



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“Propuesta de gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad para reducir las fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A, Lote X, El Alto – 2018.”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:

Br. Vilchez Rivas, Jhonny Rafael (ORCID: 0000-0003-0221-7468)

ASESORA:

MSc. Guerrero Millones, Ana María (ORCID: 0000-0001-7668-6684)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Empresarial y Productiva

Piura – Perú

2019

### **Dedicatoria**

Este trabajo lo dedico principalmente a Dios, a mis padres, hermanos por estar a mi lado siempre, por brindarme su apoyo incondicional en todo este tiempo maravilloso de mi segunda carrera universitaria. En especial a mi esposa Silene y a mis hijos Daniel, Fabiana y Rafael por depositar su confianza en mí.

### **Agradecimiento**

A la Universidad César Vallejo, a mi asesor, los docentes quienes estuvieron paso a paso para guiarme en la formación de la vida universitaria y poder realizarme profesionalmente.

A mis compañeros de clase quienes forman parte en esta trayectoria de aprendizaje, conocimientos y momentos agradables que quedaran en nuestros corazones.

## **PÁGINA DEL JURADO**

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

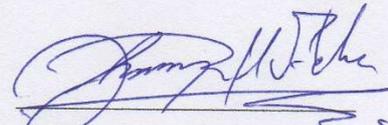
### DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Vilchez Rivas Jhonny Rafael, identificado con número de DNI 02897458, con el propósito de cumplir con las disposiciones vigentes del reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela académica profesional de Ingeniería Industrial, declaro bajo juramento que toda la información que adjunto es veraz y auténtica.

Declaro, así mismo bajo juramento que toda la documentación que se muestran en la presente tesis son veraces y auténticos.

Asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier omisión, ocultamiento o falsedad, de la información, como los documentos aportados, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Piura, junio del 2019



Vilchez Rivas Jhonny Rafael

DNI. 02897458

# ÍNDICE

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Página del jurado .....	iv
Declaratoria de autenticidad .....	v
Índice .....	vi
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MÉTODO .....	12
2.1. Tipo y diseño de Investigación .....	12
2.2. Variables, Operacionalización .....	13
2.3. Población, muestra y muestreo .....	14
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	14
2.5. Descripción de Procesos .....	16
2.6. Aspectos Éticos .....	17
III. RESULTADOS .....	18
IV. DISCUSIÓN .....	24
V. CONCLUSIONES .....	26
VI. RECOMENDACIONES .....	28
REFERENCIAS .....	29
ANEXOS .....	35
Matriz de Consistencia .....	35
Validación de los instrumentos de recolección de datos .....	37
Instrumentos de recolección de datos .....	55
Metodología de gestión centrado en la confiabilidad MCC .....	58
Matriz de Operacionalización de Variables .....	79
Diagrama De Procesos .....	80
Propuesta de Gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad MCC .....	81
Tablas y Figuras de Resultados .....	89
Acta de Aprobación de Originalidad de Tesis .....	105
Pantallazo del Software Turnitin .....	106
Formulario de Autorización para la publicación de la tesis .....	107
Autorización de la Versión final del Trabajo de Investigación .....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Parámetros para la evaluación de criticidad.....	9
Tabla 02. Parámetros para definir la criticidad de un equipo.....	9
Tabla 03. Operacionalización de Variables.....	79
Tabla 04. Tareas de mantenimiento de los compresores marca AJAX, año 2018.....	89
Tabla 05. Tareas de mantenimiento de los compresores marca AJAX, año 2017.....	90
Tabla 06. Tareas de mantenimiento de los compresores marca ARROW, año 2018.....	91
Tabla 07. Tareas de mantenimiento de los compresores marca ARROW, año 2017.....	92
Tabla 08. Tareas de mantenimiento de los comp. marca WAUKESHA, año 2018.....	93
Tabla 09. Tareas de mantenimiento de los comp. marca WAUKESHA, año 2017.....	94
Tabla 10. Comparativa total por marcas AJAX, ARROW, WAUKESHA, Año 2018.....	95
Tabla 11. Comparativa total por marcas AJAX, ARROW, WAUKESHA, Año 2017.....	96
Tabla 12. Consecuencias de las fallas en los compresores de gas.....	97
Tabla 13. Matriz de criticidad de motores de compresión de gas.....	97
Tabla 14. Porcentaje de criticidad acumulado.....	97
Tabla 15. Hoja de Información del MCC.....	98
Tabla 16. Hoja de Decisión del MCC.....	99
Tabla 17. Programa de mantenimiento para los compresores de gas.....	100
Tabla 18. Inventario de repuestos de motores de compresión de gas.....	101
Tabla 19. Costos de capacitación para la implementación de la propuesta.....	102
Tabla 20. Costos de ejecución del Sistema de Gestión de MCC.....	103
Tabla 21. Costos de los repuestos para mantenimiento.....	103
Tabla 22. Costos totales de la propuesta.....	104
Tabla 23. Comparación del mantenimiento actual y el MCC.....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Sistema de Confiabilidad Operacional.....	6
Figura 02. Árbol Lógico de Decisión.....	8
Figura 03. Flujoograma de Implementación del AMEF.....	10
Figura 04. Diseño Propositivo.....	12
Figura 05. Sistema de Confiabilidad Operacional.....	81
Figura 06. Siete preguntas claves del MCC.....	82
Figura 07. Árbol lógico de Decisión.....	84
Figura 08. Flujoograma de Implementación del AMEF.....	88
Figura 09. Mantenimiento compresores AJAX, año 2018.....	89
Figura 10. Mantenimiento compresores AJAX, año 2017.....	90
Figura 11. Mantenimiento compresores ARROW, año 2018.....	91
Figura 12. Mantenimiento compresores ARROW, año 2017.....	92
Figura 13. Mantenimiento compresores WAUKESHA, año 2018.....	93
Figura 14. Mantenimiento compresores WAUKESHA, año 2017.....	94
Figura 15. Comparativa Por marcas AJAX, ARROW, WAUKESHA, Año 2018.....	95
Figura 16. Comparativa Por marcas AJAX, ARROW, WAUKESHA, Año 2017.....	96
Figura 17. Diagrama de Pareto de los componentes de los motores.....	98

## RESUMEN

El estudio comprende la propuesta de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad para reducir las fallas en los motores de compresión de gas basado en análisis de modos y efectos de fallos de los 09 motores de compresión de gas, operados por la empresa Confipetrol Andina S.A. en el LoteX, El Alto. Con la finalidad de aumentar la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, teniendo como resultado la disminución de 617 horas a 127 horas anuales de trabajo en mantenimiento, se realizó una extracción de datos durante 1 año de evaluación en el periodo 2018, obteniendo 16 programas de mantenimiento, con un tiempo para reparar de 127 horas/año para lo cual las pérdidas económicas ascendieron a USD \$ 21,933.84. Mediante un análisis de criticidad a los principales componentes en falla de las unidades de bombeo, resultaron críticos el motor, el pistón, la culata, el cigüeñal, la cruceta, los rodamientos y a través de un análisis de modos y efectos de fallos a las 06 fallas de los 2 componentes críticos, se evaluaron 08 efectos potenciales, con la propuesta del mantenimiento centrado en la confiabilidad, dando solución a los componentes críticos de los motores de compresión de gas, los costos se redujeron hasta el valor 42,158.04 US\$/año, con un beneficio de 1,52 US\$/año por cada dólar invertido, y retorno operacional en el corto tiempo.

**Palabras claves:** análisis de modo y efecto de fallas, análisis de criticidad, aumento de la disponibilidad.

## ABSTRACT

The study includes the maintenance management proposal focused on the reliability to reduce gas compression engine failures based on analysis of failure modes and effects of the 09 gas compression engines, operated by the company Confipetrol Andina SA in The LoteX, El Alto. In order to increase availability, reliability and maintainability, as a result of the decrease from 617 hours to 127 annual hours of maintenance work, data extraction was carried out during 1 year of evaluation in the period of 2018, obtaining 16 maintenance programs, with a time of 127 hours / year for which the losses were raised to USD \$ 21,933.84. Through a critical analysis of the main components in the failure of the pumping units, critical results of the engine, the piston, the cylinder head, the crankshaft, the crosshead, the bearings and the analysis of the modes and effects of faults to the 06 Failures of the 2 critical components, 08 potential effects were evaluated, with the proposal of maintenance focused on reliability, giving solution to the components of gas compression engines, writing costs up to the value 42,158.04 US \$ / year, with a profit of 1,52 US \$ / year for each dollar invested, and operational return in the short time.

**Keywords:** Failure mode and effect analysis, critical analysis, increased availability.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, las compañías en la actualidad utilizan procedimientos de mantenimiento para satisfacer los requerimientos del cliente; prolongar la disponibilidad de los motores y disminuir sus costos. Ante este entorno resulta importante utilizar un plan de mantenimiento el cual se centre en la confiabilidad (MMC), que se explica como el plan sistemático que es utilizado al evaluar lo que debe realizarse para garantizar que cualquier activo continúe efectuando los propósitos para lo cual fue diseñado, bajo un ambiente de condición normal (Mckenna, 1997). Mediante el análisis de confiabilidad la metodología MMC determina las actividades y estrategias de mantenimiento requeridas por los equipos (Moubray, 1997). En el análisis de confiabilidad, la ocurrencia está expresada en términos de la probabilidad de falla, por lo que en su estimación se involucran herramientas de ingeniería de confiabilidad, entre las cuales destaca el análisis Weibull (procedimiento usualmente elegido para evaluar una probabilidad, basado en información medible o asumida).

En este sentido, una probabilidad de falla es de gran importancia, debido a que es utilizada para administrar las actividades de los planes de mantenimiento, con el resultado de predecir y controlar posibles fallas de los equipos, componentes o sistemas.

A nivel nacional, actualmente los sectores de hidrocarburos y en especial el área de Compresión de Gas de los pozos petroleros tiene grandes problemas en determinar las contrataciones de personal, maquinaria, repuestos y herramientas para un determinado sector de mantenimiento, con la finalidad de que el correcto desarrollo de los mismos aumenten la confiabilidad y la disponibilidad del funcionamiento de los motores, teniendo en cuenta que muchos de los motores operan las 24 horas del día los 365 días del año.

La utilización de motores de compresión a gas en la producción y extracción de hidrocarburos por acción del bombeo mecánico, es un instrumento importante en la operación de pozos petroleros que no cuentan con energía eléctrica, o que por su ubicación geográfica es de difícil acceso. Para el uso de moto compresores de gas en zonas petroleras se debe considerar los beneficios que se tienen, siendo los más sobresalientes, la formación de alta torsión de desempeño a pequeñas revoluciones; además también el bajo costo del combustible, que se obtiene de la extracción y de las baterías que se utilizan para la separación de petróleo crudo. La implementación de esta propuesta se enfoca en este último punto, lo importante de la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad y el uso de tecnologías que maximicen su operatividad en disponibilidad y confiabilidad propia de los

motores de compresión de gas que se utilizan en pozos de petróleo después de haber ejecutado un mantenimiento mayor.

Los de motores de compresión de gas se encuentran ubicados en el Lote X, Distrito de El Alto, Provincia de Talara, Departamento de Piura, País Perú. El campo petrolero tiene un límite y es explorado por la empresa de capitales chinos CNPC; actualmente están instalados aproximadamente 290 motores de compresión, los cuales están distribuidos en toda la dimensión geográfica del campo.

Los tipos de éstos motores de compresión de gas empleados en el campo petrolero son marca Ajax, Arrow y Waukesha, a estos motores se les realiza mantenimientos de manera preventiva en el campo del Lote X por períodos de 4 meses para motores de compresión marca AJAX y ARROW; y por períodos de 2 meses para la marca motores de compresión WAUKESHA, en la actualidad al no contar con nuevos motores de compresión para su montaje en diferentes pozos del campo petrolero, luego se procede a una mayor reparación, sin contemplar las características de un mantenimiento total por los altos costos que esto involucra (en este punto es mejor el reemplazo de los motores de compresión de gas por equipos nuevos). Estos mayores mantenimientos de los motores de compresión de gas se realizan cada 3 años; por ahora no hay evidencia de cálculos de las propiedades y la vida útil de estos motores de compresión de gas, de igual manera no se cuenta los índices de disponibilidad y confiabilidad de los mismos.

La mayoría de estos inconvenientes en los mantenimientos, se hubieran minimizados o eliminados, si se ejecutaría una óptima estrategia de gestión de mantenimiento, procedimientos adecuados que identifique cuales son los fallos comunes y la manera efectiva de darle solución de manera efectiva.

Confipetrol Andina S.A. además de integrar la experiencia, combina las capacidades organizativas, tecnológicas y soporte técnico en un Modelo de Servicio Especializado en el rubro, trasladando los beneficios de esta integración a nuestras operaciones y clientes.

Confipetrol Andina se constituye como la empresa líder y pionera en brindar servicios tercerizados de operación y mantenimiento en el sector energético en el Perú, con sólido posicionamiento en el sector minero, energía e hidrocarburos, con importantes clientes como Antamina, Yanacocha, Chinalco, Las Bambas, Antapaccay, Votorantim, Marsa, Edegel, EEPSA, Repsol, Pluspetrol, CNPC, Savia, Pacific, GMP y Duke Energy.

Confipetrol Andina S.A. es una compañía socialmente responsable, cumpliendo con las leyes vigentes y aplicable, diestra en ofrecer asistencia integral de Mantenimiento y

Operación contando con el estudio de gestión de Confiabilidad, Disponibilidad y de diagnóstico predictivas , con una respuesta rápida a los requerimientos de los clientes, constituido por un equipo de trabajo interdisciplinario comprometido y altamente profesional con la compañía para la satisfacción de los clientes, el uso adecuado de la tecnología e innovación.

Los trabajos anteriores a esta propuesta se han resumido en las investigaciones:

Da Costa (2010), en su trabajo de tesis para obtener el grado de Ingeniero Mecánico. Desarrollado en la Pontificia Universidad Católica del Perú, con el nombre de “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción”, expuso la tesis de motores a gas de dos tiempos en el sector hidrocarburos para la extracción y producción por medio de bombeo de manera mecánica, siendo el instrumento principal de la operación en los pozos que no cuentan con energía, o dado que por la zona geografía ésta se complica. Los beneficios que posee, siendo los más destacados, la alta torsión de operación a pocas revoluciones, además del mínimo costo que resulta la utilización del combustible conseguido de la perforación y de las baterías de petróleo crudo. A esto se añaden las desventajas del elevado costo en inversión de adquisiciones, mantenimiento e implementación.

Se concluye que por medio de la información del tiempo promedio entre fallos (MTBF) estableció una óptima frecuencia de ejecución de los motores que fueron monitoreados a través del análisis gráfico, siendo esta etapa muy importante dado que repercute principalmente en el formato de la hoja de decisiones y en la definición de los trabajos de mantenimiento de manera preventiva en los motores de compresión de gas.

Se considera que el tiempo de ejecución de mayor mantenimiento de los motores de compresión de gas es de tres años (1080), de los cuatro motores que están en su fase de desgaste, tres motores han llegado a dicho estado anticipadamente, ya que su tiempo de trabajo no ha excedido los quinientos días (tiempo menor de dos años).

Lugo, Mendoza y Rales (2002), en su trabajo para obtener el grado de Ingeniero Mecánico Electricista. Implementado en la Universidad Veracruzana de México, titulado “Administración de mantenimiento preventivo a motores eléctricos de motores de bombeo mecánico Distrito Poza Rica, para aumentar la producción”, el cual se proyecta tener un plan de trabajo preventivo minimizando los costos en comparación con los trabajos correctivos que se han realizado hasta la actualidad. La ejecución de este estudio beneficia mucho a petróleos de México, al lograr la eficiencia en los equipos de inducción eléctricos del modelo

jaula de ardilla de los motores de bombeo, posibilitando minimizar la cantidad de paradas por fallos en el equipo, aumentando la producción y operatividad de los pozos y campos petroleros, teniendo aplicaciones en otras zonas de campos petroleros donde se opere un sistema de estas características. Se concluye que el método de bombeo de manera mecánica es el más adecuado en la perforación del lote de petróleo que esté en su último ciclo de productivo, como por ejemplo en Poza Rica. Así también, el método de bombeo neumático con el que se operaba ya no es el adecuado para los activos de Pozo Rica, se debe al acrecentamiento de la población, que en varias oportunidades se trabaja sobre las líneas de los pozos de gas de bombeo neumático de presión elevada. El método de bombeo mecánico cuenta con la ventaja de ser muy económico, eficiente, sin contaminantes y muy fácil de funcionar. Además, conocieron las partes fundamentales de los motores de bombeo convencionales, mark II y las ventajas que se tienen de un motor a otro.

Ríos (2004), en el trabajo para obtener el grado de Especialista Gerencia de Mantenimiento. Realizada en la Universidad del Zulia de Venezuela, titulado “Diseño de un sistema estratégico de mantenimiento a motores y maquinarias de compañías de servicios al sector petrolero”, el estudio consistió fundamentalmente en elaborar un sistema estratégico de mantenimiento para motores de compañías de servicios en el sector petrolero. Este estudio facilitará a las empresas de mantenimiento un sistema para poder llevar a cabo de manera eficiente sus procesos de producción, minimizando los costos por mantenimiento, y efectuar el mismo de una manera adecuada cuando sea oportuno, así también como reducir la cantidad de máquinas en reserva y conseguir un beneficio mayor de producción. Este diseño del sistema estratégico de mantenimiento para compañías de servicios en el sector petrolero por ser un trabajo de tipo descriptivo, estuvo sustentado de manera documental de tipo cualitativo, estudiando los sistemas de síntesis, deducción, análisis y diseño, con el objetivo de observar y evaluar las condiciones que existen en las compañías en la realización de los trabajos de mantenimiento. El sistema contiene tres etapas, la primera consiste en hacer un estudio al método actual de mantenimiento de la compañía, con el propósito de conseguir una óptica de éste, luego se inicia la preparación de un plan de mantenimiento a la compañía y por último se debe definir los indicadores de mantenimiento, quienes van a calcular la eficacia del sistema estratégico de mantenimiento que propone. Se concluye que el plan trazado implica un decidido cumplimiento de los criterios estudiados en el mismo y llevar un registro de datos eficaces de los trabajos de mantenimiento. Esto sumado al implementar un procedimiento que les ayude a las compañías a tener el control y registro de los trabajos

de mantenimiento de sus motores y equipos, con el fin de eliminar tiempos no productivos y tener mayor efectividad de sus bienes. Así la realización de los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo de máquinas y equipos, otorgará a la compañía que obtenga una mejor manera de planificar, programar e implementar los sistemas, tener el control y la evaluación de éstos. Un sistema estratégico de mantenimiento para máquinas y equipos, permite clasificar y caracterizar la información, de tal manera que se agrupe y sea consultada conforme a las solicitudes específicas, lo que proporciona de manera fácil el proceso de análisis y la toma de decisiones, muy importantes en los recursos de costos y confiabilidad. En estos tiempos el departamento de mantenimiento está reemplazando los antiguos valores por mejores niveles de paradigmas de excelencia. El sistema estratégico de mantenimiento para máquinas y equipos, está integrado por los criterios: El estudio del método, diseño y elaboración del procedimiento y determinar los indicadores. Al realizar estos criterios de mantenimiento, permitirá que los trabajos de mantenimiento se realizarán efectivamente y de esta manera puedan ser totalmente controlados. Los indicadores determinan evaluar la conducta de operación de las máquinas y equipos, así poder ejecutar un procedimiento de mantenimiento capaz de optimizar el trabajo del mismo. En esta propuesta se trabajó con las siguientes teorías relacionadas a este tema:

Falla, son los eventos o causas que llevan al término de la capacidad de una máquina para ejecutar su función, en los motores de compresión gas tienen uno de los tres orígenes que pueden ser fallas tempranas, fallas adultas y fallas tardías. Las cuales son las causantes de eventos que llevan a la finalización de la capacidad de un motor. (Hernández, Héctor, 2014). Modo de falla, es la avería típica de un equipo. Se estandariza como el elemento que falla y con qué frecuencia lo hace un elemento. (Hernández, Héctor, 2014).

