serie de compresor Dresser RAM 6HOS4 que posee los siguientes parámetros operativos: una capacidad de presión de 830 psig, y un consumo de 3.5 galones de aceite al día para la lubricación forzada de sus cilindros de compresión.

Como motor transmisor de potencia, para este estudio se emplea un motor serie G3608 de Caterpillar, el cual opera con gas natural como combustible de trabajo. Este motor es acoplado con el compresor recíproco mencionado, para cumplir con la actividad de compresión de gas natural. La selección del motor se hace a partir de la necesidad de potencia mecánica requerida por el sistema de compresión.

El aceite de reposición para el motor y el compresor se supe con un

sistema automático de llenado. Este sistema de llenado posee un depósito con una capacidad de 42 galones de aceite que opera a través de la apertura de válvulas que se activan como respuesta a los sensores de niveles ubicados en el cárter del motor G3608 y el cárter del compresor Dresser RAM 6HOS4 utilizados para este estudio.

El costo del aceite para recargar el reservorio es de un aproximado de 886.50 USD, siendo, 2216.25 USD al mes estimado para la compra en Colombia, esto provocado solo por la lubricación normalizada de un compresor Dresser RAM 6HOS4.

Mientras que por parte del motor G3608, propulsor del compresor. El aceite del cárter es cambiado cada 6 meses estipulado por su plan de mantenimiento para el régimen de uso, este cambio se hace de forma manual mediante parada de maquinaria despojando el aceite desgastado como residuo a una etapa de manejo de aceites residuales por empresas tercerizadas.

En la industria de compresión de gas natural existe una determinada gama de motores disponibles para ser acoplados con la respectiva serie de compresor reciprocante. Solo en la empresa Caterpillar se tiene en sus catálogos más de 20 series de motores G destinados para la compresión de gas natural.

En empresas vinculadas a la industria de compresión de gas natural, como lo es Promigas en el Caribe colombiano, se usa entre otros el motor G3608, el cual requiere de 94 galones de aceite para ajustar su nivel de lubricación, siendo esto 1.773 USD por cambio de aceite comprado en Colombia. Estas cifras generan el siguiente cuestionamiento, se realiza la parada cada determinado tiempo para cambiar la totalidad del aceite del

motor, ¿si se implementara un sistema para restitución automática del aceite del cárter del motor, utilizándose este, en la lubricación forzada del compresor se podría reducir los costos por paradas de mantenimiento?

Resulta que, si el aceite del motor no se dejara ensuciar por los gases contaminantes y material particulado de su proceso durante 6 meses, este podría ser utilizado a su vez por la lubricación forzada del compresor, acompañado de un sistema de filtrado, obteniéndose así una restitución automática del aceite que va al cárter del motor y así utilizar parte de este en la lubricación de los cilindros del compresor generando un ahorro de 1773 USD en aceite no utilizado en lubricación forzada.

4. Aplicación del Ciclo PHVA de Deming en la propuesta de mejora

Aplicando el ciclo de Deming de mejora continua de planear, hacer, verificar, y actuar (PHVA), se pueden obtener resultados en torno a la mejora de la calidad en gestión de proyectos en general (Moyano & Villamil, 2021).

La metodología de mejora continua se encuentra enmarcada en las organizaciones bajo la norma, la norma ISO 9001 del 2015 e indica las estrategias para realizar un buen trabajo aplicando mejora continua en una compañía (Salazar-Garces et al, 2020).

Por lo que al realizar un esquema de ciclo de mejora continua favorece al desarrollo y toma de decisiones de la actual propuesta. Por ello, en la ilustración 1 a continuación se muestra dicho esquema aplicado a la propuesta de ahorro económico en el proceso de lubricación forzada de gas natural.

Ilustración 1 Ciclo PHVA en la propuesta de mejora



Fuente: elaboración propia.

5. Planificación de la propuesta de mantenimiento

Desarrollar una propuesta de mejora en el ámbito del mantenimiento para empresas que utilizan equipos destinados a la compresión de gas natural, y teniendo como propósito explorar las posibilidades de ahorro en la compra de insumos como lo es el aceite utilizado para el mantenimiento periódico y la operatividad de los equipos y máquinas mencionadas de compresor Dresser RAM 6HOS4 y motor G3608.

Se hace necesario presentar un análisis correspondiente a las decisiones enmarcadas en la mejora continua de los procesos, la evaluación y valoración

del riesgo que se puede presentar al realizar cualquier acción de mejoras, en comparativa con los riesgos que se tienen en la condición actual de operación, y el análisis técnico económico en comparativa de las condiciones actuales con una la proyección de reducción de gastos al realizar una propuesta de mejora en la gestión del mantenimiento.

5.1. Análisis de decisión

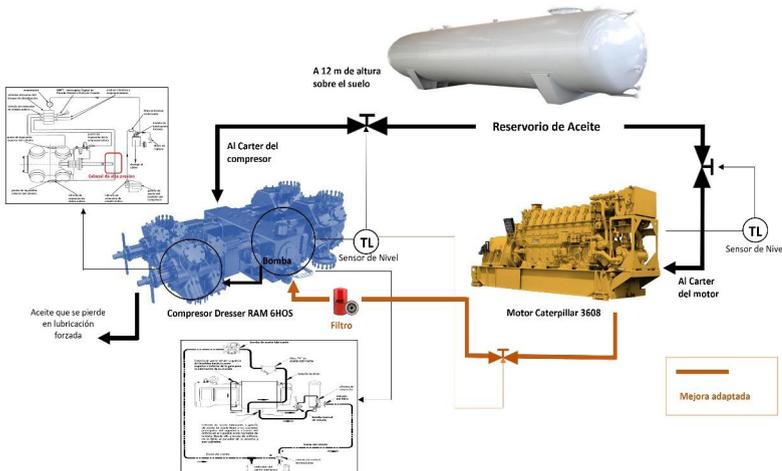
Como se ha indicado se tiene un reservorio de aceite elevado que por gravedad alimenta el cárter del motor G3608 y el cárter del compresor Dresser RAM 6HOS4. Los sensores del nivel de aceite y válvulas eléctricas de control de

flujo ubicados en ambos cárteres son accionados mediante un PLC. El aceite que va al cárter del motor recircula permanentemente hasta su extracción manual por desgaste y suciedad, mientras que el aceite que va al cárter del compresor recircula y a su vez es bombeado a la lubricación forzada de los

cilindros, indicando que en esta etapa se cuenta con las características idóneas del aceite.

Para hacer una reducción de costos operativos se plantea una adaptación al sistema, esto implica agregar componentes y ajustes en las líneas de proceso como se muestra en la ilustración 2.

Ilustración 2 Sistema de lubricación forzada propuesto



Fuente: elaboración propia.

Se adapta una nueva línea que va desde el cárter del motor hasta la bomba que impulsa la lubricación forzada de los cilindros del compresor. Esta nueva línea se provee de un filtro, el cual garantiza limpieza del aceite que viene desde el cárter del motor al sistema de lubricación forzada de los cilindros del compresor.

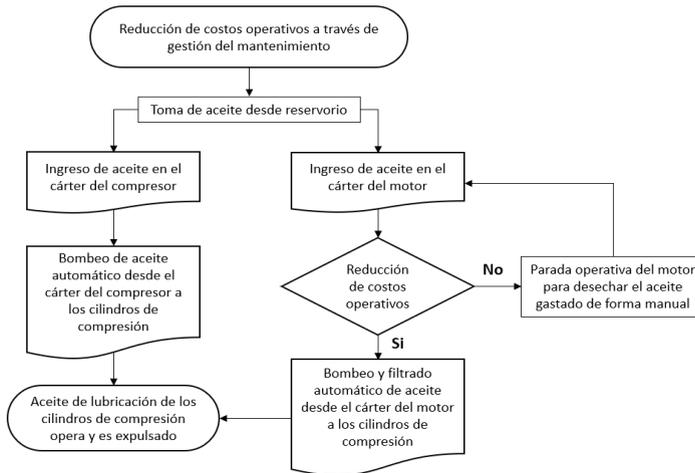
Se ajustan soportes de sujeción para el sistema de filtrado y se ajusta el sistema de control de los equipos, de tal manera que se garantiza tanto el uso de aceite del cárter del compresor como

del cárter del motor.

De esta manera, el sistema se parametriza para operación automática con su debida planificación de mantenimiento preventivo. Generando ahorro por utilización de aceite y reducción de costos operativos por paradas para la extracción manual del aceite proveniente del cárter del motor.

En el diagrama 1 a continuación se presenta un esquema de flujo de decisiones para la propuesta de ahorro planteada.