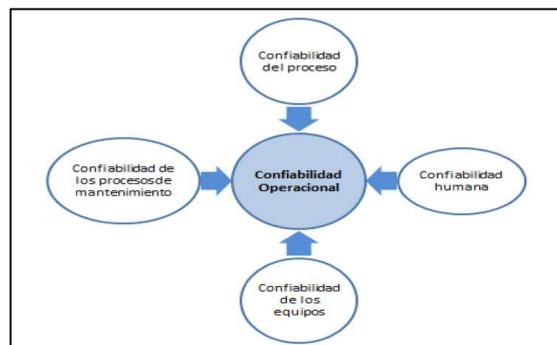
Gestión, guía que nos permite orientar la acción, previsión, visualización, de los recursos y esfuerzos a las metas que desean alcanzar, la serie de funciones que han de ejecutarse para obtener las metas y tiempo necesario para realizar cada sus partes y aquellos eventos presentados. (Benavides, 2016).

Mantenimiento, hechos que tienen como sustento resguardar un equipo o reparar a un estado óptimo en el cual pueda realizar su función requerida. (Albertos, Miguel Angel, 2014).

Metodología MCC, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, es un desarrollo utilizado científicamente que debe ser realizado para garantizar que los equipos sigan realizando lo que sus operadores desean que realicen. Bastante identificado por los profesionales e

ingenieros de la gestión de mantenimiento como la manera Costo, Eficaz de implementar planes de gestión de mantenimiento de clase internacional, MCC conlleva las soluciones sostenidas y sustanciales en la confiabilidad y disponibilidad de plantas. (Albertos, Miguel Angel, 2014). Características de MCC, el MCC identifica las etapas de mantenimiento con sus respectivos periodos, para los equipos más importantes o críticos, apoyándose en el sistema / análisis funcional de éstos en su contexto funcional y operacional. Su éxito depende del trabajo desarrollado por el equipo natural de trabajo, en producir un modelo de mantenimiento adaptable a los requerimientos reales de la compañía y tomar en cuenta la seguridad de los colaboradores, el ambiente de trabajo, los procedimientos, las operaciones y el beneficio costo. (Suarez, 2017). El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es entonces, un desarrollo de gestión basado en mantenimiento en el cual un equipo natural de trabajo perfecciona y optimiza la confiabilidad de las operaciones de un modelo que trabaja bajo condiciones ya definidas. Esta metodología presenta las siguientes características:

- Metodología basada en un proceso sistemático.
- Actividades de mantenimiento de la criticidad de los equipos pertenecientes a la compañía.
- Consideración de los posibles causas y efectos que producirán los modos de fallo de estos motores, en cuanto a las operaciones, seguridad, calidad y ambiente.
- Generación de estrategias efectivas, cumpliendo con los estándares requeridos de producción y maximizando la rentabilidad de los activos.



**Figura 01.** Sistema de Confiabilidad Operacional

Fuente: Suarez (2007)

Análisis de Fallas presentadas en MCC, Durante el estudio de fallas tenemos que contestar a las siguientes preguntas importantes: (Albertos, Miguel Angel, 2014)., ¿Determinar las funciones y los estándares de funcionamiento ?, ¿Cómo es el fallo en cada motor?, ¿Determinar la causa de cada fallo?, ¿Cuáles son los parámetros que monitorizan o alertan de un fallo?, ¿Cuáles son las consecuencias tiene cada fallo?, ¿De qué manera puede evitarse

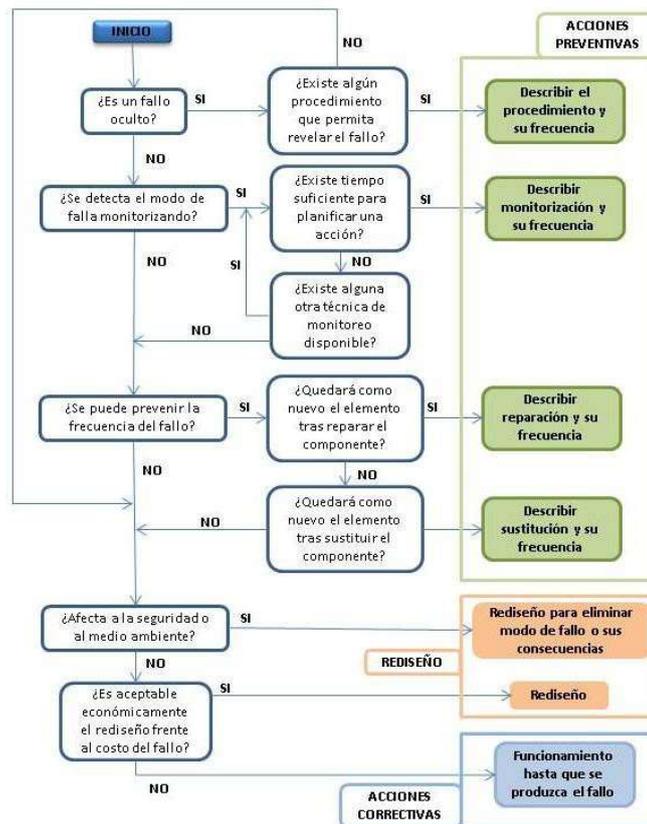
cada fallo?, ¿Qué hacer si no es posible evitar un fallo?, para garantizar el éxito del MCC, es importante responder cada una de las 7 preguntas del estudio de falla y la mejor manera de darle la respuesta verdadera a cada una, es siguiendo cada una de las etapas del MCC que son: Definir el contexto operacional, Definir que funciones tienen los activos, Determinar los fallos de operación, Identificar los tipos de falla, Definir las consecuencias de cada fallo. Es importante resaltar que las primeras 05 preguntas claves del MCC se les dará respuesta con la aplicación del AMEF, las últimas 02 preguntas serán respondidas con su ejecución.

El Árbol Lógico de Decisión, es un instrumento que selecciona de manera óptima los trabajos según la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad y le respuestas que debemos responder a las preguntas 6 y 7 de dicha metodología.

El ALD permite formar una unión entre la data recolectada y analizada, además los trabajos de mantenimiento que se seleccionen valieron para minimizar o evitar las consecuencias de las fallas operacionales. Es el paso mediante el cual se definió la actividad adecuada para la consecuencia de cada modo de falla.

A continuación, en la Figura 02 se observa la estructura básica para elaborar el Árbol Lógico de Decisión, donde se observan según su naturaleza, cuáles deben ser las tareas de mantenimiento a realizar, si son de carácter preventivo, correctivo o si ameritan un rediseño del sistema para reducir o eliminar los modos de fallas del equipo en estudio. (Moubray, 1997).

El Equipo natural de trabajo, conjunto de personas con diferentes responsabilidades dentro de la compañía que laboran juntas por un periodo determinado, para estudiar los problemas habituales de las diferentes áreas, teniendo un objetivo común. (Moubray, 1997).



**Figura 02.** Árbol Lógico de Decisión.  
Fuente. Moubray (1997) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

Análisis de criticidad, se define como un plan que realiza para categorizar métodos, instalaciones, modelos, máquinas y partes, con el fin de optimizar los recursos, económicos, personales y técnicos. La explicación de “criticidad” dependerá mucho del objetivo con el que se requiera categorizar.

Es un estudio que se basa en la valuación de cinco factores importantes, frecuencia de falla, efecto operacional, flexibilidad operacional, los costos de mantenimiento y efecto en calidad, seguridad, ambiente e higiene; sin embargo, depende de a donde se desee llegar, puede evaluarse criticidad por tiempo promedio fuera de servicio, productividad, entre otros. Estos factores son desglosados en las diferentes posibilidades de ocurrencia y son ponderados de acuerdo al grado de importancia que se le dé para el análisis. Cada equipo o componente a analizar, debe ser evaluado con el grupo natural de trabajo o la participación de colaboradores relacionados al contexto funcional. Una vez evaluados en consenso, se realiza la totalización de cada componente y se obtiene el valor general de criticidad que será comparado con la matriz de criticidad propuesta por el equipo de trabajo. (Milanese, 2012).

**Tabla 01.** Parámetros de evaluación de la criticidad.

Fuente: Milanese (2012). Diseño de Plan Preventivo basado en MCC.

<b>Frecuencia de Fallos</b>		<b>Costos de Mantenimiento</b>	
Alta: mayor de 10 fallos anuales.....	4	Costo significativo.....	2
Promedio: 4-9 fallas anuales.....	3	Costo no significativo.....	1
Baja: 1-3 fallas anuales.....	2		
Excelente: menos de 1 fallas anuales.....	1		
<b>Impacto Operacional</b>		<b>Flexibilidad Operacional</b>	
Detención oportuna de todo el proceso...	10	No se tiene elección de producción y tampoco función de respaldo.....	4
Detención oportuna de la producción.....	6	Existe función compartida de respaldo.	2
Impacta en los procesos de producción, higiene o calidad.....	4	Existe función disponible de respaldo.	1
Afecta en los costos de disponibilidad de la máquina	2		
No implica efectos significativos.....	1		
<b>Impacto en Calidad, Seguridad Ambiente e Higiene</b>			
Impacta en la seguridad de las personas.....	8		
Malogra o afecta el ambiente.....	6		
Afecta las instalaciones causando daños importantes.....	4		
Ocasiona daños leves (incidentes o accidentes).....	2		
Daño ambiental que no viola reglas ambientales.....	1		
No causa daño alguno a personas, instalaciones o medio ambiente.....			

En la Tabla 01 se pueden observar todos los parámetros que se deben tomar en cuenta para realizar un análisis de criticidad de manera efectiva. Es importante destacar que cada uno de estos ayudó a establecer la relevancia y los efectos de los potenciales eventos de fallos en los modelos que se producen, en el contexto funcional donde se desempeñan, para el cálculo de la criticidad se deben tomar en cuenta las fórmulas:

**CRITICIDAD** = CONSECUENCIA X FRECUENCIA

**CONSECUENCIA** = [IMPACTO OPERACIONAL X FLEXIBILIDAD OPERACIONAL] + [COSTO MANTENIMIENTO] + [IMPACTO EN CSHA]

La tabla factor del riesgo es una mezcla de la posibilidad de los fallos y los efectos de fallos, esta indica el nivel de criticidad, que dependiendo de su valor determinará si es una falla crítica, semi-crítica o no crítica en los extrusores de la Línea Seis. A continuación, en la tabla 02 se identifican los parámetros a tomar en consideración.

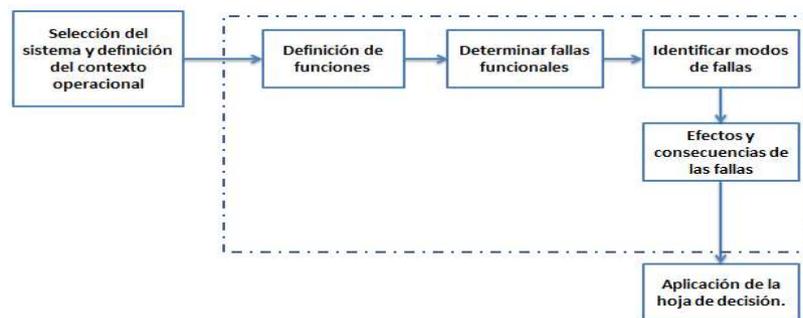
**Tabla 02.** Parámetros para definir la Criticidad de un Equipo.

Fuente: Milanese (2012). Diseño de Plan Preventivo basado en MCC.

<b>Crítico</b>	<b>Semi-Crítico</b>	<b>No Crítico</b>
$C \geq 90$	$40 \leq C < 90$	$C < 40$

Impacto de Seguridad, Ambiente e Higiene, enfocado a evaluar los posibles inconvenientes que puedan incurrir en daños hacia las personas o el medio ambiente. Se mide en una escala desde el 0 que indica que no tiene ninguna incidencia en las personas, instalaciones o el ambiente, hasta el valor 8 que indica que afecta la seguridad humana. (López, 2004).

Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMFE), el AMFE constituye la herramienta principal de la metodología MCC. Es un modelo sistemático que permite reconocer las causas o las dificultades antes de que estos sucedan y puedan tener efecto en los procesos y productos de un proceso determinado. El objetivo fundamental del AMFE es encontrar los modos de fallas, lo que permitirá advertir las consecuencias producto de las mismas, partiendo de la adecuada selección de los trabajos de mantenimiento, los cuales actuarán en cada modo de fallo y sus probables consecuencias, una vez identificados los elementos del AMFE, es necesario saber los pasos que se deben llevar a cabo para su ejecución, es decir el orden lógico de sus operaciones, para explicarlo se muestra la Figura 05, la cual indica el flujograma de implementación del mismo, por medio del cual se observa de manera detallada cada uno de los procedimientos que se deben realizar para su ejecución. (Parra, 2012)



**Figura 03.** Flujograma AMEF (Implementación).

Fuente. Parra (2012). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

La formulación del Problema se compone por el problema general: ¿Qué se requiere para reducir las fallas en los motores de compresión de gas al elaborar una propuesta de gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad en la compañía Confipetrol Andina S.A., lote X, el alto – 2018? y los problemas específicos: ¿Cuál es la situación actual de los mantenimientos de los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.?, ¿Qué parámetros se obtienen en el análisis de criticidad en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.?, ¿Cómo puede evitarse cada fallo en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.?, ¿Cuál es el costo beneficio de implementar esta propuesta en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.?

Justificándose el estudio de esta propuesta de la siguiente manera: Justificación Operativa, de acuerdo con los objetivos de estudio de este proyecto los resultados permitirán encontrar resultados como el de maximizar el tiempo útil de vida de los motores de compresión de gas, maximizar los programas de mantenimiento total, reducir los fallos de mantenimiento que son críticas, reducir las paradas de planta no programadas, los resultados obtenidos permitirán elaborar planes más eficaces de mantenimiento total y la frecuencia de los mismos, además difundir la gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad como una cultura y herramienta de gestión en la industria mundial, Justificación Económica, este proyecto permitirá minimizar los costos de trabajos de mantenimiento, así como mejorar los contratos de servicios de mantenimiento y disminuir la disminución de producción a raíz de las fallas, Justificación de Seguridad, este proyecto permitirá alentar la Seguridad de las operaciones y la integridad y protección del medio ambiente, porque son prioritarios, considerando que la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad se ha basado en las normas OSHAS 18001 e ISO 14000 en cuanto a salud ocupacional, seguridad y medio ambiente y la utilización de la norma (ISO 9000), la cual establece procedimientos claros y efectivos de labores y de registros de la data de los trabajos de mantenimiento.

La hipótesis de la propuesta es: “La propuesta del modelo de gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad permite reducir las fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A, lote X, El Alto – 2018.”

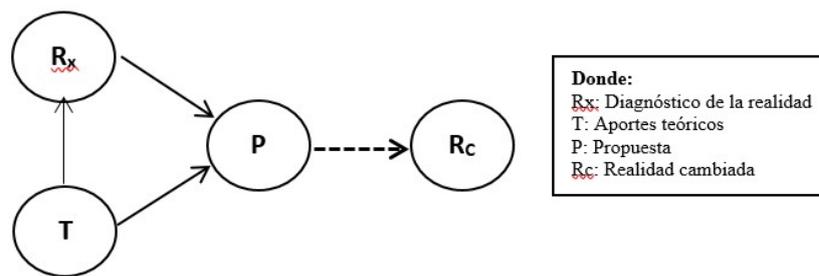
Los Objetivos de esta propuesta están divididos en general: “Proponer en qué medida un modelo de gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad permitirá reducir las fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A, lote X, El Alto – 2018.” Y los específicos: Diagnosticar la situación actual de los mantenimientos de los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A., Realizar un análisis de criticidad los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A., Diseñar un plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad que permita reducir las fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A., Realizar un análisis Costo Beneficio de la propuesta de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad que permita reducir las fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.

## II. MÉTODO

### 2.1. Tipo y diseño de Investigación

Esta propuesta se realizó por medio de un diseño no experimental, descriptivo transeccional. Según Hernández, Fernández y Baptista (2010) en el diseño no experimental quien investiga no puede manipular deliberadamente las variables, lo que debe hacer es observar el evento tal y como se comporta en su contexto real y luego interpretarlo. Los diseños transeccionales descriptivos recogen información en un periodo único con el objeto de explicar variables y estudiar su incidencia en un tiempo determinado.

Para el presente trabajo en estudio, el beneficio del investigador no es solo explicar la incidencia de las fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A. sino confeccionar una propuesta para mejorar, por lo que el proyecto indicado por Hernández, et al. (2010) se complementará con un proyecto Propuesto (Chiroque, et al, 2006) el cual se resume:



**Figura 04.** Diseño Propositivo (Chiroque, 2006)

Sobre el tipo, corresponde a un trabajo de investigación proyectada, pues se asocia a la preparación de un modelo, plan o propuesta como alternativa de solución a un problema hallado por quien investiga (Mousalli-Kayat, 2015); de tal manera, la propuesta de gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad para reducir las fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A. Por su fin, la investigación es aplicada dado que se emplearán datos de investigaciones para poder reducir las fallas en los motores de compresión de gas mediante la propuesta de Gestión de Mantenimiento centrado en la confiabilidad en la empresa Confipetrol Andina S.A., por su nivel o alcance es descriptiva ya que busca determinar las propiedades del proceso que se quiere supeditar a análisis y el grado de conocimiento que se tiene sobre la investigación. A su vez es explicativa porque pretende definir, explicar las consecuencias y causas de haber propuesto la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad en función a reducir los fallos en

los motores de compresión de gas, y por la temporalidad es transversal debido a que se recolectan registros en distintas etapas del proceso y se analizan los cambios a través de diferentes períodos.

## **2.2. Variables, Operacionalización**

### **Variables**

Se utilizan las variables en el presente trabajo pertenecen a Fallas como la variable fáctica y a la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad como la variable propositiva.

La Operacionalización de las variables se muestran en la tabla número 1.

- Variable fáctica: Fallas

Fallas son las causas o eventos que nos lleva al término de la facultad de un motor para ejecutar sus funciones adecuadamente o para no ejecutarla en su totalidad.

El factor sujeto a una falla muestra características que modifican gradualmente de un valor inicial a un límite fatal en términos generales.

- Variable propositiva: Gestión de Mantenimiento centrado en Confiabilidad

Se define Gestión de Mantenimiento centrado en Confiabilidad como el conjunto de funciones que posibilitan que la confiabilidad pueda ser incrementada y la disponibilidad sea asegurada. El objeto de la gestión de mantenimiento es minimizar los trabajos de reparación y de la coexistencia con problemas técnicos crónicos, procurando una mejora continua de los sistemas y controles.

[Ver Matriz de Variable de Operacionalización](#) (Anexo 6)

### **2.3.Población, muestra y muestreo**

De acuerdo con Valderrama, 2015, (p. 182), Se define como “una agrupación finita o infinita de cosas, seres y elementos, los cuales poseen características y/o atributos similares, capaz de ser contemplados”.

Por eso, que la población determinada para la presente propuesta está constituida por los 09 motores (Ajax, Arrow Y Waukesha) de compresión de gas que se encuentran en la empresa Confipetrol Andina S.A.

### **2.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

De acuerdo con Sampieri Hernández, 2010, (p. 198), en el siguiente punto se detalla la recolección de registros adecuados según las variables y los conceptos del problema.

Para el detalle de la recolección de registros se utilizaron instrumentos como entrevista al líder del taller y el análisis de registro de fallas, los datos se evaluaron a través del formato checklist.