Diagrama 1 Flujo de decisiones para la propuesta de ahorro



Fuente: elaboración propia.

La toma de decisiones debe ser un proceso que se realiza mediante el análisis de un sistema de información como herramienta que permite desde la actividad gerencial a evaluar los beneficios a lograr (Vargas et al, 2019).

5.2. Evaluación del riesgo

Una de las tareas gerenciales para llevar a cabo la propuesta planteada es evaluar las implicaciones técnicas, ventajas y desventajas de realizar la actualización en la operación del equipo estudiado. Partiendo del hecho que la administración y control de los procesos afectan directamente a la actividad productiva de la compañía con un riesgo operacional (Macías Villalba et al, 2018). Por tanto, se debe realizar una evaluación de la gestión de riesgos (Vahos et al, 2021).

La nueva línea de succión para la bomba de alta presión en el compresor implica los siguientes aspectos técnicos.

- Tomar el aceite del cárter del motor para la lubricación de los cilindros del compresor, implica utilizar aceite contaminado por los gases de combustión del motor, además de material particulado por posible desgaste mecánico.
- Combustionar gas natural genera menor contaminación al aceite de lubricación que otros tipos de combustibles tradicionales.
- Filtrar el aceite que se tomara del cárter del motor establece un control de contaminantes permitiendo un aceite con condición de operabilidad.
- Seleccionar el filtro de aceite adecuado en base a las condiciones de operación como la caída de presión del sistema de bombeo de

- aceite a los cilindros.
- Realizar análisis de certificación de aceite garantiza la viabilidad del uso del aceite proveniente del cárter del motor.
- Instalar un soporte para el sistema de filtrado que se implementara en la nueva línea de aceite.
- Garantizar que la modificación no afecte los estándares requeridos de aceite para la lubricación de los

cilindros.

- Mantener el sistema de filtrado realizando cambios periódicos del filtro instalado en la nueva línea.

Por lo antes mencionado se hace una valoración de los riesgos latentes que puedan existir al hacer la modificación o seguir empleando el sistema sin modificaciones. A continuación, en el diagrama 3 se muestra la valoración del riesgo en el proceso estudiado.

Diagrama 3
Representación de riesgos

	Riesgo tecnológico	Riesgos personales	Riesgo de responsabilidad	Riesgo financiero
Desechar aceite por recambio no gastado en lubricación forzada del compresor				
Mantenimiento periódico realizado por el personal				
Paradas operativas para recambio de aceite				
Instalación de equipos para la nueva adaptación				
Filtración de partículas y contaminantes en el aceite				
Garantizar estándares de lubricación				

Fuente: elaboración propia.

De lo que se puede observar al operar sin hacer modificaciones se presentan a mayor escala los riesgos financieros, y seguido del riesgo por responsabilidad. Al hacer la adaptación se presentan en gran medida los

riesgos tecnológicos que pueden afectar directamente al proceso productivo.

Tomar la decisión de hacer la adaptación implica la precaución de la preservación de los quipos implicados, con el propósito de ganar

una mayor rentabilidad en los gastos por mantenimiento y por desechar el aceite sin utilizarlo en la lubricación forzada del gas natural por parte del compresor.

De las ventajas obtenidas al hacer la adaptación se presenta la prevención de accidentes o lesiones personales por parte de los operarios del área correspondiente, al automatizar a mayor medida el proceso.