#### **Técnicas:**

**Observación:** De acuerdo con Valderrama (2013), (p. 194) dice que la observación es la inspección mediante un sistema, confiable sobre todas las situaciones y comportamientos que se pueden observar mediante un conjunto de indicadores y dimensiones.

Para la presente investigación, se utilizó la técnica de observación, ya los registros obtenidos diariamente serán realizados por los colaboradores que trabajan con los motores de compresión de gas.

**Entrevista:** se procedió a realizar entrevistas a los trabajadores de mantenimiento, operadores de las máquinas y al personal supervisor, evaluando sus conocimientos que tienen del mantenimiento centrado en confiabilidad.

**Ficha de análisis de documentos:** Los registros recolectados en el área de compresión de gas determinarán cómo se encuentra la situación de los motores.

#### **Instrumentos:**

**Entrevista al jefe taller del área de compresión de gas (Anexo 3):** es una técnica en la cual se obtienen las fallas, que servirán para analizar los indicadores, con el objetivo de poder realizar las mejoras en los motores de gas.

Los instrumentos que se emplearon son:

- Preguntas al jefe taller para poder registrar los manuales y procedimientos.
- Preguntas al jefe taller para registrar los tipos de fatiga que tienen los motores.

**Análisis documental del registro de fallas (Anexo 2):** es una técnica en la cual se obtienen datos de reparaciones, que servirán para analizar indicadores, con el objetivo de poder realizar las mejoras en los motores.

Los instrumentos que se emplearon son:

- Checklist para registrar la temperatura y los controles diarios que se realizan a los motores.
- Checklist para registrar Análisis de vibraciones.
- Checklist para registrar Análisis de aceites.
- Checklist para registrar las paradas.
- Checklist para registrar las correcciones a los motores.

### **Validez y confiabilidad de los instrumentos de medición:**

La validación del instrumento se realizó por parte del juicio 03 de expertos.

De acuerdo con Valderrama (2013, p.206), dichos instrumentos proporcionan un alto grado de validez en los registros que se proporcionan y que sean confiables, un instrumento es confiable cuando proporciona resultados concisos que se aplique en diferentes situaciones.

La confiabilidad de la presente propuesta en base a los registros recolectados es confiable ya que se proporciona registros que son brindados por la compañía Confipetrol Andina S.A.

## **2.5. Descripción de Procesos**

### **a. Diagnóstico de la situación actual de los mantenimientos de los motores de compresión de gas.**

El diagnóstico inicial aplicado a los mantenimientos de los motores de compresión de gas permitió verificar el estado actual en la que los que se encuentran estos, esto servirá como inicio para realizar el plan gestión centrado en la confiabilidad, que permitió ejecutar un análisis de criticidad, para luego realizar un estudio de análisis de modo y efectos del fallo, los que nos permitirá determinar cuáles son los falls en los componentes más críticos de los motores de compresión de gas.

### **b. Análisis de criticidad de los motores de compresión de gas.**

La identificación de elementos críticos es fundamental, en esta etapa es donde la compañía debe implementar métodos para la identificación y prevención de fallas que conlleven a realizar mantenimientos no programados, teniendo en cuenta que todo esto llevará a que se elimine la falla y si no se puede eliminar será posible minimizarlo y controlarlo evitando así potenciales accidentes, en esta etapa además se realizó la revisión de requisitos legales, se propusieron objetivos y tiempos en los que estos se van a llevar a cabo, para luego pasar a la operación e implementación, donde se tomará conciencia, se informará todo lo trazado en la gestión de mantenimiento, haciendo participar a todos. Todo esto se llevará un control del registro de la documentación y se hará una preparación ante respuesta de cualquier emergencia.

### **c. Plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad que permita reducir las fallas en los motores de compresión de gas.**

En esta etapa se realizará un seguimiento de toda la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad, se tomará la estadística de lo bueno y de lo que está aún por mejorar, para así lograr un proceso de mejora continua en el proceso del sistema de gestión del mantenimiento.

**d. Costo Beneficio de la propuesta de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad que permita reducir las fallas en los motores de compresión de gas.**

Los beneficios se hicieron con referencia a toda la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad, haciendo una comparación entre los mantenimientos actuales y las mejoras al implementar una metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad que permita reducir las fallas en los motores de compresión de gas, para poder así verificar cuál de las dos opciones es la mejor y la que conviene a la compañía.

[Ver Diagrama de Procesos](#) (Anexo7)

## **2.6.Aspectos Éticos**

Quien investiga está obligado a guardar y respetar la verdad de las conclusiones y el ser reservado con la información obtenida de la compañía Confipetrol Andina S.A. De igual manera dejar constancia del compromiso del investigador en la ejecución de la investigación con el fin único de cooperar en los progresos a futuro de la compañía, consiguiendo como único provecho el aprendizaje adquirido.

Puede garantizar que los registro y/o datos serán recolectados con decencia y su tratamiento será imparcial y veraz, siendo los resultados adquiridos el fiel reflejo de los registros adquiridos en el ámbito de estudio.

Así mismo, los directivos, trabajadores de la compañía serán informados oportunamente de los procesos a realizar, como parte fundamental de los criterios éticos de este proyecto.

### **III. RESULTADOS**

El diagnóstico del estado actual de los mantenimientos de los motores de compresión de gas; se realizó una revisión de los históricos de fallas de los compresores de gas del año 2018, para observar cuales son las estrategias de mantenimiento que se realizan en los mismos.

En la Tabla 04 (Anexo 8), se puede apreciar las labores de mantenimiento que se realizan en los compresores de gas marca AJAX donde se observa que en el año 2018 se realizaron 88 actividades correctivas y 31 preventivas, lo que indica que el 69% de tareas totales de mantenimiento están enfocados en acciones correctivas, afectando la disponibilidad de los compresores de gas.

En la Tabla 05 (Anexo 8), se puede apreciar las labores de mantenimiento que se realizan en los compresores de gas marca AJAX donde se observa que en el año 2017 se realizaron 79 actividades correctivas y 22 preventivas, lo que indica que el 75% de tareas totales de mantenimiento están enfocados en acciones correctivas, afectando la disponibilidad de los compresores de gas.

En la Tabla 06 (Anexo 8), se puede apreciar las labores de mantenimiento que se realizan en los compresores de gas marca ARROW donde se observa que en el año 2018 se realizaron 65 actividades correctivas y 29 preventivas, lo que indica que el 62% de tareas totales de mantenimiento están enfocados en acciones correctivas, afectando la disponibilidad de los compresores de gas.

En la Tabla 07 (Anexo 8), se puede apreciar las labores de mantenimiento que se realizan en los compresores de gas marca ARROW donde se observa que en el año 2017 se realizaron 51 actividades correctivas y 12 preventivas, lo que indica que el 73% de tareas totales de mantenimiento están enfocados en acciones correctivas, afectando la disponibilidad de los compresores de gas.

En la Tabla 08 (Anexo 8), se puede apreciar las labores de mantenimiento que se realizan en los compresores de gas marca WAUKESHA donde se observa que en el año 2018 se realizaron 65 actividades correctivas y 36 preventivas, lo que indica que el 56% de tareas totales de mantenimiento están enfocados en acciones correctivas, afectando la disponibilidad de los compresores de gas.

En la Tabla 09 (Anexo 8), se puede apreciar las labores de mantenimiento que se realizan en los compresores de gas marca WAUKESHA donde se observa que en el año 2017 se realizaron 60 actividades correctivas y 18 preventivas, lo que indica que el 67% de tareas totales de mantenimiento están enfocados en acciones correctivas, afectando la disponibilidad de los compresores de gas.

En la Tabla 10 (Anexo 8), se puede apreciar el comparativo del total de tareas de mantenimiento del año 2018 que se llevan a cabo en los compresores de gas teniendo un total de 128 para la marca AJAX, 105 para la marca ARROW y 116 para los motores WAUKESHA, lo cual representa un 37%, 30% y 33% respectivamente de las tareas de mantenimiento del año 2018 de las operaciones.

En la Tabla 11 (Anexo 8), se puede apreciar el comparativo del total de tareas de mantenimiento del año 2017 que se llevan a cabo en los compresores de gas teniendo un total de 106 para la marca AJAX, 70 para la marca ARROW y 89 para los motores WAUKESHA, lo cual representa un 40%, 26% y 34% respectivamente de las tareas de mantenimiento del año 2017 de las operaciones.

Antes de realizar un análisis de criticidad, primero debemos definir el Equipo Natural de Trabajo (ENT). Así que para responder a las siete preguntas básicas que fundamenta la metodología del MCC, fue necesaria la conformación de un equipo de trabajo, el cual tuvo como principal objetivo la revisión de los requisitos de mantenimiento de los compresores de gas marca AJAX, ARROW, WAUKESHA. El mismo incluye personas del área del proceso productivo y del área de mantenimiento, que tengan un amplio conocimiento del equipo y motores en estudio.

El grupo de trabajo está conformado por los siguientes integrantes: Facilitador de producción, Facilitador de mantenimiento, Operador de compresión de gas, Técnico mecánico, Técnico electricista, Personal de HSEQ.

El facilitador de mantenimiento fue la persona escogida por el estudio natural de trabajo (ENT) como líder, además es el líder de monitorear las labores de mantenimiento a ejecutar y vigilar el correcto funcionamiento de los registro y control de las labores de mantenimiento.

Definido el ENT, se realizó el análisis de criticidad, con el objetivo de determinar los componentes de los compresores de gas que son más aptos a presentar fallos durante su operatividad, para establecer hacia donde se enfocaron los esfuerzos de mantenimiento del mismo, los elementos que se tomaron en cuenta para la confección de este análisis son:

frecuencia de fallos, impacto de la operación, flexibilidad de la operación, impacto en calidad, seguridad y medio ambiente, así como costos de mantenimiento.

En la Tabla 12 (Anexo 8), se puede observar que cada uno de los componentes con más frecuencia de fallas que conforman a los motores de compresión de gas, donde se determinó según los parámetros del análisis de criticidad, el valor correspondiente a las consecuencias de fallas de cada uno de ellos.

En la Tabla 13 (Anexo 8), se puede observar el valor correspondiente a la criticidad que posee cada uno de los componentes de los motores de compresión de gas, posteriormente se realizó un Diagrama de Pareto, el cual permitió analizar de manera gráfica el porcentaje de criticidad que tiene cada uno de los mismos.

En el Figura 13 se puede apreciar el Diagrama de Pareto, en el cual muestra en forma de barras de color azul, la criticidad de cada uno de los componentes de los compresores de gas, la línea roja indica el valor porcentual de la criticidad de cada uno de los mismos y la línea verde se usa como guía que indica donde está ubicado el 80% del porcentaje total de la criticidad.

Una vez obtenidos los datos provenientes de la Tabla 14 (Anexo 8), se realizó un Diagrama de Pareto (Figura 13, Anexo 8), en el cual se observó que los componentes que tienen mayor influencia en los motores de compresión de gas son: el pistón y la culata, por esto los esfuerzos de mantenimiento deben estar enfocados en reducir la ocurrencia de modos de fallas en ellos. El cigüeñal es una pieza semi-crítica como se observa en la Tabla 13 (Anexo 8), y las labores de mantenimiento que se le ejecutan son sencillas (en su mayoría de sustitución).

El Análisis de Modos y Efectos de Falla, este es el paso más importante de la metodología del MCC, permitió identificar de manera detallada cuales son los modos y efectos de fallo de los motores de compresión de gas; con la información recolectada por el personal de mantenimiento, especificaciones del equipo y hojas de registro del histórico de fallas de los mismos. Este análisis es el más complicado y riguroso del plan de MCC, debido a que se manejan diversas variables que pueden dar pie a diferentes criterios en el ENT para la toma de decisiones y la elección de las labores de mantenimiento a ejecutar.

Una vez identificados los modos de falla se realizó el llenado de la Hoja de Información (Tabla 15 – Anexo 8), en la cual se registraron todas las variables involucradas en la falla de los motores de compresión de gas, además se identificaron los efectos de fallas asociados a cada una de los modos de fallo.

Árbol Lógico de Decisión, una vez completada la hoja de información (Tabla 15 – Anexo 8) se dio respuesta a las primeras cinco preguntas del MCC; los dos restantes se responderán con el siguiente paso que es el llenado de la Hoja de Decisión, en el cual se seleccionará la tarea de mantenimiento que prevenga y minimice cada uno de los fallos y sus posibles efectos, a partir del árbol lógico de decisión. Luego de determinar el tipo de actividad de mantenimiento se tiene que describir la función de mantenimiento a realizar con su frecuencia y trabajador a ejecutar dicha acción, al concluir el llenado de la Hoja de Decisión (Tabla 16 – Anexo 8), se asignaron ocho labores de mantenimiento a realizar para cada modo de fallo, en este caso siete actividades enfocadas en un mantenimiento preventivo y una en mantenimiento correctivo. Es importante resaltar que las fallas en los rodamientos, no tienen una tarea de mantenimiento asignada, debido a que su modo de falla está relacionado directamente con stock en el almacén.

De acuerdo a las consideraciones resultantes en la aplicación de la Hoja de Decisión se realizó un plan de mantenimiento (Tabla 17 – Anexo 8), en el que se observa la frecuencia, actividad, tipo de mantenimiento y el encargado en llevar a cargo cada una de las tareas de mantenimiento establecidas.

En la Tabla 17 (Anexo 8), se observan las tareas de mantenimiento que se deben ejecutar en los motores de compresión de gas para reducir los tiempos que los motores para y no están programadas; es importante resaltar, que las frecuencias de las labores de mantenimiento, se escogieron en función de las características de los componentes y la experiencia del personal de mantenimiento y operador del equipo.

En la Tabla 18 (Anexo 8), se indica el inventario de repuestos para los motores de compresión de gas, en el cual se puede apreciar que cada pieza o componente se le realizó una codificación y se le asignó un nivel mínimo de existencia, enfocado en la frecuencia de cambio y la cantidad requerida para los motores; el objetivo principal del mismo es garantizar que el departamento de mantenimiento tenga disponible los insumos necesarios para una rápida y planificada intervención, ante paradas programadas e imprevistas del equipo. El Análisis Costo Beneficio de la propuesta de mantenimiento centrado en la confiabilidad que permita reducir las fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.

Para el desarrollo del trabajo de investigación propuesto; lo expuesto anteriormente, permitirá generar registros de datos que será de mucha importancia para la compañía. El registro de datos obtenidos de los colaboradores de cada etapa del proceso, a través de sus impresiones y de su discernimiento, colaboró en identificar las inoperancias de la compañía dando la posibilidad de no poder tomar decisiones en cuanto a los fallos en el área de mantenimiento. Siendo importante el costo de inversión que implica la implementación de la propuesta de gestión para el proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad que se propone, a continuación, se señalan los costos asociados en la implementación de la misma.

Costo del Mantenimiento MMC, para interpretar la presente investigación, se tiene en cuenta los costos asociados en lo que la compañía los cuales se deben cubrir para hacer funcionar el modelo de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Para llevarlo a cabo, se determinará los costos de implementación y ejecución del modelo, además los costos de los materiales e insumos necesarios para el modelo de mantenimiento propuesto. En la tabla siguiente se detalla esta información.

En la tabla 19 (Anexo 8), se indican los costos de capacitación e implementación del modelo de Gestión de Mantenimiento centrado en la confiabilidad MMC. La aplicación de la capacitación se realizará igualmente para cada colaborador. La compañía cuenta con diez trabajadores encargados de los motores, sumando del jefe y supervisor del equipo de mantenimiento.

Así obtenemos que los costos totales asociados a la capacitación en mantenimiento son de USD \$/. 5,224.00 dólares.

En la tabla 20 (Anexo 8), se indica el costo de la ejecución del modelo de Gestión de Mantenimiento centrado en la confiabilidad, este costo incluye también los archivadores para la toma de datos, considerando dos archivadores para el procedimiento de Mantenimiento MMC ya que consta de dos registros (Control de Registro de Mantenimiento Correctivo y Control de Reporte de Mantenimiento Preventivo), además materiales de oficina utilizados para el llenado de datos (Hojas, lápices, correctores, reglas, lapiceros, borradores, etc.), las impresiones de los formatos para el control y las hojas bond que se utilizarán. Obtenemos que el costo asociado a la ejecución es de USD \$/. 260.00 dólares.

La tabla 21 (Anexo 8), indica los costos anuales que se utilizan en repuestos para el mantenimiento de los motores al implementar este trabajo propuesto. El precio, unidades y

cantidades, se determinan de la información brindada por la compañía según las labores a realizar y de las labores de mantenimiento centrado en la confiabilidad propuesto.

Se obtiene que el costo anual asociado a los repuestos para el mantenimiento es de USD \$/. 36,674.04 dólares, que incluye la capacitación, la ejecución y los repuestos para el mantenimiento se calcula sumando el total de las tablas 19, 20 y 21 siendo el costo total de la implementación del modelo propuesto es de USD \$/. 42,158.04 dólares anuales.

En la tabla 23 (Anexo 8), se indica la comparación entre el mantenimiento actual del año 2017 y el modelo de mantenimiento con el sistema centrado en confiabilidad; así se indica que la pérdida de oportunidad al año fue de USD \$/. 64,091.88 dólares en el año 2017 mientras que, aplicando el mantenimiento centrado en la confiabilidad sería de USD\$/. 42,158.04 dólares, además el tiempo utilizado en labores en reparación y mantenimiento fue de 617 horas/hombre, mientras que al aplicar el mantenimiento centrado en la confiabilidad se reduciría a 127 horas.

El Análisis costo beneficio del trabajo al implementar un Sistema de Gestión de Mantenimiento centrado en la confiabilidad para la empresa Confipetrol Andina S.A., se realizó dado que la compañía no cuenta con un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad. El beneficio que se obtendrá es minimizar la cantidad de paradas no deseadas por fallos en los compresores de gas de la compañía, lo cual aumentará el funcionamiento de los mismos, indicando una reducción del tiempo para la realización de las labores de mantenimiento. Así tenemos que el beneficio costo es:

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{64,091.88}{42,158.04}$$

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = 1.52$$

Lo cual muestra que por cada dólar invertido en el modelo de mantenimiento MMC, el beneficio obtenido será de 1,52 dólares; también, con la propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad basado en MMC se minimizará el porcentaje de fallos que reducirá la pérdida de oportunidad y el decremento del proceso de producción.

#### **IV. DISCUSIÓN**

En su investigación, Da Costa (2010), “Aplicación del mantenimiento basado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de petróleo de alta producción”, ejecutó una metodología AMEF en hojas de datos y decisiones estableciendo la prioridad de riesgo por efecto potencial de fallo, bajo este método se elaboró el MMC a los componentes críticos de los motores de bombeo tales como: motor, engranajes y prensa estopa.

Por otro lado, también en el trabajo del señor Da Costa, utiliza un método para obtener los costos de mantenimiento, para tal fin bajo esta metodología se obtuvo el costo beneficio del mantenimiento basado en la confiabilidad del estado actual y de la mejora propuesta, obteniendo un costo beneficio de USD \$/. 1.52; por cada dólar invertido con el mantenimiento centrado en la confiabilidad MMC, resultando satisfactorio para la compañía Confipetrol Andina S.A.

En el trabajo del señor Lugo, Mendoza y Rales (2002), “Administrar el mantenimiento preventivo a motores eléctricos de motores de bombeo mecánico de Poza Rica, para aumentar la producción”, se refiere un estudio minucioso de los procedimientos de análisis de criticidad de campos petroleros basado en cuatro sectores tales como: Operaciones, Seguridad, Mantenimiento y Tecnología, aplicando esta misma metodología a los motores de bombeo resultaron críticos de cinco mecanismos, solo tres (motor, engranajes y prensa estopa).