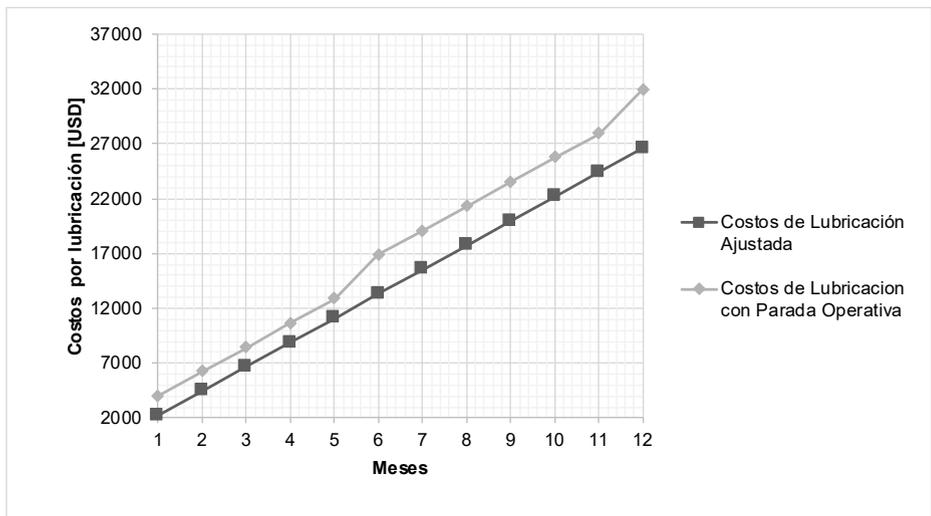
5.3. Análisis de costos

Realizar entonces un análisis de costos permite extender el panorama

no solo a la eficiencia de los equipos, y automatización de los sistemas, sino que además permite evaluar las deducciones económicas que se pueden adquirir al realizar una adaptación tecnológica de los sistemas.

En el gráfico 1 a continuación se realiza una proyección de costos asociados al sistema de lubricación del conjunto motor y compresor, en la tarea de compresión de gas natural para una empresa ubicada en el Caribe colombiano que utiliza los equipos identificados.

Gráfico 1
Proyección de costos del sistema de lubricación



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar al tomar el llenado del cárter del motor como una lubricación que solo esté destinada al mantenimiento de sus componentes de máquina, genera un gasto total de su llenado en cada parada operativa para desechar este aceite utilizado,

esta proyección se muestra en la curva de (Costos de Lubricación con Parada Operativa).

Mientras que, al hacer la adaptación en el sistema de gestión de mantenimiento para una eficiente lubricación y automatización de procesos,

se generaría un gasto continuo de aceite destinado a la operación del compresor sin presentar paradas operativas, dado que el sistema se autoabastece. Cabe destacar que se debe implementar un seguimiento controlado como mantenimiento preventivo que garantice el correcto funcionamiento de los equipos.

Como se ha mencionado, la propuesta del ahora implicaría una reducción en el gasto de aceite no reutilizado del cárter del motor, presentando un costo anual deducido del proceso de 3546 USD en aceite que se utilizara en la lubricación forzada de los compresores. Adicional a ello se debe incorporar la deducción del gasto operativo por parada total del sistema mientras se realizaba el cambio manual de aceite del cárter del motor, y además el costo de mano de obra para realizar esta operación.

Se debe incorporar los gastos por la nueva adaptación, siendo estos un gasto realizado una vez de un aproximado de 150 USD, y gastos por recambio del filtro de aceite adaptado, siendo estos el aproximado de 60 USD.

Como prevención se debe programar un recambio del aceite del cárter del motor como motivo de prevención de material particulado por abrasión que haya quedado alojado.

Es así que desde la propia actividad comercial y gerencial se deben establecer todas las estrategias que enlacen todos los niveles de la cadena económica y productiva, desde la planificación de la gestión del mantenimiento de los equipos con el propósito de que las decisiones tomadas sean eficientes a la hora de presentarse posibles imprevistos, teniendo así la posibilidad de evaluar los riesgos tomados y rápidamente accionar para

mejorar los procesos de una manera eficiente.

6. Conclusiones

La gerencia del mantenimiento establece estrategias que permiten a las compañías implementar métodos de mejora continua, enfocadas en los beneficios que trae la actualización de los procesos, en la remuneración económica y desempeño operativo de las maquinarias.

El tomar decisiones desde la actividad específica como lo es la lubricación de equipos y maquinarias, permite establecer una planificación con el propósito de mejorar los procesos, desde el uso, desde los insumos como lo es la cantidad de aceite de lubricación, el desempeño del talento humano y la prevención de su integridad física en general.

El análisis de los riesgos operativos ayuda en gran medida a tomar decisiones desde la actividad comercial, uso de los insumos, consideraciones físicas del personal de trabajo, así como de los tiempos de parada de los sistemas que pueden llevar a pérdidas no controladas de las actividades comerciales de una compañía.

El estudio realizado desde la actividad gerencial muestra la proyección en deducciones económicas que se pueden lograr al hacer una adaptación desde la gestión del mantenimiento para la actividad comercial de venta de gas natural comprimido al utilizar sistemas de motor y compresor recíproco con características específicas.