Este estudio, reforzó la idea de los motores con respecto a su operación y componentes de un modelo de compresión de gas, describiendo gradualmente la extracción de petróleo y gas del subsuelo hasta los depósitos de almacenamiento y las baterías, resultando los dos componentes más críticos en los motores de compresión de gas el pistón y la culata.

En el trabajo del señor Ríos (2004), “Diseño de un sistema estratégico de mantenimiento para equipos y máquinas de empresas de servicios al sector petrolero”, describe las instrucciones que se deben seguir para un modelo económico, según el plan estratégico de mantenimiento para motores, considera la inversión de la investigación como la suma de los costos fijos y el presupuesto determinado por la compañía.

Argumenta además procedimientos de mantenimiento de acuerdo a la función de un motor, con referencia a nuestro trabajo se describen todos los procedimientos a realizar según el comportamiento de sus componentes de los motores de compresión de gas.

La aplicación de la metodología Análisis de modos y efecto de fallas (AMEF) se aplicó a los 02 componentes críticos de los motores de compresión de gas (pistón y culata), teniendo un total de 06 fallos y un total 08 efectos potenciales de fallos.

El avance y desarrollo de las hojas de información, datos y toma de decisiones fueron preparadas con el criterio técnico de los ingenieros y técnicos mecánicos del LoteX perteneciente de la compañía Confipetrol Andina S.A.

## V. CONCLUSIONES

Durante el estudio de los históricos de fallas, se identificó que el factor más determinante en los tiempos de paradas no programadas, es que las labores de mantenimiento centrado en la confiabilidad ejecutadas están enfocadas mayormente en un mantenimiento correctivo, lo cual influye negativamente, en la confiabilidad de los motores. Razón por la cual se elaboró un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, cuyo objetivo principal es minimizar los costos de mantenimiento; elaborando estrategias que permiten optimizar al máximo los recursos con que se cuentan, y así enfocar los trabajos en un mantenimiento preventivo el cual garantice el mejor uso de los repuestos de los motores de compresión de gas, para alargar su vida útil.

En el Análisis de Criticidad se determinó que el pistón y la culata son los componentes críticos de los motores, es por esto que las labores o tareas de mantenimiento a realizarse deben estar enfocados en reducir los modos de fallas asociados a los mismos, ya que estos tienen gran incidencia en el funcionamiento del equipo.

Posteriormente se identificaron ocho modos y efectos de fallas, asociados con cada falla funcional de los motores de compresión de gas, estas se identificaron en la Hoja de Información; luego se escogieron las actividades de mantenimiento adecuadas, para reducir su efecto en el funcionamiento de los equipos, las tareas seleccionadas para lograr esto fueron doce en total: siete enfocadas en tareas preventivas, cuatro en tareas predictivas y una tarea correctiva.

Con la implementación del plan de MCC, se minimizará que los modos de fallos ocurran, ya que enfocarán los esfuerzos de mantenimiento en los repuestos críticos, lo que a su vez generará minimizar los costos de operación y de mantenimiento, como consecuencia de la disminución de los tiempos de paradas no programadas y la minimización de los residuos. A su vez se busca, mediante la aplicación de esta metodología, garantizar el correcto funcionamiento de los motores de compresión de gas, lo cual es de mucha importancia para conservar la calidad de los productos y permanecer en el mercado, además se promueve el trabajo en equipo y se reducen los riesgos asociados a una falla potencial.

Es importante destacar que la propuesta de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad MCC en los motores de compresión de gas, sirve como punto inicial, para una futura aplicación en los procesos de producción restantes y de esta manera mejorar de manera paulatina la confiabilidad operacional de todos los activos de la compañía.

Finalmente, el análisis Beneficio Costo que se estima que con la propuesta del modelo de Gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad, se minimizarán la frecuencia de fallos, reduciendo los costos de manteniendo correctivo que se ejecutan actualmente en la compañía y tiempos muertos del trabajador, lo cual afectará positivamente en la reducción de 65,77% de estos costos por mantenimiento, que en monedas representa una reducción en USD \$/. 21,933.84 dólares, brindando USD \$/. 1,52 dólares por cada dólar que se ha invertido.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Aplicar el plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad MCC propuesto anteriormente, teniendo el fin de reducir costos asociados de mantenimiento y el de optimizar la confiabilidad operacional de sus activos.

Renovar y mejorar el proceso de obtención de datos, detallando clara y precisamente el tiempo que no están en servicio y el tiempo de mantenimiento efectivo, con el fin de mantener datos históricos muy confiables.

Optimizar el uso de las técnicas de registro y procesamiento de la data operacional utilizada actualmente, llevar un control diario confiable, que permita determinar las variaciones en el funcionamiento de los extrusores.

Fomentar la creación y aplicación de formularios de toma de registros de fallos en los cuales se explica al detalle el modo y la causa de los fallos, así como las decisiones ejecutadas para resolver la situación.

Conservar los niveles de inventario de los repuestos, según lo dispuesto en la presente propuesta, de esta manera garantizar una rápida y oportuna intervención del motor a cargo del grupo de trabajadores a la hora de ejecutar los trabajos de mantenimiento, con el mínimo impacto en los procesos, las operaciones y la producción.

Capacitar, orientar y concientizar al personal de mantenimiento en la utilización de herramientas y equipos naturales de trabajo para el óptimo funcionamiento de los motores.

Preservar el Equipo Natural de Trabajo para centralizar, analizar estrategias y definir las acciones acertadas en el momento de ejecutar algún trabajo aprovechando los recursos disponibles y el capital humano.

## REFERENCIAS

ALBERTOS, Miguel Ángel. El Mantenimiento Industrial desde la experiencia. Editorial: Universidad de Valladolid 2012, 142 pp., Disponible en URL: <https://www.casadellibro.com/libro-el-mantenimiento-industrial-desde-la-experiencia/9788484486640/2028737>

ISBN: 978-84-8448-664-0

ARIAS, Fernando. El proyecto de la investigación: Introducción a la metodología científica. Venezuela: Episteme, 2006.

ISBN: 9800785299

BEHAR Rivero, Daniel. Metodología de la investigación. Editorial Shalom: 2008. 94p.

ISBN: 9789592127837

BECERRA Gilberto y PAULINO Jony. El análisis de confiabilidad como herramienta para optimizar la gestión del 8 mantenimiento preventivo de los equipos de la línea de flotación en un centro minero. Tesis (Maestro en Ingeniería con mención en Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento). Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2012.

BERNAL, César, Metodología de la investigación científica, Colombia, 3era Edición, Editorial: Pearson, 2010, 320 pp.

ISBN: 978-958-699-128-5

CALDERÓN, William. Implementación de la gestión del mantenimiento de las talladoras para disminuir las paradas no programadas en la empresa Tops productos ópticos S.A. Tesis (Título de ingeniero electrónico). Trujillo-Perú. Universidad Privada Antenor Orrego. Facultad de Ingeniería, 2014, (91 pp.). Disponible en URL.: [http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/1132/1/CALDER%C3%93N\\_WILLIAM\\_MANTENIMIENTO\\_TALLADORAS\\_PARADAS.pdf](http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/1132/1/CALDER%C3%93N_WILLIAM_MANTENIMIENTO_TALLADORAS_PARADAS.pdf)

CEDEÑO, José. Propuesta de Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en la Norma Covenín 3049-93 Para la Planta de Mezcla de Fluidos de Perforación en la Empresa Proamsa, Maturin Estado Monagas. Maturín-Venezuela. Instituto Universitario Politécnico. Facultad de Ingeniería. 2013. (172 pp.).

CESÁREO, Félix. Tecnología del mantenimiento industrial. Editorial: Universidad de Murcia, 1998, 341 pp. Disponible en URL. : [https://books.google.com.pe/books/about/Tecnolog%C3%ADa\\_mantenimiento\\_industrial.html?id=bOrFC3532MEC](https://books.google.com.pe/books/about/Tecnolog%C3%ADa_mantenimiento_industrial.html?id=bOrFC3532MEC)

ISBN: 978-848-37-1008-1.

CHIROQUE, Sigfredo [et al.]. Investigación educativa: El proyecto de tesis. Lambayeque: Fondo editorial FACHSE-UNPRG, 2006. 261 pp.

CRUELLES, José. Productividad industrial, Método de trabajo, tiempos y su aplicación a la planificación y a la mejora continua. 1era Edición. Editorial: Marcombo. 2013. 830 pp. Disponible en URL.: [https://books.google.com.pe/books/about/Productividad\\_industrial\\_m%C3%A9todos\\_de\\_tra.html?id=yHefkwEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Productividad_industrial_m%C3%A9todos_de_tra.html?id=yHefkwEACAAJ&redir_esc=y)

ISBN 978-84-267-1878-5

CURIEL Roberto y PADILLA Gonzalo. Análisis de confiabilidad en los equipos de bombeo de agua cruda en la empresa Acucar S.A. Tesis de grado (especialista en gerencia de mantenimiento). Venezuela: Universidad Tecnológica de Bolívar, 2010.

CRUZ Ramos, Luis. Diseño de plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad y confiabilidad en las maquinas circulares de la empresa textil WG SAC – Lima. Tesis (Ingeniero mecánico electricista). Perú: Universidad CésarVallejo, 2016.

DA COSTA .2010. Tesis: Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú

DUFFUAA, RAOUF Y DIXON. Sistemas de mantenimiento planeación y control. México, Editorial: Limusa Wiley, 2012, 419 pp. Disponible en URL. : [https://books.google.com.pe/books/about/Sistemas\\_de\\_mantenimiento.html?id=PQtTPAAACAAJ](https://books.google.com.pe/books/about/Sistemas_de_mantenimiento.html?id=PQtTPAAACAAJ)

ISBN: 978-968-18-5918-388.

FUENTES, Sebastian Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en los indicadores de Overall Equipment Efficiency para la reducción de los costos de mantenimiento en la empresa Hilados Richard's S.A.C. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Lima. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Facultad de Ingeniería. 2015. (111 pp.)

HELMAN HORACIO Y PEREIRA PAULO. 1995. Manual análisis de modo y efecto de Falla (AMEF). [En línea] 2 de enero del 2009. [Citado el: 15 de mayo de 2015] Ford Motor Company.

GARCIA Garrido, Santiago. "La contratación del Mantenimiento Industrial". Ediciones Días de Santos: Madrid, 2010. 143p.

ISBN: 9788499690186

GONZÁLES Francisco. Teoría y práctica del Manteamiento Industrial Avanzado. 2da Edición, Artegift. Madrid: 2005. 389p.

ISBN: 8496169499

ICART I, Teresa. Elaboración y presentación de un proyecto de investigación y una tesina. Perú: Graficas Rey, 2010. 91 pp.

ISBN: 848338485X

BUSINESS, solutions. Productividad. [En línea]. 2010. Disponible en URL. : <http://www.bscgla.com/04.%20Educacion/00010.%20Productividad/Productividad.pdf>

KECECIOGLU, DIMITRI. 1995. Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering. New Jersey City: Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 1995. ISBN: 0135736277.

LUGO, MENDOZA Y RALES .2002. Tesis: Administración del mantenimiento preventivo a motores eléctricos de unidades de bombeo mecánico Distrito Poza Rica, México: Universidad Veracruzana.

MILANESE Negro, Christian. Diseño de un plan preventivo basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad en la máquina papelera. Tesis (Ingeniero mecánico). Venezuela: Universidad Simón Bolívar, 2013.

MORA Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. Alfaomega Grupo Editor: México, 2009. 528p.

ISBN: 9789586827690

MORALES, Juan. Implantación de un programa de mantenimiento productivo total (TPM) al taller automotriz del I. Municipio de Riobamba (IMR). Tesis (Título de ingeniero automotriz). Riobamba-Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Mecánica. 2012, (161pp).

MOUBRAY, JOHN MITCHELL. 2004. RCM Reliability Centered Maintenance - Industrial Press Inc. [ed.] Guilford and Rob Lockhart Biddles Limited. [trad.] Sueiro y Asociados - Argentina Ellman. Primera en castellano. Leicestershire: Aladon Limited, 2004. pág. 433. ISBN 09539603-2-3

MOUSALLI-KAYAT, Gloria. Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa. Mérida, 2015. Disponible en URL.:

[https://www.researchgate.net/publication/303895876\\_Metodos\\_y\\_Disenos\\_de\\_Investigacion\\_Cuantitativa](https://www.researchgate.net/publication/303895876_Metodos_y_Disenos_de_Investigacion_Cuantitativa)

PÉREZ, Williams. Plan de gestión para mantenimiento de montacarga tipo Nissan, Modelo (88-G25). Proyecto de tesis (título de Técnico Superior Universitario en Tecnología Mecánica). Caracas-Venezuela. Universidad Simón Bolívar. Coordinación de Tecnología Mecánica y Mantenimiento Aeronáutico. 2013, (86 pp.). Disponible en URL.: <http://159.90.80.55/tesis/000165404.pdf>

RIVERA, Enrique. Sistema de gestión de mantenimiento industrial. Tesis (título de ingeniero industrial). Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial. 2011. (221 pp.). Disponible en URL.: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/1661>

RÍOS .2004. Tesis: Diseño de un modelo estratégico de mantenimiento para equipos y maquinarias de empresas prestarias de servicios a la industria petrolera. Venezuela: Universidad del Zulia.

SALAS, Mario. Propuesta de mejora del programa de mantenimiento preventivo actual en las etapas de prehilado e hilado de una fábrica textil. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Lima. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Facultad de Ingeniería Industrial, 2012, (243 pp.). Disponible en URL.: [http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPC\\_e9399b3afb003017d9ce75cbdf632248/Details](http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPC_e9399b3afb003017d9ce75cbdf632248/Details)

SMITH, A. M. y Hinchliffe, G. R. [2006] “Four features used to define RCM”. Plant Engineering, enero 1, 2006. Disponible en URL.: <http://notes.ump.edu.my/fkee/06071BEE4632/Notes/Four%20features%20used%20to%20define%20RCM.doc>

VALDÉS Atencio, Jorge. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo-predictivo aplicado a los equipos de la empresa Remaplast. Título de grado (Administrador Industrial). Colombia: Universidad de Cartagena, 2009.

VARGAS Yupanqui, Esnider. Aplicación del Mantenimiento Productivo Total para mejorar la productividad en el área de repujado de la empresa Industrias FAMY EIRL, Los Olivos, 2017. Tesis (Ingeniero Industrial). Perú: Universidad César Vallejo, 2017.

VILLACRÉS Parra, Sergio. Desarrollo de un plan de Mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento basado en la Confiabilidad (RCM) para el vehículo Hidrocleaner Vactor M654 de la empresa Etapa EP. Trabajo de investigación (Magister en Gestión de Mantenimiento Industrial). Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2016.

ZAMBRANO, CARLOS. 2006. Análisis de criticidad y confiabilidad en los equipos.

[En línea] 14 de octubre del 2010. [Citado el: 25 de mayo de 2015.]

M. DIXEY, “Putting Reliability at the Center of Maintenance,” Professional Engineering, Vol. 6, No. 6, June 1993, pp. 23-25.

S. A. ABDULROHIM, O. D. SALIH AND A. RAOUF, “RCM Concepts and Application: A Case Study,” International Journal of Industrial Engineering, Vol. 7, No. 2, 2000, pp. 123-132.

J. WANG AND J. CHU, “Selection of Optimum Maintenance Strategies Based on a Fuzzy Analytic Hierarchy Process,” International Journal of Production Economics, Vol. 107, No. 1, 2007, pp. 151-163.

R. K. SHARMA, D. KUMAR AND P. KUMAR, "FLM to Select Suitable Maintenance Strategy in Process Industries Us-ing MISO Model," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 11, No. 4, 2005, pp. 359-374.

The National Aeronautics and Space Administration, "Reliability-Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment," NASA, Washington D.C., February 2000.

A. M. SMITH, "Reliability-Centered Maintenance," McGraw-Hill, New York, 1993.

J. SHAYERI, "Development of Computer-Aided Maintenance Resources Planning (CAMRP): A Case of Multiple CNC Machining Centers," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 23, No. 6, 2007, pp. 614-623.

M. RAUSAND, "Reliability-Centered Maintenance," *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 60, No. 2, 1998, pp. 121-132.

A. H. GOMAA, "Maintenance Planning and Management," A Literature Study, American University in Cairo, Cairo, 2003.

## ANEXOS

### Matriz de Consistencia

Título	Formulación del problema	Objetivos	Variables e indicadores	Población Muestra	Diseño	Técnicas e Instrumento de recolección de datos	Método de análisis de datos
<p><u>Propuesta de gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad para reducir las fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A. Lote X, El Alto – 2018</u></p>	<p><b><u>Pregunta general</u></b> ¿Qué se requiere para reducir las fallas en los motores de compresión de gas al elaborar una propuesta de gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad en la empresa Confipetrol Andina S.A., lote X, el alto – 2018?</p>	<p><b><u>Objetivo general</u></b> Proponer en qué medida el modelo de gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad permitirá reducir las fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A, lote X, el alto – 2018.</p>	<p><b><u>Variable fáctica:</u></b> <b><u>Fallas</u></b> Fallas Tempranas Malas prácticas Personal no idóneo Errores de fábrica  <b><u>Fallas Adultas</u></b> Condiciones ambientales no adecuadas Personal no idóneo Incumplimiento de estándares recomendados por el fabricante  <b><u>Fallas Tardías</u></b> Incumplimiento de labores de mantenimiento Cambio de piezas alternativas</p>	<p><b><u>La población:</u></b> Para el presente proyecto del estudio la población determinada para la presente propuesta está constituida por los 09 motores (Ajax, Arrow Y Waukesha) de compresión de gas que se encuentran en la empresa Confipetrol Andina S.A.</p>	<p><b><u>Diseño:</u></b> El Diseño de investigación es no experimental, transeccional descriptivo. Los diseños transeccionales descriptivos recolectan datos en un tiempo único con el objetivo de describir variables y analizar su incidencia en un momento dado. Además, es una investigación Propositiva, porque se elaborara una propuesta de reducción de fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.</p>	<p><b><u>Técnicas:</u></b> Para la presente propuesta, se utilizó la técnica de observación, porque los registros obtenidos a través del día que serán realizados por los operadores de los motores de compresión de gas, Entrevista se realizaron entrevistas al personal de mantenimiento, operadores de los motores y personal supervisor, evaluando el conocimiento que tienen del mantenimiento centrado en confiabilidad. Ficha de análisis de documentos: Los registros recopilados en el área de compresión de gas para su estudio de cómo se encuentra la situación de los motores</p>	<p>Los antecedentes estadísticos que se obtengan de la presente investigación se resolverán obedeciendo al tipo de instrumento para cada indicador aplicado, utilizando medios electrónicos y clasificados de acuerdo a las unidades de estudio para cada indicador a través del paquete Excel 2016, que permitirá mostrar los resultados con cuadros y gráficos para su respectivo estudio a los motores de compresión de gas.</p>

<b><u>Preguntas específicas</u></b>	<b><u>Objetivos específicos</u></b>	<b><u>Variable Propuesta:</u></b>	<b><u>La Muestra:</u></b>	<b><u>Instrumento de recolección de datos:</u></b>
<p>¿Cuál es la situación actual de los mantenimientos de los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.?</p> <p>¿Qué parámetros se obtienen en el análisis de criticidad en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.?</p> <p>¿Cómo puede evitarse cada fallo en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.?</p> <p>¿Cuál es el costo beneficio de implementar esta propuesta en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.?</p>	<p>Diagnosticar la situación actual de los mantenimientos de los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A</p> <p>Realizar un análisis de criticidad los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A</p> <p>Diseñar un plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad que permita reducir las fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.</p> <p>Realizar un análisis Costo Beneficio de la propuesta de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad que permita reducir las fallas en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.</p>	<p><b><u>Gestión de Mantenimiento centrado en la Confiabilidad</u></b></p> <p><b><u>Características Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC):</u></b> Metodología proceso sistemático Mantenimiento basado en criticidad de los compresores de gas Modos de fallo de compresores Generación estrategias efectivas</p>	<p>El presente estudio la muestra será similar a la población y se conformara por los 09 motores (Ajax, Arrow y Waukesha) de compresión de gas que se encuentran en la empresa Confipetrol Andina S.A.</p>	<p>Se empleará fichas de recolección de datos, el cual se utilizará para registrar datos y la medición de productividad junto a sus dimensiones eficiencia y eficacia los cuales mostraran el número de consultas ingresadas de manera diaria, las consultas respondidas, los tiempos útiles y los tiempos muertos, además se utilizaran flujogramas y la lista de verificación para las dimensiones del estudio de trabajo propuesto</p>

## Validación de los instrumentos de recolección de datos



### CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, Olivier Cuyin Cárdenas con DNI N° 02845346 Magister  
en Informática  
N° ANR: ..... de profesión Ing. Industrial desempeñándome como Docente  
Univ. César Vallejo en Prog. Formación para Saludo

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- Entrevista
- Ficha análisis documental

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

HOJA DE REGISTRO DE FALLAS	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad			/		
2. Objetividad			/		
3. Actualidad			/		
4. Organización			/		
5. Suficiencia			/		
6. Intencionalidad			/		
7. Consistencia			/		
8. Coherencia			/		
9. Metodología			/		

HOJA DE REGISTRO DE REPARACIONES	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad			/		
2. Objetividad			/		
3. Actualidad			/		
4. Organización			/		
5. Suficiencia			/		
6. Intencionalidad			/		
7. Consistencia			/		
8. Coherencia			/		
9. Metodología			/		

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los <sup>27</sup> días del mes de <sup>Nov.</sup> del Dos mil <sup>18</sup> .....