Referencias bibliográficas

Abbes, N., Sejri, N., Xu, J., & Cheikhrouhou, M. (2022). *New Lean*

- Six Sigma readiness assessment model using fuzzy logic: Case study within clothing industry. *Alexandria Engineering Journal*, 61(11), 9079–9094. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.02.047>
- Ardila Marín, J. G., Ardila Marín, M. I., Rodríguez Gaviria, D., & Hincapié Zuluaga, D. A. (2016). La gerencia del mantenimiento: una revisión. *Dimensión Empresarial*, 14(2), 129–144. <https://doi.org/10.15665/rde.v14i2.480>
- Bada Carbajal, L. M., Rivas Tovar, L. A., & Littlewood Zimmerman, H. F. (2017). Modelo de asociatividad en la cadena productiva en las Mipymes agroindustriales. *Contaduría y Administración*, 62(4), 1100–1117. <https://doi.org/10.1016/j.cya.2017.06.006>
- Benites Aliaga, R. S., Benites Aliaga, A. A., Javez Valladare, S. S., & Ulloa Bocanegra, S. G. (2020). Aplicación del ciclo PHVA para incrementar la productividad en el área de producción Frescor de la empresa ARY Servicios Generales S.A.C. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies*, 5(3), 38–45.
- Consuegra-Díaz, F., Díaz-Concepción, A., Cruz-Bayo, A., Benítez-Montalvo, R., del Castillo-Serpa, A., & Rodríguez-Piñeiro, A. J. (2017). Diseño del Método de disponibilidad Dupont como soporte a la toma de decisiones en el mantenimiento. *Ingeniería Mecánica*, 20(3), 122–128. <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu>
- Crespo Garcia, M. K., Carchi Arias, K. L., Zambrano Zambrano, Á. A., Orellana Sanchez, D. A., & Gonzalez Malla, S. E. (2020). Mejora Continua en el proceso contable y su aporte en la competitividad de las MIPYMES en la Provincia de El Oro (Ecuador). *Revista Espacios*, 41(01), 3–3. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n01/a20v41n01p03.pdf>
- Cuevas, J. (2017). Tipos de mantenimiento en compresores alternativos. *Mantenimiento: Ingeniería Industrial y de Edificios*, 309, 24–29. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6241470>
- Emami-Mehrgani, B., Neumann, W. P., Nadeau, S., & Bazrafshan, M. (2016). Considering human error in optimizing production and corrective and preventive maintenance policies for manufacturing systems. *Applied Mathematical Modelling*, 40(3), 2056–2074. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.08.013>
- Flores Zubia, S. G., Brito Laredo, J., & Ferreiro Martínez, V. V. (2018). Mejora continua: implementación de las 5s en una microempresa. *Revista Global de Negocios*, 6(5), 97–110. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3242326
- Guleria, P., Pathania, A., Sharma, S., & Sá, J. C. (2022). Lean six-sigma implementation in an automobile axle manufacturing industry: A case study. *Materials Today: Proceedings*, 50, 1739–1746. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.177>
- Luciani Toro, L. R., Zambrano Morales, Á. A., & González Ordoñez, A. I. (2019). MIPYMES ecuatorianas: Una visión de su emprendimiento, productividad y competitividad en aras de mejora continua. *COODES*, 7(3), 313–332. <http://coodes.upr.edu.cu/index.php/coodes/article/view/217>
- Macías Villalba, G. I., Parra Hormiga, S. A., & Carvajal Herrera, L. H. (2018). Modelo LDA para medición avanzada de riesgo operacional. *Innovar*, 28(68), 9–27. <https://doi.org/10.15446/innovar.v28n68.70335>

- Mora-Riapira, E. H., Vera-Colina, M. A., & Melgarejo-Molina, Z. A. (2015). Strategic planning and competitiveness levels of SMEs in the business sector in Bogotá. *Estudios Gerenciales*, 31(134), 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2014.08.001>
- Moyano Hernández, F. A., & Villamil Sandoval, D. C. (2021). Análisis del ciclo PHVA en la gestión de proyectos, una revisión documental. *Revista Politécnica*, 17(34), 55–69. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a4>
- Ortiz Useche, A., Rodríguez Monroy, C., & Izquierdo, H. (2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, 18(61), 86–104. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/rvg/article/view/11005>
- Özgür-Ünlüakın, D., Türkali, B., & Aksezer, S. Ç. (2021). Cost-effective fault diagnosis of a multi-component dynamic system under corrective maintenance. *Applied Soft Computing*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107092>
- Ramírez Pérez, J. F., López Torres, V. G., Hernández Castillo, S. A., & Morejón Valdés, M. (2021). Lean six sigma e industrial 4.0, una revisión desde la administración de operaciones para la mejora continua de las organizaciones. *UNESUM-Ciencias*, 5(4), 151–168. <https://doi.org/10.47230/unesciencias.v5.n4.2021.584>
- Rathi, R., Kaswan, M. S., Garza-Reyes, J. A., Antony, J., & Cross, J. (2022). Green Lean Six Sigma for improving manufacturing sustainability: Framework development and validation. *Journal of Cleaner Production*, 345, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131130>
- Rathi, R., Singh, M., Verma, A. K., Gurjar, R. S., Singh, A., & Samantha, B. (2021). Identification of Lean Six Sigma barriers in automobile part manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, 50, 728–735. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.221>
- Rujano Silva, M. L., Jacobo Reyes, A., Núñez Maciel, O., & Anaya Velasco, A. (2020). Mejora continua e innovación en agroempresa mexicana: Modelo Self Lead Team. *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, 25(91), 796–810.
- Salazar-Garces, J. A., Mora-Sánchez, N. V., Romero-Black, W. E., & Ollague-Valarezo, J. K. (2020). Diagnóstico de la aplicación del ciclo PHVA según la ISO 9001:2015 en la empresa INCARPALM. *593 Digital Publisher CEIT*, 5(6–1), 459–472. <https://doi.org/10.33386/593dp.2020.6-1.440>
- Senthil Kumar, K. M., Akila, K., Arun, K. K., Prabhu, S., & Selvakumar, C. (2022). Implementation of 5S practices in a small scale manufacturing industries. *Materials Today: Proceedings*, 62, 1913–1916. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.402>
- Shahriar, M. M., Parvez, M. S., Islam, M. A., & Talapatra, S. (2022). Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study. *Cleaner Engineering and Technology*, 8, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100488>
- Torres, K., & Lamenta, P. (2015). La Gestión Del Conocimiento Y Los Sistemas De Información En Las Organizaciones. *Negotium*, 11(32), 3–20. www.sid.uncu.edu.ar
- Vahos Zuleta, F. C., Bedoya-Londoño, D. A., & Boada, A. (2021). Modelaje y simulación del riesgo operativo de las instituciones fiduciarias en Colombia. *Retos*, 11(22), 217–233. <https://doi.org/10.17163/ret.n22.2021.02>

- Vargas Encalada, E. E., Rengifo Lozano, R. A., Guizado Oscoco, F., & Sánchez Aguirre, F. D. M. (2019). Sistemas de información como herramienta para reorganizar procesos de manufactura. *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, 24(85), 265–279. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/rvg/article/view/23840>
- Ventura Zegarra, E. M. (2015). Gestión moderna del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y Desarrollo*, 18(1), 57–67. <https://doi.org/10.21503/CienciyDesarrollo.2015.v18i1.05>
- Veres, C., Marian, L., Moica, S., & Al-Akel, K. (2018). Case study concerning 5S method impact in an automotive company. *Procedia Manufacturing*, 22, 900–905. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.127>
- Vergel Ortega, M., Gómez Vergel, C. S., & Gómez Vergel, E. R. (2021). Efecto del modelo de la ecuación de estado en los cálculos de desempeño de compresores alternativos en alta presión. *Revista Boletín Redipe*, 10(13), 744–749. <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/1785>
- Yoris, O. (2017). Gerencia del No Equilibrio: Tendencia Disruptiva en las Organizaciones del Siglo XXI. *TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios En Ciencias Sociales*, 19(2), 331–342. <https://ojs.urbe.edu/index.php/telos/article/view/160/142>
- Yu, W., Zhang, J., Wen, K., Huang, W., Min, Y., Li, Y., Yang, X., & Gong, J. (2019). A novel methodology to update the reliability of the corroding natural gas pipeline by introducing the effects of failure data and corrective maintenance. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 169, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2018.11.001>
- Zhang, Z., Tang, Q., & Chica, M. (2021). Maintenance costs and makespan minimization for assembly permutation flow shop scheduling by considering preventive and corrective maintenance. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 549–564. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.020>