Mgtr.

*Oliver Cuyin Astaneda*

DNI

0291346

Especialidad

*Ing. Industrial*

E-mail

*oastaneda@hotmail.com*

*[Firma]*  
cip 56206

**“PROPUESTA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA REDUCIR LAS FALLAS EN LOS MOTORES DE COMPRESIÓN DE GAS DE LA EMPRESA CONFIPETROL ANDINA S.A, LOTE X, EL ALTO – 2018”**

**FICHA DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO: ENTREVISTA**

Indicadores	Criterios	Deficiente 0 - 20				Regular 21 - 40				Bueno 41 - 60				Muy Bueno 61 - 80				Excelente 81 - 100				OBSERVACION
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	
<b>ASPECTOS DE VALIDACIÓN</b>		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. Claridad	Está formulado con un lenguaje apropiado.												/									
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.												/									
3. Actualidad	Adecuado al enfoque teórico abordado en la investigación.												/									
4. Organización	Existe una organización lógica entre sus ítems.												/									
5. Suficiencia	Comprende los aspectos necesarios en cantidad y												/									



**“PROPUESTA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA REDUCIR LAS FALLAS EN LOS MOTORES DE COMPRESIÓN DE GAS DE LA EMPRESA CONFIPETROL ANDINA S.A, LOTE X, EL ALTO – 2018”**

**FICHA DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO: ANÁLISIS DOCUMENTAL**

Indicadores	Criterios	Deficiente 0 - 20				Regular 21 - 40				Bueno 41 - 60				Muy Bueno 61 - 80				Excelente 81 - 100				OBSERVACION
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	
ASPECTOS DE VALIDACIÓN		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. Claridad	Está formulado con un lenguaje apropiado.												/									
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.												/									
3. Actualidad	Adecuado al enfoque teórico abordado en la investigación.												/									
4. Organización	Existe una organización lógica entre sus ítems.												/									
5. Suficiencia	Comprende los aspectos necesarios en cantidad y												/									





### CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, NESTOR JAVIER ZAPATA PALACIOS con DNI N° 02667267 Magister  
en INGENIERO AMBIENTAL  
N° ANR: ..... de profesión I INDUSTRIAL desempeñándome como DOCENTE DEL  
PFA en UNIVERSIDAD 'CESAR VALLEJO'

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- Entrevista
- Ficha análisis documental

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

HOJA DE REGISTRO DE FALLAS	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad					X
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología					X

  
Sr. Néstor Javier Zapata Palacios  
INGENIERO INDUSTRIAL  
CIP: 35038  
2da. ESPECIALIDAD EN AGROINDUSTR.  
Msc INGENIERIA AMBIENTAL

HOJA DE REGISTRO DE REPARACIONES	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad					X
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología					X

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 23 días del mes de NOVIEMBRE del Dos mil 01.

  
**Dr. Néstor Javier Zapata Palaci**  
 INGENIERO INDUSTRIAL  
 CIP: 35038  
 2da. ESPECIALIDAD EN AGROINDUSTRIA  
 1ra. INGENIERIA AMBIENTAL

Mgtr. : INGENIERIA AMBIENTAL  
 DNI : 02667267  
 Especialidad : INGENIERIA INDUSTRIAL  
 E-mail : nj.zapata@gmail.com

**“PROPUESTA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA REDUCIR LAS FALLAS EN LOS MOTORES DE COMPRESIÓN DE GAS DE LA EMPRESA CONFIPETROL ANDINA S.A, LOTE X, EL ALTO – 2018”**

**FICHA DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO: ANÁLISIS DOCUMENTAL**

Indicadores	Criterios	Deficiente 0 - 20				Regular 21 - 40				Bueno 41 - 60				Muy Bueno 61 - 80				Excelente 81 - 100				OBSERVACION								
		0	5	10	15	16	20	25	30	31	35	40	45	46	50	55	60	61	65	70	75		76	80	85	90	91	95	100	
<b>ASPECTOS DE VALIDACIÓN</b>		0	5	10	15	16	20	25	30	31	35	40	45	46	50	55	60	61	65	70	75	76	80	85	90	91	95	100		
1. Claridad	Está formulado con un lenguaje apropiado.																					X								
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.																							X						
3. Actualidad	Adecuado al enfoque teórico abordado en la investigación.																						X							
4. Organización	Existe una organización lógica entre sus ítems.																						X							
5. Suficiencia	Comprende los aspectos necesarios en cantidad y																						X							

  
 Sr. Néstor Javier Zapata Palacios  
 INGENIERO INDUSTRIAL  
 CIP: 35038  
 Es. ESPECIALIDAD EN AGROINDUSTRIA



**“PROPUESTA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA REDUCIR LAS FALLAS EN LOS MOTORES DE COMPRESIÓN DE GAS DE LA EMPRESA CONFIPETROL ANDINA S.A, LOTE X, EL ALTO – 2018”**

**FICHA DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO: ENTREVISTA**

Indicadores	Criterios	Deficiente 0 - 20				Regular 21 - 40				Bueno 41 - 60				Muy Bueno 61 - 80				Excelente 81 - 100				OBSERVACION								
		0	5	10	15	16	20	25	30	31	35	40	45	46	50	55	60	61	65	70	75		76	80	85	90	91	95	100	
<b>ASPECTOS DE VALIDACIÓN</b>		0	5	10	15	16	20	25	30	31	35	40	45	46	50	55	60	61	65	70	75	76	80	85	90	91	95	100		
1. Claridad	Está formulado con un lenguaje apropiado.																						X							
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.																									X				
3. Actualidad	Adecuado al enfoque teórico abordado en la investigación.																													
4. Organización	Existe una organización lógica entre sus ítems.																													
5. Suficiencia	Comprende los aspectos necesarios en cantidad y																													

  
 .. Nestor Javier Zapata Palacios ..  
 INGENIERO INDUSTRIAL  
 CIP: 35038  
 ESPECIALIDAD EN AGRICULTURA





### CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo, Gerardo Sosa Panta con DNI N° 03591940 Magister  
en DOCENCIA UNIVERSITARIA  
N° ANR: ..... de profesión ING. INDUSTRIAL desempeñándome como DOCENTE  
..... en UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- Entrevista
- Ficha análisis documental

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

HOJA DE REGISTRO DE FALLAS	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización					X
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

  
Mg. Gerardo Sosa Panta  
INGENIERO INDUSTRIAL  
CIP 67114

HOJA DE REGISTRO DE REPARACIONES	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia					X
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 23 días del mes de NOVIEMBRE  
del Dos mil 18.....

Mgtr. : Gerardo Sosa Panta  
DNI : 03591940  
Especialidad : INGENIERIA INDUSTRIAL  
E-mail : gerardodda@gmail.com

  
Mg. Gerardo Sosa Panta  
INGENIERO INDUSTRIAL  
CIP 67114

**“PROPUESTA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA REDUCIR LAS FALLAS EN LOS MOTORES DE COMPRESIÓN DE GAS DE LA EMPRESA CONFIPETROL ANDINA S.A, LOTE X, EL ALTO – 2018”**

**FICHA DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO: ANÁLISIS DOCUMENTAL**

Indicadores	Criterios	Deficiente 0 - 20				Regular 21 - 40				Bueno 41 - 60				Muy Bueno 61 - 80				Excelente 81 - 100				OBSERVACION
		0	6	11	16	21	28	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	
<b>ASPECTOS DE VALIDACIÓN</b>		0	6	11	16	21	28	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	
1. Claridad	Está formulado con un lenguaje apropiado.																X					
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.																X					
3. Actualidad	Adecuado al enfoque teórico abordado en la investigación.																X					
4. Organización	Existe una organización lógica entre sus ítems.																X					
5. Suficiencia	Comprende los aspectos necesarios en cantidad y																X					

  
 Mg. Gerardo Sosa Panta  
 INGENIERO INDUSTRIAL  
 CIP 67114

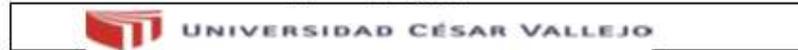






## Instrumentos de recolección de datos

### A. Entrevista



Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

#### Entrevista al Jefe de Taller del área de compresión de gas

**Objetivo:** Esta entrevista está orientada a recopilar información sobre las fallas que ocurren en los motores de compresión de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.

Presentación

---

Como parte de mi proyecto de investigación de la escuela de Ingeniería de la Universidad César Vallejo estoy realizando una investigación sobre las fallas que ocurren en los motores de compresión de gas. La información brindada en esta entrevista es de carácter confidencial y sólo será utilizada para los propósitos de la investigación.

Agradeciendo por su gentil colaboración.

---

#### I. Datos Informativos

Empresa:

Apellidos y nombres:

Cargo:

Área:

---

#### II. Información detallada

2.1 ¿Qué tiempo tiene usted laborando en la empresa?

2.2 ¿Qué tipos de compresores de gas se utilizan en la empresa?

2.3 ¿Podría resumir la funcionalidad de estos motores de compresión?

2.4 ¿Puede mencionar las 5 principales fallas de estos compresores?

A

B

C

D

E

2.5 ¿De acuerdo a su experiencia cual es la causa raíz que genera este tipo de fallas?

2.6 ¿Cuál es el periodo de mantenimiento que se realiza a estos motores?

2.7 ¿En caso de una parada de planta, que acciones se deberían tomar?

2.8 ¿Cuál es el costo promedio de una reparación producto de estas fallas?

2.9 ¿Qué alternativa sugiere para evitar o disminuir este tipo de fallas?

B. Ficha de análisis documental



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**Ficha de análisis documental del registro de fallas en el período del 01 enero al 30 julio 2018**

Objetivo: Recopilar información de las fallas en los compresores de gas de la empresa Confipetrol Andina S.A.

**I. Datos Informativos**

Área:

Fecha:

**II. Información detallada**

Id.	Fecha	Equipo	Nro. orden trabajo	Trabajo realizado	Falla	Costo (USD \$)	Acción a realizar	Días de parada	Observaciones
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Fuente: Elaboración propia

## **Metodología de gestión centrado en la confiabilidad MCC**

**Acción Correctiva:** Acción tomada para eliminar las causas de una no conformidad, defecto o cualquier situación indeseable existente, para evitar su repetición.

**Acción Preventiva:** Acción tomada para eliminar las causas de una no conformidad, defecto o cualquier situación indeseable potencial, con el fin de evitar que se produzca.

**Actividades:** Es el conjunto de acciones que se llevan a cabo para cumplir las metas de un programa o subprograma de operación, que consiste en la ejecución de ciertos procesos o tareas (mediante la utilización de los recursos humanos, materiales, técnicos, y financieros asignados a la actividad con un costo determinado), y que queda a cargo de una entidad administrativa de nivel intermedio o bajo. Es una categoría programática cuya producción es intermedia, y por tanto, es condición de uno o varios productos terminales. La actividad es la acción presupuestaria de mínimo nivel e indivisible a los propósitos de la asignación formal de recursos. Conjunto de operaciones o tareas que son ejecutadas por una persona o unidad administrativa como parte de una función asignada.

**AM – Asset Management (Gerencia de Activos):** Estrategia que abarca las herramientas y metodologías que permiten la planeación sistemática y control de los activos físicos a lo largo de su vida, esto incluye, diseño, especificaciones, construcción o compra del activo, operación, mantenimiento y modificaciones o rediseños mientras esta en uso, además, y su disposición cuando ya no es requerido.

**Benchmarks (Referencia):** Es un estándar de rendimiento de clase mundial relativo a una métrica de rendimiento específica; representa y cuantifica las “mejores prácticas” de una operación o función específica dentro de la operación de acuerdo a la Métrica Rendimiento específica. Un Benchmark esta determinado y documentado, representando el actual tiempo o rendimiento sustentable sobre un tiempo relativo para alguna métrica. Un benchmark puede variar por producto.

**BSC – Balanced Scorecard (Tablero Balanceado de Resultados):** Es una herramienta para medir las actividades de una compañía en términos de su visión y estrategia. Continuamente mide como se alcanzan los objetivos que la estrategia busca, también expresa los objetivos e iniciativas necesarias para soportar la estrategia.

**Ciclo de Vida:** Plazo de tiempo durante el cual un Ítem conserva su capacidad de utilización. El periodo va desde su compra hasta que es substituido o es objeto de restauración

**Cierre/Parada (Shutdown/Stoppage):** Un evento que toma una máquina fuera de servicio. La Parada puede ser programada o no programada e incluye todos los tipos de mantenimiento y actividades de reparación excepto: detenciones lubricación, combustible y ejecución inspecciones durante la lubricación y relleno combustible. Las paradas operacionales, por ejemplo; cambio de turno, colación, etc., no son incluidas como un evento cierre/parada. Reparaciones agrupadas cuentan como una sola parada. Contabilizar una parada es independiente de la duración del evento o complejidad.

**Cliente:** Destinatario de un producto o servicio provisto por el proveedor.

**Cliente Externo:** Persona u organización que recibe un producto o servicio y que no es parte de la organización que lo provee.

**Cliente Interno:** Persona o departamento que recibe un producto, servicio o información (Output) que sale de otra persona o departamento de la misma organización.

**Coaching:** Consiste en la orientación que un profesional externo (coach) dá a un directivo para mejorar en sus habilidades, es decir, hacerle mucho más eficaz en su desempeño.

**Competencias:** La contribución al éxito de una persona en un puesto de trabajo. Este concepto significa que a la hora de evaluar, formar, desarrollar y medirse tienen en cuenta los llamados “factores diferenciadores de éxito”, eso que hace que unas personas sean mejores en un puesto y que va a determinar quién está mejor posicionado o en mejores condiciones para desarrollar ese puesto con éxito.

**Competencias Técnicas:** Hablamos de competencias técnicas, cuando nos referimos al conjunto de conocimientos, procedimientos, actitudes y capacidades que una persona posee y que son necesarias para desarrollar su puesto de trabajo.

**Confiabilidad:** Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. Relación entre productor y máquina. La confiabilidad es una medida que resume cuantitativamente el perfil de

funcionalidad de un elemento y ayuda en el momento de seleccionar un equipo entre varias opciones.

**Defecto:** Eventos en los equipos que no impiden su funcionamiento, todavía pueden a corto o largo plazo, provocar su indisponibilidad.

**Diagnóstico:** Es el resultado del análisis de una situación dada, que permiten tener un conocimiento y una descripción precisa de dicha situación, con el fin de solucionar los problemas identificados.

**Diagrama de Causa-Efecto:** También se conoce como Diagrama de Espinas de Pescado. Herramienta para analizar la fluctuación de un proceso, desarrollada por Kaoru Ishikawa. El diagrama ilustra las causas y subcausas que afectan a un proceso determinado y que producen un efecto (Síntoma). Es una de las Siete Herramientas de la Calidad.

**Diagrama de Dispersión:** Representación gráfica que permite analizar la relación entre dos variables. Se representan dos conjuntos de datos, en el eje X la variable independiente y en el eje Y la variable que se supone dependen de la anterior. El gráfico puede mostrar o no posibles relaciones entre ambas variables. Es una de las Siete Herramientas de la Calidad.

**Diagrama de Flujo:** Representación gráfica de los pasos de un proceso, que se realiza para entender mejor al mismo. Es una de las Siete Herramientas de la Calidad.

**Diagrama de GANTT:** Gráficos de planificación utilizados para programar recursos y asignar tiempos; desarrollado por Henry L. Gantt a principios del siglo XX.

**Diagrama de Pareto:** Herramienta gráfica en la cual se representa la frecuencia para un conjunto de causas ordenadas desde la más significativa hasta la menos significativa (Orden de frecuencia). Está vinculado con el Principio de Pareto, que sugiere que la mayor parte de los problemas de calidad provienen de solamente algunas pocas causas. Es una de las Siete Herramientas de la Calidad.

**Disponibilidad:** La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. En otras palabras, es la probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su

operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos) tiempo administrativo y tiempo logístico.

**Equipo:** Elemento que constituye el todo o parte de una máquina o instalación que, por sus características, tiene datos, historial y programas de reparación propios.

**ERP – Enterprise Resource Planning (Planeación de Recursos Empresariales):**

Denominación con la que se conoce a los sistemas de información empresarial que integran las diferentes áreas de las compañías, tales como; compras e inventarios, servicio al cliente, contabilidad, activos fijos, mantenimiento, recursos humanos, entre otros.

**Especificación:** Documento que establece los requisitos que un producto o servicio debe cumplir.

**Estatus:** (Estatus del latín status, estado condición). Es la situación o estado relativo de un objeto dentro de un conjunto. Por ejemplo: activo, inactivo, suspendido, etc.

**Estrategia:** El término estrategia procede de la palabra griega “strategos”, formada por stratos, que significa ejército y ag, que significa dirigir; sin embargo, este no aparece en el contexto económico y académico hasta que Von Neumann & Morgenstein dieron a conocer su famosa Teoría de Juegos en 1944 (Menguzzato & Renau, 1991 y Grant, 1996). Según Quinn (1993) en el campo de la administración, una estrategia “es el patrón o plan que integra las principales metas y políticas de una organización y a la vez, establece la secuencia coherente de las acciones a realizar”. También, se identifica como “el arte de crear y proyectar planes para alcanzar una meta concreta”.

**Facilitador:** Del inglés facilitator, palabra muy empleada en América Latina que significa formador.

**Falla:** Se dice que un producto/servicio o un proceso falla, cuando no lleva a cabo, de forma satisfactoria, la prestación que de él se espera (su función). En términos específicos, una falla funcional, se define como la inhabilidad de un activo para desempeñar una función conforme al estándar de rendimiento aceptable para el usuario. Por ejemplo, considere una bomba diseñada para bombear 4,000 litros por minuto que está perdiendo su capacidad de bombeo por debajo

de 3,200 litros por minuto. Asumiendo que la baja tasa de bombeo no cumple con los requerimientos del proceso para esta bomba, uno debe considerar que ha fallado funcionalmente – la máquina continúa en operación, pero no funciona de acuerdo con las especificaciones de diseño requeridas y probablemente necesita ser detenida para solucionar el problema.

**Falla Catastrófica:** Cuando nos referimos a una falla catastrófica, comúnmente hablamos de una falla repentina en una máquina/equipo que tiene como consecuencia un cese de operación. Las fallas catastróficas pueden causar daño no sólo al componente específico en cuestión, sino también pueden causar daños colaterales. Tomemos como ejemplo un anillo de pistón que falla mientras el motor está en operación, causando que la biela atraviese la pared del cilindro, o el cojinete de un ventilador que falla debido a la falta de lubricación forzando a que la carcasa del ventilador o del motor salga literalmente disparada desde su base.

**Falla Funcional:** incapacidad de un elemento, componente de un equipo, o equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

**Falla Oculta:** Una falla oculta es una falla funcional que no es evidente por sí misma al equipo operativo (o personal de mantenimiento) bajo circunstancias normales de operación. Ejemplo es; el indicador de presión que indica una normal condición pero que está atascado y no puede cambiar su posición, y transmite una señal errónea ocultando una falla potencial.

**Falla Potencial:** Condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir un fallo funcional o que está en el proceso de ocurrir.

**FMEA – Failure Mode Effect Analysis (Análisis de Modos de Falla y Efectos):** Metodología para analizar los problemas y fallas potenciales de un activo o proceso, puede aplicarse en cualquier momento en el desarrollo del ciclo de vida de un activo; facilitando el tomar acciones y poder conseguir plantear estrategias para enfrentar los problemas y de esta forma, mejorar su confiabilidad. El AMFE es usado para identificar los modos de fallas potenciales, determinando sus efectos y consecuencias, e identificando las acciones para mitigar o controlar los efectos de cada modo de falla.

**FMECA – Failure Mode and Critical Effect Analysis (Análisis de Modos Críticos de Falla y Efectos):** Tiene como base el análisis AMFE pero adicionalmente califica el riesgo de los modos de fallas mediante el índice prioritario de riesgo (RPN).

**Frecuencia Falla:** Número de fallas para un componente, equipo o recurso por unidad de tiempo (mes, cuatrimestre, trimestre o año) o por algún múltiplo de horas de operación (por ejemplo, por 1.000 horas de operación)

**FTA – Failure Tree Analysis (Análisis de Árbol de Fallas):** Método de análisis utilizado para obtener las causas de falla raíz, haciendo un “mapa” o árbol de causas a diferentes niveles.

**Garantía:** Aseguramiento del cumplimiento de una obligación mediante la afectación de cosa determinada o del compromiso de pago por un tercero para el caso de incumplimiento de la misma por el deudor originario.

**Gestión de la Calidad:** Actividades de la función empresarial que determinan la política de la calidad, los objetivos y las responsabilidades, y que se implementan a través de la planificación de la calidad, el control de la calidad, el aseguramiento de la calidad y el mejoramiento de la calidad, en el marco del sistema de la calidad.

**Gestión de la Calidad Total:** Forma de gestión de un organismo centrada en la calidad, basada en la participación de todos sus miembros, y que apunta al éxito a largo plazo a través de la satisfacción del cliente y a proporcionar beneficios para todos los miembros del organismo y para la sociedad.

**Gestión del Desempeño:** Aplicación de la gestión por competencias para alcanzar un sistema justo, donde los mismos hechos y actitudes tengan una evaluación similar en las distintas personas de la empresa, a través de fijación de objetivos de desempeño.

**Gestión Documental:** La Gestión Documental consiste en el adecuado tratamiento de la información para optimizar su aprovechamiento, lo cual se obtiene mediante la aplicación de la tecnología y procedimientos oportunos en cada caso. La Gestión de la Documentación permite a las organizaciones disponer de toda la información existente en la misma, de forma sencilla, y recuperarla de forma precisa e inmediata.

**Horas Total Calendario:** Total del tiempo en el periodo analizado, por ejemplo; 8.760 horas/año, 720 horas/30 días mes, 168 horas/semana, etc.

**Horas Programadas:** Tiempo en que la máquina está programada para operación. Típicamente determinada por el Departamento de Planificación y Operaciones Mina conjuntamente metas de producción total.

**Horas No Programadas:** horas fuera del plan, tiempo perdido que resulta de accidentes, huelgas, clima, actos religiosos, y días festivos o vacaciones que son observados, etc., (típicamente definidos por el cliente o contenidos en el acuerdo de soporte al cliente o contrato MARC).

**Horas Disponibles:** tiempo en que la máquina está capacitada para funcionar en la operación deseada.

**Horas Operación:** Tiempo en que la máquina está actualmente operando en la función deseada.

**Horas Stand-by:** Tiempo en que una máquina está disponible para operación, pero no es usada, por ejemplo, no está disponible el operador, sobre oferta de camiones, etc. También conocidas como horas líneas a mano.

**Horas Retraso Producción:** Tiempo en que la máquina está operando, pero está detenido con el motor corriendo debido a tronadura, tiempo espera de carga, etc., Las horas de espera producción son frecuentemente no contabilizadas por separado y son incluidas en las horas operación. Por otro lado, algunos sistemas dispatch hacen seguimiento a las horas de retraso producción en un esfuerzo a minimizar y administrar estos. En otros casos, horas perdidas que resultan de retraso producción son reconciliadas y no contabilizadas contra disponibilidad máquina.

**Horas Retraso Operacional:** Tiempo en que la máquina está disponible para operación, pero no es utilizada debido a cambio de turnos, colación, reuniones, misa, etc., Al igual que el caso de las horas retraso producción, las horas pérdidas que resultan de los retrasos operacionales son reconciliadas y nunca contabilizadas contra disponibilidad máquina. Por otra parte, la política en muchas minas es ignorar horas retraso operacional completamente y, por tanto, las horas retraso operacional no son crédito como horas programadas o disponibles.

**Horas Parada:** Tiempo en que la máquina no está disponible para operación; fuera de servicio para todas las formas de mantenimiento, reparación y modificaciones. Incluye tiempo de

inspecciones y diagnósticos, como también cualquier retraso o tiempo detenido por mano de obra, nave disponible, partes, herramientas, literatura, equipo soporte reparación, decisiones de que hacer, etc. Pueden ser programadas o no programadas.

**Horas Retraso Reparación:** Tiempo que una máquina está detenida para reparación debido a una indisponibilidad de mano obra, parte, instalaciones, equipamiento o herramientas. Típicamente no es bien documentada en muchas historiales de parada de máquina, pero es no obstante incluido, todavía no reconocido, como parte del registro de parada máquina.

**Indicadores Claves de Desempeño (Key Performance Indicators (KPI's)):** Métricas o medidas que son usadas para evaluar que tan bien un recurso o activo cumple su función. Un KPI es una medida cuantificable que una organización puede utilizar para medir su desempeño en términos de alcanzar sus factores críticos de éxito. KPI's son un grupo de indicadores claves que pueden ser calculados o medidos a través de las variables de un proceso, la medición es clave porque lo que indica permite monitorear los objetivos de un proceso y fijar metas sobre los mismos. Un KPI usualmente puede ser comparado con alguna referencia, tal como los de habilidad de diseño, medidas de la industria aceptadas, o valores aceptados nacionales o internacionales.

**Indicador adecuado de la condición (Relevant Condition Indicator, RCI):** Este es un parámetro observable que indica la condición del elemento o sistema, en el instante de la comprobación. Ejemplos clásicos son: Los niveles de: presión, líquido de dirección asistida, vibración, ruido, aceite, agua, líquido de frenos, anticongelante, líquido del limpiaparabrisas, la velocidad en «ralentí» del motor, la tensión de la correa del alternador o de la bomba de agua, el recorrido del pedal de embrague, o del freno de mano.

La condición del electo o sistema será satisfactoria mientras el valor de RCI se mantenga sin alcanzar un nivel crítico, RCI<sub>cr</sub>. Cuando se alcanza este nivel, debe realizarse la tarea de mantenimiento necesaria, porque el fallo ocurrirá tan pronto como el parámetro alcance su valor límite, RCI<sub>lim</sub>.

**Ingeniería de Mantenibilidad (Mantenimiento):** es una disciplina científica que estudia la complejidad, los factores y los recursos relacionados con las actividades que debe realizar el

usuario para mantener la mantenibilidad de un producto y que elabora métodos para su cuantificación, evaluación y mejora.

**Inventario:** Cantidad de cada producto existente en un momento dado, y lista ordenada en la que se detalla.

**Inventario Físico:** Recuento de existencias, comprobando in situ y mediante un recuento personal, las cantidades disponibles de cada producto.

**Inventarios de Seguridad:** Es el inventario adicional que se mantiene para protegerse contra los cambios en las ventas esperadas o demoras en la producción o en el abasto de los productos. El mantener este inventario incrementa el inventario promedio que se tiene durante el año y como consecuencia de esto también se aumenta el costo anual de mantenimiento del inventario.

**ISO – International Organization for Standardization:** fundada en 1946, es una federación mundial de organismos normalizadores nacionales provenientes de unos 130 países, uno de cada país. ISO es una organización no gubernamental cuya misión es promover el desarrollo de la estandarización en el mundo para facilitar el intercambio internacional de bienes y servicios, y también desarrollar la cooperación en las esferas de la actividad intelectual, científica, tecnológica y económica. El trabajo de ISO resulta en acuerdos internacionales que se publican como estándares (o normas) internacionales. ISO no es un acrónimo, sino que deriva de la palabra griega “isos” que quiere decir “igual”.

**ISO 14000:** Conjunto de normas internacionales para el aseguramiento de la conservación del Medio Ambiente.

**ISO 9000:** Conjunto de 5 Normas Internacionales de Estandarización sobre Gestión de la Calidad y Aseguramiento de la Calidad desarrollado para ayudar a las empresas a documentar efectivamente los elementos a ser implementados para mantener un eficiente Sistema de Calidad. Los estándares no son específicos para ninguna industria, producto o servicio. Fueron desarrollados por la International Organization for Standardization (ISO), una agencia internacional especializada en estandarización compuesta por las organizaciones nacionales de estandarización de 91 países.

**IT – Information Technologies (Tecnologías de Información):** Forma de denominar al conjunto de herramientas, habitualmente de naturaleza electrónica utilizadas para la recolección, almacenamiento, tratamiento, difusión y transmisión de la información.

**JSA – Job Safety Analysis (Análisis de Seguridad del Trabajo):** Herramienta de análisis enfocada a examinar tareas específicas o procedimientos para identificar los riesgos y definir controles; es usado en la industria para escribir procedimientos de seguridad.

**KIT:** Palabra muy usada en el comercio que quiere decir “conjunto de piezas que vienen con instrucciones del fabricante para su montaje. Tiene otras acepciones: equipo (de elementos), estuche, paquete o caja con todos los elementos necesarios para realizar alguna cosa: “un kit de primeros auxilios” (en este caso un estuche con todo lo necesario).

**Liderazgo:** Conjunto de factores relacionales y de tarea aplicados en la función directiva para movilizar, atraer o ilusionar a las personas dirigidas hacia unas determinadas metas u objetivos.

**Logística:** Proceso de planear, implementar y controlar el eficiente flujo y almacenaje de los bienes y la información relacionada, desde el punto de origen, hasta el punto de consumo.

**Logística Integrada:** Cuando cada miembro de la cadena de distribución le da un valor agregado al producto.

**Lubricación:** Servicios de Mantenimiento Preventivo, donde se realizan adiciones, cambios, y análisis de lubricantes.

**Mano de Obra:** Es el esfuerzo físico o mental empleados en la fabricación de un producto.

**Mano de Obra Directa:** Es aquella directamente involucrada en la fabricación de un producto terminado que puede asociarse con éste con facilidad y que representa un importante costo de mano obra en la elaboración del producto.

**Mano de Obra Indirecta:** Son todos aquellos trabajadores que no tienen contacto directo con la transformación de los materiales en productos terminados.

**Mantenibilidad:** Probabilidad y/o facilidad de devolver un equipo a condiciones operativas o un estado de referencia, en un cierto tiempo y utilizando los procedimientos prescritos, al nivel deseado de confianza, con el personal especificado, las habilidades necesarias, el equipo

indicado, los datos técnicos, manuales de operación y mantenimiento, el departamento de soporte de mantenimiento y bajo las condiciones ambientales especificadas. Relación entre el mantenedor y la máquina.

**Mantenimiento:** Conjunto de procedimientos y medidas que permite alargar el funcionamiento de dispositivos, objetos y sistemas. Tareas necesarias para que un equipo sea conservado o restaurado de manera que pueda permanecer de acuerdo con una condición especificada.

Este elemento comprende el conjunto de personas que ofrecen y prestan el servicio de conservación de equipos (en sus dos dimensiones: cuerpo y función) a los departamentos (o industrias) que producen bienes o servicios, mediante los recursos de que disponen.

**Manual de Calidad:** Es un Documento que declara la Política de Calidad y describe el Sistema de Calidad de una Organización (1). El manual de Calidad debe declarar el Compromiso que asume la Empresa por la Calidad y debe explicar Por Qué se ha decidido implementar un Sistema formal de Administración de Calidad.

**Manual de Procedimientos:** Registro de las normas de la organización, estrategias y planes de acción, así como la mención de su estructura y procesos.

**Mejora Continua:** Conducta por la cual se busca aumentar la calidad de productos, servicios o procesos, a través de progresos sucesivos sin límite de tiempo.

**Mentoring:** Proceso de mejora, guiado, flexible y con apoyo continuo que logra el desarrollo a largo plazo del participante, capacitándole en la comprensión de temas personales y organizativos que pueden afectar al desempeño en su función actual y futura.

**Método:** Modo estructurado y ordenado de obtener un resultado, descubrir la verdad y sistematizar los conocimientos.

**Metodología:** Manera sistemática de hacer cierta cosa.

**Métricas de Rendimiento (Performance Metric):** Un término usado para describir el resultado de cualquier proceso usado para coleccionar, analizar, interpretar y presentar datos cuantitativos. Una medida de un parámetro que permite evaluar rendimiento en contra alguna predefinida meta o benchmark que es monitoreado. Una medida usada para calibrar rendimiento de una función, operación o negocio relativo a resultados pasados u otros.

**Modo Falla:** La manera específica de fallar; las circunstancias o secuencias de eventos, que llevan a una falla funcional.

**Orden de Trabajo:** Es el instrumento por el cual se indica a los sectores operativos de mantenimiento ejecutar una tarea. Es una instrucción detallada y escrita que define el trabajo que debe realizarse por la organización de mantenimiento.

**Producción:** es el departamento (o empresa) que requiere y demanda el servicio de mantenimiento de los equipos que utiliza para producir bienes y servicios. En el sentido amplio de la palabra todos aquellos departamentos o industrias que realizan actividades de aprovisionamiento u operación y distribución de bienes o servicios; internos o externos a la organización origen de mantenimiento.

**Responsabilidad:** La obligación que asume un individuo para cumplir con las funciones que le han sido delegadas.

**Sistemas Recuperables:** cuando alguien dice que un sistema específico es recuperable, se entiende que después de haber fallado se puede recuperar su capacidad de realizar una función especificada. Consecuentemente, el término recuperabilidad será utilizado para describir la capacidad de un sistema para ser recuperado tras su fallo.

**Tareas:** Es la acción concreta que hay que realizar para obtener un resultado deseado, expresado en un producto o subproducto final. Fase de trabajo concreto que tiene una entidad definida en sí mismo. Tiene un principio y un final bien determinados, un tiempo concreto de realización, un número preciso de operaciones, un método concreto de realización y supone, en algunos casos, el uso de máquinas, instrumentos y herramientas para su ejecución. La realización de un conjunto de tareas implica una función determinada.

**Tarea de Mantenimiento:** Una tarea de mantenimiento es el conjunto de actividades que debe realizar el usuario para mantener la funcionalidad del elemento o sistema

**Target (Meta):** Una meta deseada; un estándar para que el rendimiento de una Métrica pueda ser medido o juzgado. La meta para el rendimiento particular de una métrica puede ser algo arbitrario, y probablemente variar por producto, aplicación o sitio específico. La meta es

frecuentemente determinada por las necesidades de clientes, sus expectativas y/o condiciones contractuales, y especificaciones de manufactura y diseño.

**Tasa Falla:** El número de fallas de un componente, equipo específico o de un activo completo durante un periodo específico dividido por el número total de todas las fallas en todos componentes similares, equipos, o activos en operación durante el periodo, usualmente expresado en número de fallas por periodo de tiempo (por ejemplo, meses o años) o por número de horas de operación. Puede ser cuantificado por ciertas condiciones.

**Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF):** Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado “Tiempo Promedio Operativo” o “Tiempo Promedio hasta la Falla”.

**Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR):** Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir el equipo a condiciones óptimas de operación una vez que el equipo se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. La mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.

**Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF):** El Tiempo Promedio Entre Fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el

MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información.

**Utilización:** La utilización también llamada factor de servicio, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un período determinado.

**Planta**

Grupo de equipos, maquinaria, y procesos para el procesamiento de compresión de gas en el sector hidrocarburos. (RIVERA, Enrique. 2011).

**Unidad**

Elemento de la planta que realiza una función definida en el proceso. (RIVERA, Enrique. 2011).

**Parte**

Elemento simple de cada unidad. Es la parte de la unidad que puede cambiarse directamente en el equipo. (RIVERA, Enrique. 2011).

**Componente**

Piezas simples de una parte. Pueden ser cambiados solamente en el taller de mantenimiento. (RIVERA, Enrique. 2011).

**Estrategia**

Metodología utilizada para realizar el mantenimiento. (RIVERA, Enrique. 2011).

**Plan o programa**

Grupo de estrategias seguidas para realizar el mantenimiento. (RIVERA, Enrique. 2011).

**Tour o recorrido**

Recorrido de inspección, siguiendo el flujo del gas y optimizando las distancias entre plantas. (RIVERA, Enrique. 2011).

**Monitoreo de condiciones**

Técnicas de inspección que utilizadas para conocer las condiciones de equipos y tomar las acciones preventivas o correctivas que sean necesarias. (RIVERA, Enrique. 2011).

**Procedimiento**

Conjunto de operaciones y/o acciones que deben realizarse de la misma forma, para obtener el mismo resultado bajo las mismas circunstancias. (RIVERA, Enrique. 2011).

**Estudio del Trabajo**

Son las técnicas, y el exclusivo estudio de medidas y métodos del trabajo, que se utilizan para analizar el trabajo de las personas en todos sus aspectos y que conllevan a averiguar todas las propiedades que median en la eficacia y en la economía del entorno estudiado, con el fin de mejorarla (Caso, 2006, p.12).

**Estudio de Métodos**

Registro y análisis sistemático y crítico de los modos planificados y existentes de realizar un trabajo, como medio de emplear e imaginar más sencillos y eficaces para disminuir costos. (Caso, 2006, p.15)

**Productividad**

Se define productividad como un índice o ratio que mide la relación que existe entre la producción realizada y la cantidad de factores o insumos empleados en obtenerla. (Cruelles, 2013)

**Árbol lógico de decisión**

La selección de las tareas se realizó de acuerdo a la criticidad de cada equipo, determinada por el AMEF. Para seleccionar las tareas de mantenimiento se utilizó un

Árbol Lógico de Decisión (ALD). Este se creó de forma sistemática y homogénea por el grupo de trabajo, para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada para los extrusores, que permitió impedir la causa que provoca la aparición del modo de falla.

Estructura de la Hoja de Decisión del MCC:

Hoja de información MCC			Equipo				Realizado por:				Fecha		Hoja N°			
			Compresor Gas				Br. Jhonny Vilchez						de			
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				Tareas "a falta de"				Tareas propuestas		Frecuencia inicial		A realizar por	
															H1 H2 H3	
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
							Ing. David Rosales				03/10/2018		1			

Se puede observar la estructura de la Hoja de Decisión, la cual tuvo como principal objetivo analizar las consecuencias de los modos de fallas, para determinar de manera adecuada, las tareas de mantenimiento que se deben ejecutar.

Está constituido por una serie de columnas las cuales se enumerarán a continuación:

- Columnas F, FF y MF (referencia de información); representan a la función, falla funcional y modo de falla respectivamente, las cuales en la hoja de información poseen una enumeración en letras y números.
- Columnas H, S, E y O (evaluación de las consecuencias); permiten clasificar según sus consecuencias a cada modo de falla.
- Columnas H1, H2, H3; S1, S2, S3; E1, E2, E3; O1, O2, O3; registran las tareas proactivas y su tipo.
- Columnas H4, H5 y S4 (tareas "a falta de"); permiten registrar las tareas que se deben realizar sino se encuentra una tarea proactiva adecuada.

Las columnas tituladas H, S, E, O y N; son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla; se debe colocar una letra S en el caso que la respuesta sea afirmativa y una letra N en el caso que sea

negativa.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				
F	FF	MF	H	S	E	O	
3	A	1	N				→ <b>Una falla oculta:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva (predictiva o preventiva) debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de una falla múltiple.
5	B	2	S	S			→ <b>Consecuencias para la seguridad:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de esta falla por sí sola.
2	C	4	S	N	S		→ <b>Consecuencias para el medio ambiente:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe reducir el riesgo a un nivel tolerable de esta falla por sí sola.
1	A	5	S	N	N	S	→ <b>Consecuencias operacionales:</b> Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe costar menos que el costo total de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación que pretende prevenir a través de un período de tiempo.

De la octava a la décima columna de la Hoja de Decisión, son utilizadas para registrar si ha sido seleccionada una tarea proactiva, de la siguiente manera:

- La columna titulada H1/S1/O1/N1 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla a tiempo como para evitar las consecuencias.
- La columna titulada H2/S2/O2/N2 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico apropiada para prevenir las fallas.
- La columna titulada H3/S3/O3/N3 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir las fallas.

En cada caso, una tarea sólo es apropiada si merece la pena realizarla y si es técnicamente factible.

Para que una tarea sea técnicamente factible y merezca la pena realizarla, debe ser posible dar una respuesta positiva a todas las preguntas que muestra la Figura 11, que se aplican a ésta categoría de tareas. Si la respuesta las preguntas es negativa o se desconoce, entonces se rechaza la tarea totalmente.

H1	H2	H3	
S1	S2	S3	
O1	O2	O3	
N1	N2	N3	
S			<p><b>¿Es técnicamente factible realizar una tarea a condición para reducir la consecuencia de la falla?</b> ¿Hay alguna condición de falla potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad? ¿Es razonablemente consistente? ¿Es posible realizar la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?</p>
N	S		<p><b>¿Es técnicamente factible una tarea de reacondicionamiento cíclico para reducir la frecuencia de la falla?</b> ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad? ¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?</p>
N	N	S	<p><b>¿Es técnicamente factible una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de la falla?</b> ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de ésta edad?</p>

Si se selecciona una tarea, se debe registrar la descripción de la misma, la cual debe ser precisa y detallada, además debe indicar la frecuencia con la que debe ser realizada la actividad.

Las columnas tituladas H4, H5 y S4 de la hoja de Decisión son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas “a falta de”. Se muestra cómo se responden a éstas tres preguntas. Nótese que las mismas sólo se harán si las respuestas a las tres preguntas previas de factibilidad técnica de las tareas proactivas fueron todas negativas.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"		
F	FF	MF	H	S	E	O	S1 O1 N1	S2 O2 N2	S3 O3 N3	H4	H5	S4
3	A	1	N				N	N	N	S		
<p>¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?</p> <p>Registrar "Si" si es posible realizar la tarea y resulta práctico hacerlo con la frecuencia requerida y reduce el riesgo de la falla múltiple a un nivel tolerable</p>												
4	B	4	N				N	N	N	N	S	
4	C	2	N				N	N	N	N	N	
<p>¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?</p> <p>Sólo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es "No". Si la respuesta a esta pregunta es "Si", el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es "No", la acción "a falta de" es <b>no realizar mantenimiento preventivo</b>, pero el rediseño puede ser deseable.</p>												
5	B	2	S	S			N	N	N		S	
2	A	5	S	S			N	N	N		N	
<p>¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas?</p> <p>Responder "Si" si una combinación de <b>dos o más</b> tareas proactivas cualquiera reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable (esto rara vez sucede). Si la respuesta es "No", el rediseño es obligatorio.</p>												
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N			
1	B	3	S	N	N	N	N	N	N			
<p>En estos dos casos, las consecuencias de la falla son puramente económicas y no se pudo encontrar una tarea proactiva apropiada</p> <p>Como resultado, la decisión "a falta de" inicial es no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable.</p>												

## Normativas y Estándares de referencia

Decreto Supremo N° 043-2007-EM, “Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos”.

D.S. N° 015-2006-EM. Reglamento de Medio Ambiente para las Actividades de Hidrocarburos.

Decreto Supremo N° 081-2007-EM “Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por Ductos”, y sus modificatorias.

Norma ISO 9001:2015, Enfoque basado en riesgos (Análisis de Modo y Efectos Falla - AMFE)

## Impacto Ambiental

¿Cómo será gestionada la protección ambiental en la práctica de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad? debemos mencionar que este enfoque de mantenimiento industrial está sustentado fundamentalmente en dos aspectos sencillos:

El mantenimiento (preventivo y/o correctivo) es el proceso mediante el cual se asegura la fiabilidad de los equipos y donde se ejecutan el mayor número de actividades que pueden ocasionar daños al ambiente.

La protección del ambiente debe gestionarse integrada a los procesos donde se originan los impactos.

El efecto en el ambiente del mantenimiento, se garantiza mediante la gestión eficaz y eficiente de éste, además de su revisión y su mejoramiento continuo dentro de los diferentes tipos de gestión (calidad, ambiental y/o salud ocupacional), lo que significa que todas las variables que generan impacto están bajo control de las operaciones y se han tomado todas las acciones para prevenir y corregir los mismos. (López, 2004)

### **Seguridad y Salud en el trabajo**

La Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) es un derecho fundamental de todos los trabajadores y tiene como objetivo, prevenir los accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales. Para eso, las entidades públicas y privadas deberán propiciar el mejoramiento de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo a fin de prevenir daños en la integridad física y mental de los trabajadores que sean consecuencia, guarden relación o sobrevengan durante el trabajo.

En el Perú, la Seguridad y Salud en el Trabajo está normada por la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo; su Reglamento, aprobado con Decreto Supremo N° 005-2012-TR, y sus respectivas modificatorias. Dicha Ley es aplicable a todos los sectores económicos y de servicios, comprende a todos los empleadores y los trabajadores bajo el régimen laboral de la actividad privada en todo el territorio nacional, trabajadores y funcionarios del sector público, trabajadores de las Fuerzas Armadas y de la Policía Nacional del Perú, y trabajadores por cuenta propia.

### **Gestión de riesgos y Prevención de desastres**

La normativa de referencia sobre Prevención de Riesgos Laborales establece que la actividad preventiva debe integrarse en la empresa, en todos sus estamentos, que garantice el resultado positivo de su implantación y que permita valorar, objetivamente, el grado de efectividad alcanzado. Ello implica una sistematización en el modo de realizar el trabajo, definiendo aquellas condiciones que caracterizan el mismo que nos aseguren el mantenimiento de la salud de los trabajadores que forman parte de la empresa.

La norma exige el requisito de disponer de un sistema de gestión que permita el control del riesgo al que pudiera estar sometido un trabajador y garantice la salud de éste. No establece cuál debe ser el sistema, pero en los últimos tiempos el que más éxito ha tenido, y por ende el más comúnmente utilizado, es el sistema OHSAS 18001, que, paradójicamente, no tiene el estatus de norma ISO.

Existen diferentes teorías de mantenimiento preventivo, conforme al análisis realizado, se estableció que, para ésta compañía, la más adecuada es la centrada en la confiabilidad, destacada por tener enfoque en la preservación de la función, los modos de falla dominantes (fallas creíbles), análisis de características de falla, la opción de mantenimiento base cero, efectos de falla y reducción de costos.

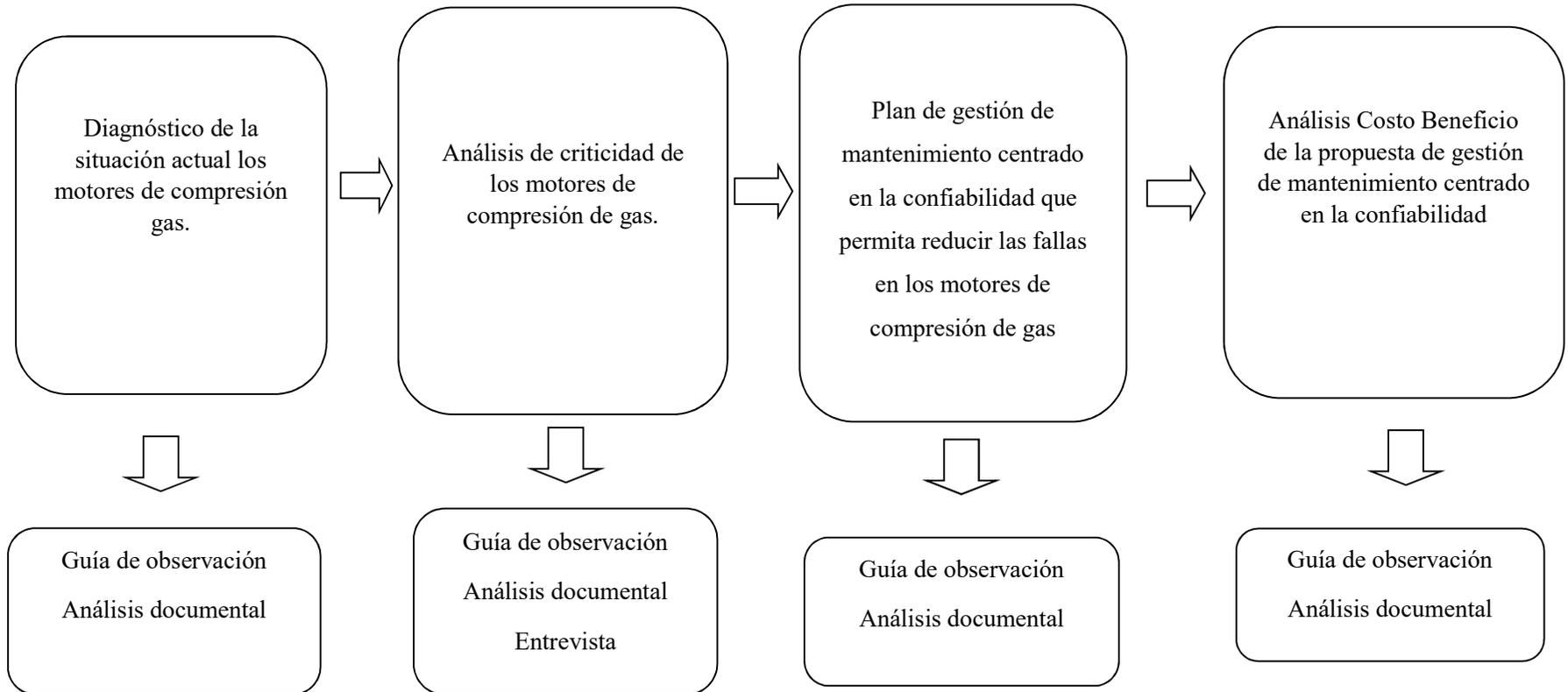
### Matriz de Operacionalización de Variables

Tabla 03. Operacionalización de Variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Subindicadores	Índice	Técnicas de recolección de Información	Instrumento de recolección de Información
Fallas	Fallas tempranas	Problemas en el montaje	Malas prácticas	Unidad	Observación	Guía de Observación
			Personal no idóneo	Unidad		
		Problemas de diseño	Errores de fábrica	Unidad		
	Fallas adultas	Condiciones de operación	Condiciones ambientales no adecuadas	Unidad	Entrevista	Cuestionario
			Personal no idóneo	Unidad		
			Incumplimiento de estándares recomendados por el fabricante	Soles		
	Fallas tardías	Vida útil de los motores	Incumplimiento de labores de mantenimiento	Unidad	Análisis Documental	Guía de análisis documental
			Cambio de piezas alternativas	Unidad		
Gestión de Mantenimiento centrado en la Confiabilidad	Características Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)	Metodología proceso sistemático	Históricos de Fallas	Unidad	Observación	Guía de Observación
		Mantenimiento basado en criticidad de los compresores de gas	Parámetros de análisis de criticidad	Unidad	Entrevista	Cuestionario
		Modos de fallo de compresores	Análisis de modo de efectos y falla (AMEF)	Unidad	Análisis Documental	Guía de análisis documental
		Generación estrategias efectivas	Árbol lógico de decisión			

Fuente: Elaboración Propia.

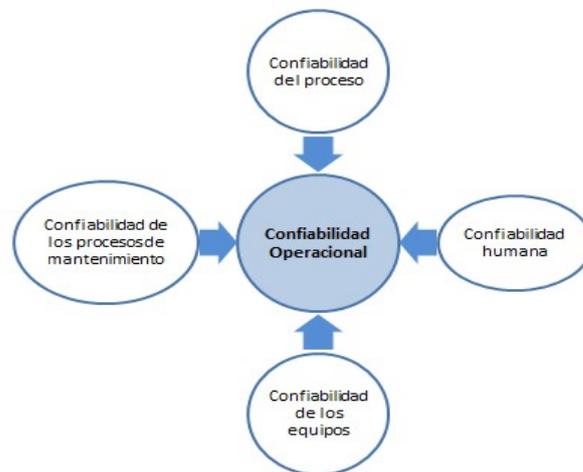
## Diagrama De Procesos



## Propuesta de Gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad MCC

### Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)

El MCC es una metodología que permite determinar, sistemáticamente, mediante un equipo natural de trabajo, las necesidades de mantenimiento de un sistema de activos, tomando en cuenta la criticidad de los mismos en el contexto operacional, enfocándose en la funcionalidad del sistema y estableciendo las tareas de mantenimiento requeridas en función de los posibles efectos de los modos de falla, para así aumentar la confiabilidad operacional del mismo.



**Figura 05.** Sistema de Confiabilidad Operacional  
Fuente: Suarez 2007

### Características del MCC

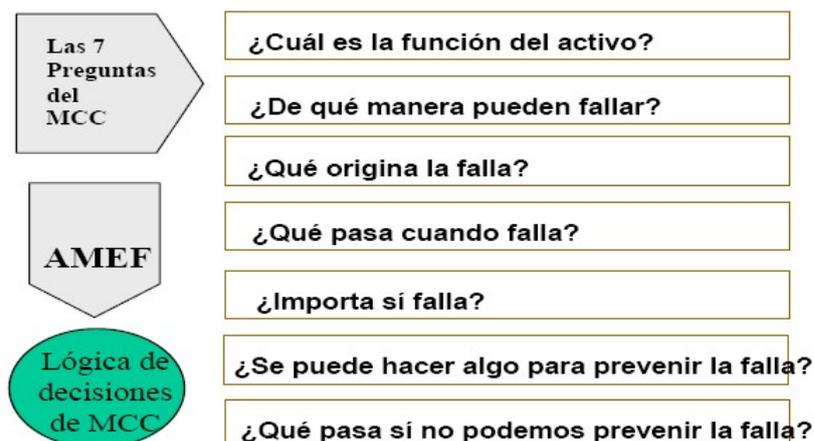
El MCC identifica las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias, para los activos más importantes o críticos, apoyándose en el análisis funcional de éstos en su contexto operacional. Su éxito depende del esfuerzo desarrollado por el equipo natural de trabajo, en generar un sistema de gestión de mantenimiento flexible que se adapte a las necesidades reales de la organización y que tome en cuenta la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y el costo-beneficio.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es entonces, un proceso de gestión de mantenimiento donde un equipo natural de trabajo optimiza la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas.

Esta metodología presenta las siguientes características:

- Metodología basada en un proceso sistemático.
- Actividades de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes al sistema.
- Consideración de los posibles efectos que originarán los modos de fallo de estos activos, en cuanto a las operaciones, seguridad y ambiente.
- Generación de estrategias efectivas, cumpliendo con los estándares requeridos de producción y maximizando la rentabilidad de los activos.

El MCC propone siete (7) preguntas clave que, mediante su análisis, intenta identificar las necesidades reales del mantenimiento. Las preguntas se pueden observar en la Figura 15.



**Figura 06.** Siete Preguntas Claves del MCC.  
Fuente. Parra (2012) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)

Para garantizar el éxito del MCC, es importante responder cada una de las siete preguntas de la Figura 03 y la mejor manera de darle la respuesta verdadera a cada una, es siguiendo cada una de las etapas del MCC que son:

- Definir el contexto operacional
- Definir las funciones de los activos
- Determinar las fallas funcionales
- Identificar los modos de falla
- Determinar los efectos de falla

Es importante resaltar que las primeras 05 preguntas claves del MCC se les dará respuesta con la aplicación del AMEF, las últimas 02 preguntas serán respondidas con la ejecución del Árbol Lógico de Decisión.

### **Árbol Lógico de Decisión (ALD)**

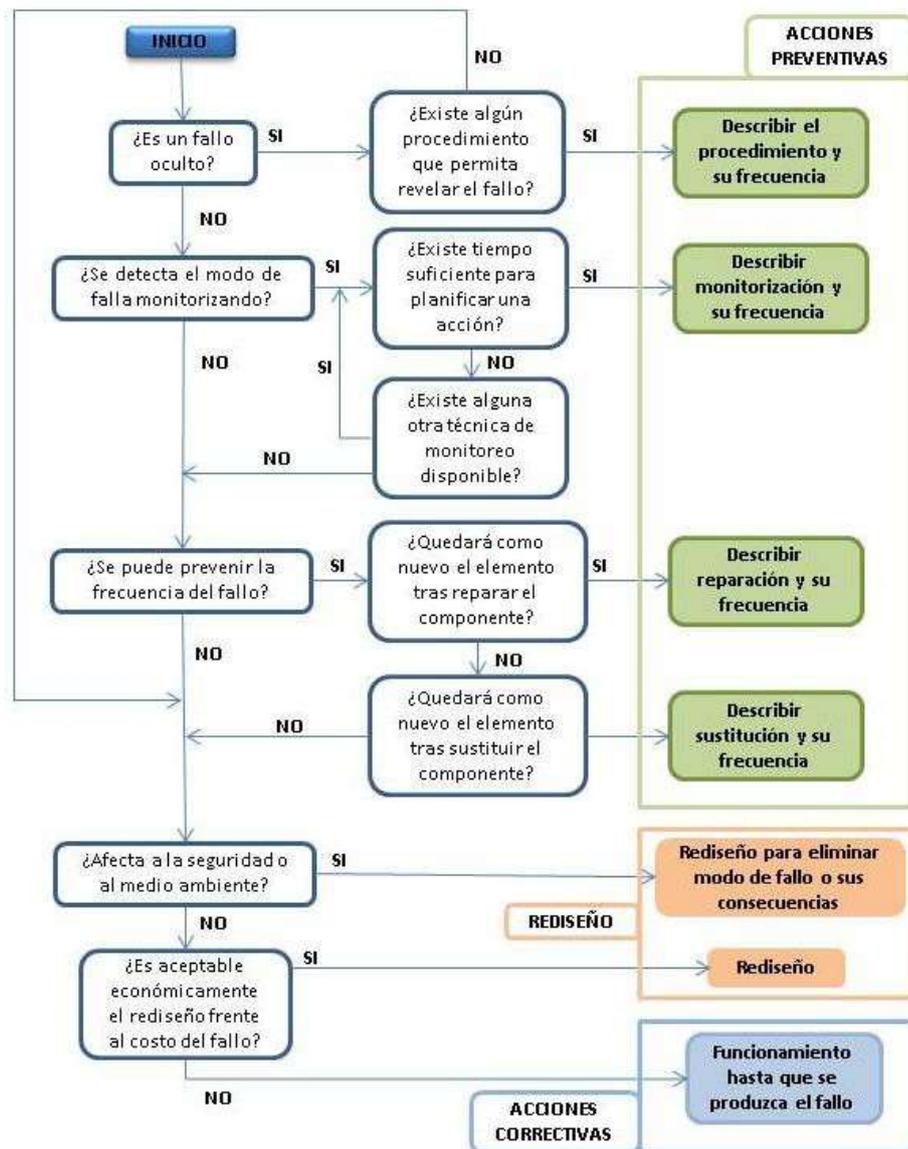
Es una herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del MCC y le respuestas a las preguntas seis y siete de dicha metodología.

El ALD permite formar una unión entre la información recolectada y analizada, además las tareas de mantenimiento que se seleccionen sirvieron para minimizar o evitar las consecuencias de las fallas funcionales. Es el paso mediante el cual se definió la actividad adecuada para la consecuencia de cada modo de falla.

A continuación, en la Figura 16 se muestra la estructura base para elaborar el Árbol Lógico de Decisión, donde se observan según su la naturaleza, cuáles deben ser las tareas de mantenimiento a realizar, si son de carácter preventivo, correctivo o si ameritan un rediseño del sistema para reducir o eliminar los modos de fallas del equipo en estudio.

## Equipo Natural de Trabajo (ENT)

Conjunto de personas de diferentes funciones dentro de la organización que trabajan juntas por un período de tiempo determinado, para analizar problemas comunes de los departamentos, apuntando al logro de un objetivo común.



**Figura 07.** Árbol Lógico de Decisión.

Fuente. Moubray (1997) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

## **Análisis de Criticidad**

Es un procedimiento que se realiza para jerarquizar instalaciones, sistemas, equipos y/o componentes, en función de su impacto global, con la finalidad de optimizar los recursos, económicos, humanos y técnicos. La definición de “criticidad” dependerá del objetivo con el que se esté tratando de jerarquizar.

Es un análisis que se basa en la evaluación de cinco factores fundamentales, frecuencia de falla, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento e impacto en seguridad ambiente e higiene; sin embargo, dependiendo de la profundidad a la que se desee llegar, puede evaluarse criticidad por tiempo promedio fuera de servicio, productividad, entre otros.

Estos factores son desglosados en las diferentes posibilidades de ocurrencia y son ponderados de acuerdo al grado de importancia que se le dé para el análisis. Cada equipo o componente a analizar, debe ser evaluado con el grupo natural de trabajo o la participación de las distintas personas relacionadas al contexto operacional. Una vez evaluados en consenso, se realiza la totalización de cada componente y se obtiene el valor global de criticidad que será comparado con la matriz de criticidad propuesta por el equipo de trabajo.

Parámetros para la evaluación de la criticidad.

Fuente: Milanese (2012). Diseño de Plan Preventivo basado en MCC.

<b>Frecuencia de Fallas</b>		<b>Costos de Mantenimiento</b>	
Alta: más de 10 fallas por año.....	<b>4</b>	Costo significativo.....	<b>2</b>
Promedio: 4-9 fallas/año.....	<b>3</b>	Costo no significativo.....	<b>1</b>
Baja: 1-3 fallas/año.....	<b>2</b>		
Excelente: menos de 1 fallas/año.....	<b>1</b>		
<b>Impacto Operacional</b>		<b>Flexibilidad Operacional</b>	
Parada inmediata de toda la planta...	<b>10</b>	No existe opción de producción y no existe función de respaldo.....	<b>4</b>
Parada inmediata de sector de la línea de producción.....	<b>6</b>	Existe opción de respaldo compartido.	<b>2</b>
Impacta niveles de producción o calidad.....	<b>4</b>	Existe opción de respaldo disponible..	<b>1</b>
Afecta en costos adicionales asociados a disponibilidad del equipo	<b>2</b>		
No genera efectos significativos.....	<b>1</b>		
<b>Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene</b>			
Afecta la seguridad humana.....	<b>8</b>		
Daña o afecta el ambiente.....	<b>6</b>		
Afecta las instalaciones causando daños severos.....	<b>4</b>		
Provoca daños menores (accidentes o incidentes).....	<b>2</b>		
Provoca impacto ambiental que no viola normas ambientales.....	<b>1</b>		
No provoca ningún daño a personas, instalaciones o ambiente.....	<b>0</b>		

En la Tabla se pueden observar todos los parámetros que se deben tomar en cuenta para realizar un análisis de criticidad de manera efectiva. Es importante destacar que cada uno de estos ayudó a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos en los sistemas de producción, dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan.

Para el cálculo de la criticidad se deben tomar en cuenta las siguientes fórmulas:

**CRITICIDAD** = FRECUENCIA X CONSECUENCIA

**CONSECUENCIA** = (IMPACTO OPERACIONAL X FLEXIBILIDAD OPERACIONAL) + (COSTO MANTENIMIENTO) + (IMPACTO EN SHA)

La tabla del factor de riesgo es una combinación de la probabilidad de las fallas y los efectos de fallas, esta indica el nivel de criticidad, que dependiendo de su valor determinará si es una falla crítica, semi-crítica o no crítica en los extrusores de la Línea Seis. A continuación, en la tabla siguiente se identifican los parámetros a tomar en consideración.

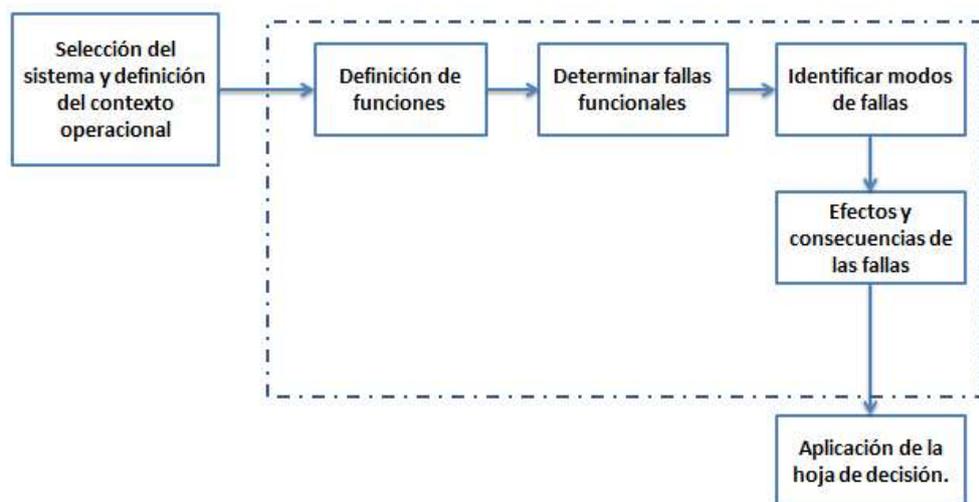
Parámetros para definir la Criticidad de un Equipo. Fuente: Milanese (2012). Diseño de Plan Preventivo basado en MCC.

<b>Crítico</b>	<b>Semi-Crítico</b>	<b>No crítico</b>
$C \geq 90$	$40 \leq C < 90$	$C < 40$

## Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

El AMEF constituye la herramienta principal de la metodología MCC. Es un método sistemático que permite identificar los problemas antes de que estos ocurran y puedan impactar en los procesos y productos de un área determinada. El objetivo fundamental del AMEF es encontrar los modos de fallas, lo que permitirá prevenir las consecuencias producto de las mismas, a partir de la selección adecuada de las actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus consecuencias.

Una vez identificados los elementos del AMEF, es necesario saber los pasos que se deben llevar a cabo para su ejecución, es decir el orden lógico de sus operaciones, para explicarlo se presenta la Figura 05, la cual muestra el flujograma de implementación del mismo, por medio del cual se observa de manera detallada cada uno de los procedimientos que se deben realizar para su ejecución.

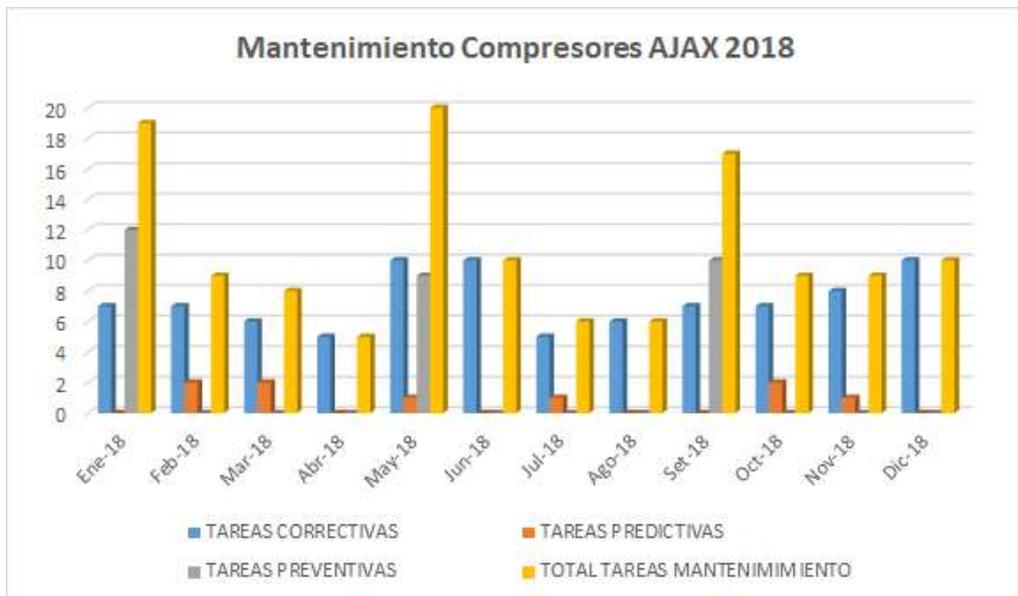


**Figura 08.** Flujograma de Implementación del AMEF.  
Fuente. Parra (2012). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

## Tablas y Figuras de Resultados

**Tabla 04.** Tareas de mantenimiento de los compresores marca AJAX, Año2018

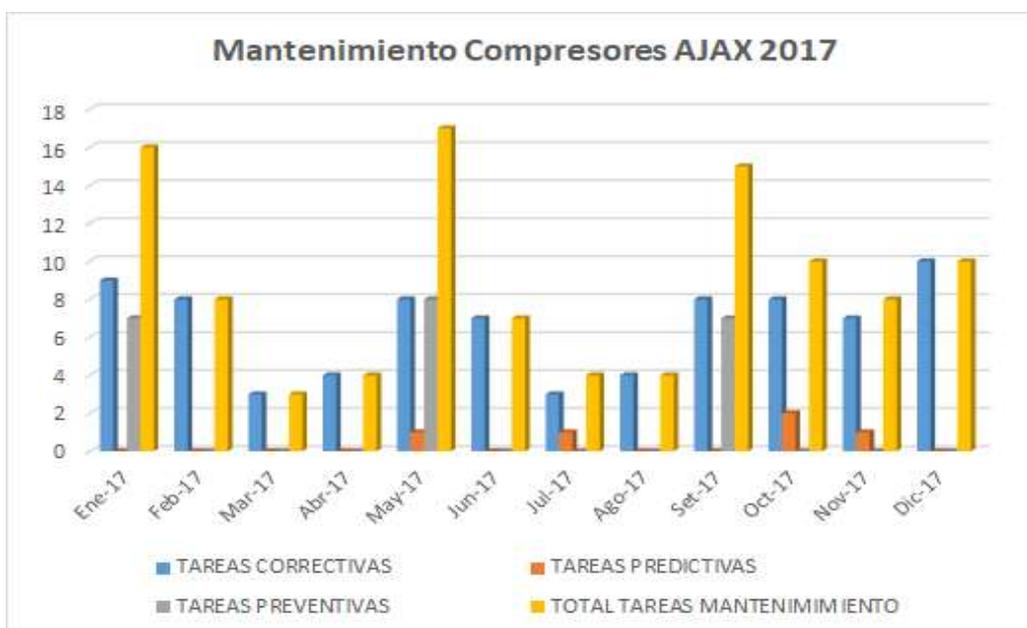
MANTENIMIENTO COMPRESORES AJAX 2018				
MES/AÑO	TAREAS CORRECTIVAS	TAREAS PREDICTIVAS	TAREAS PREVENTIVAS	TOTAL TAREAS MANTENIMIMIENTO
Ene-18	7	0	12	19
Feb-18	7	2	0	9
Mar-18	6	2	0	8
Abr-18	5	0	0	5
May-18	10	1	9	20
Jun-18	10	0	0	10
Jul-18	5	1	0	6
Ago-18	6	0	0	6
Set-18	7	0	10	17
Oct-18	7	2	0	9
Nov-18	8	1	0	9
Dic-18	10	0	0	10
<b>TOTAL</b>	<b>88</b>	<b>9</b>	<b>31</b>	<b>128</b>
<b>TOTAL %</b>	<b>69%</b>	<b>7%</b>	<b>24%</b>	<b>100%</b>



**Figura 09.** Mantenimiento compresores AJAX, año 2018

**Tabla 05.** Tareas de mantenimiento de los compresores marca AJAX, Año2017

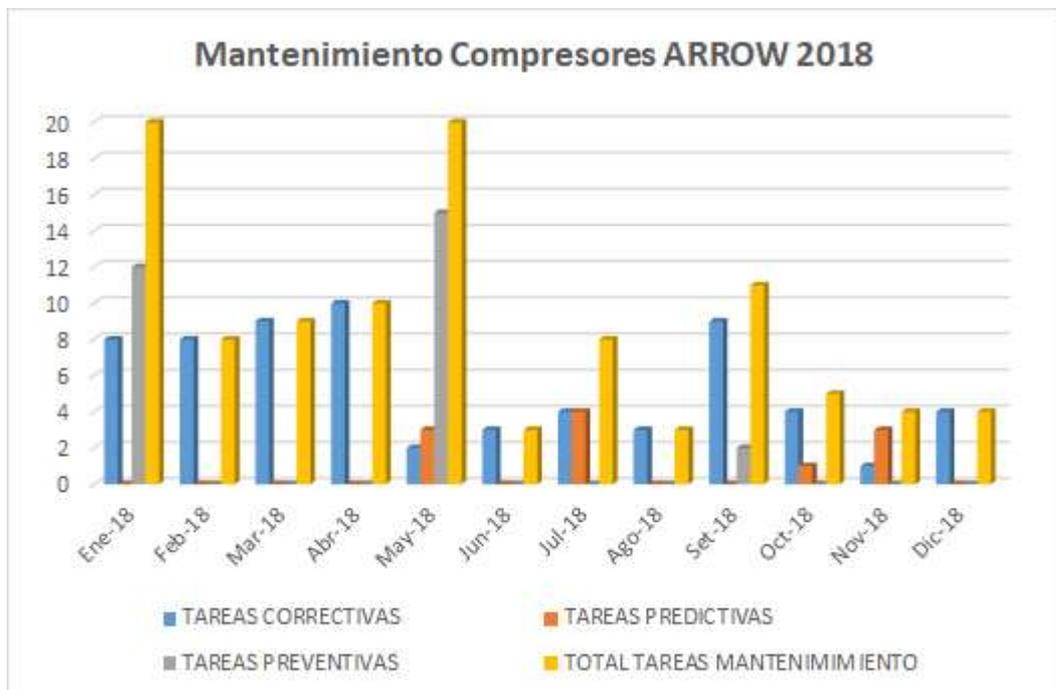
MANTENIMIENTO COMPRESORES AJAX 2017				
MES/AÑO	TAREAS CORRECTIVAS	TAREAS PREDICTIVAS	TAREAS PREVENTIVAS	TOTAL TAREAS MANTENIMIMIENTO
Ene-17	9	0	7	16
Feb-17	8	0	0	8
Mar-17	3	0	0	3
Abr-17	4	0	0	4
May-17	8	1	8	17
Jun-17	7	0	0	7
Jul-17	3	1	0	4
Ago-17	4	0	0	4
Set-17	8	0	7	15
Oct-17	8	2	0	10
Nov-17	7	1	0	8
Dic-17	10	0	0	10
<b>TOTAL</b>	<b>79</b>	<b>5</b>	<b>22</b>	<b>106</b>
<b>TOTAL %</b>	<b>75%</b>	<b>5%</b>	<b>21%</b>	<b>100%</b>



**Figura 06.** Mantenimiento compresores AJAX, año 2017

**Tabla 06.** Tareas de mantenimiento de los compresores marca ARROW, Año 2018

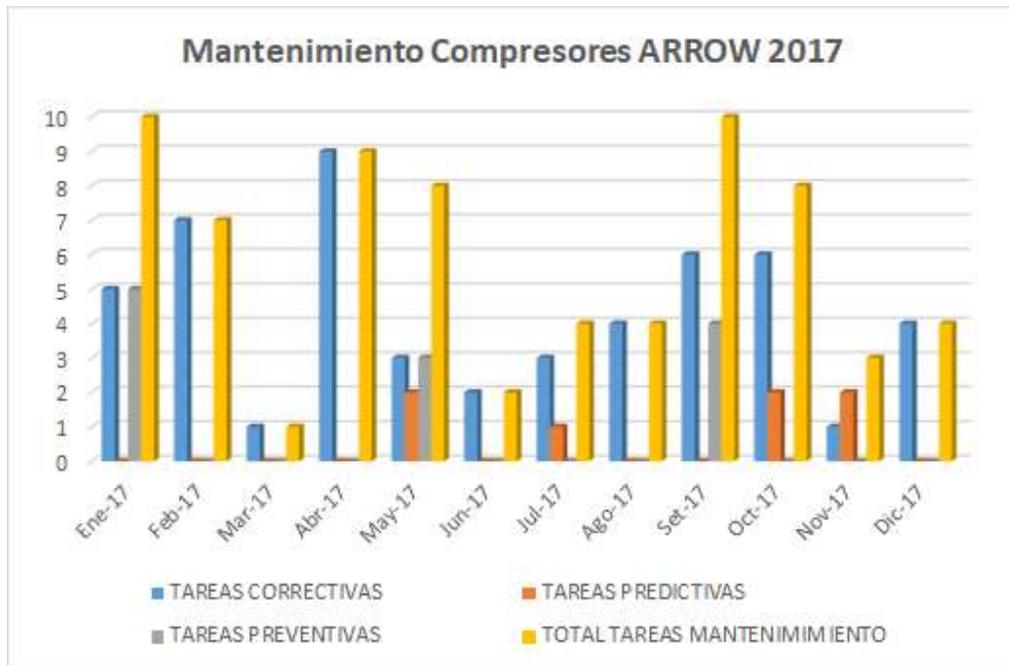
MANTENIMIENTO COMPRESORES ARROW 2018				
MES/AÑO	TAREAS CORRECTIVAS	TAREAS PREDICTIVAS	TAREAS PREVENTIVAS	TOTAL TAREAS MANTENIMIMIENTO
Ene-18	8	0	12	20
Feb-18	8	0	0	8
Mar-18	9	0	0	9
Abr-18	10	0	0	10
May-18	2	3	15	20
Jun-18	3	0	0	3
Jul-18	4	4	0	8
Ago-18	3	0	0	3
Set-18	9	0	2	11
Oct-18	4	1	0	5
Nov-18	1	3	0	4
Dic-18	4	0	0	4
<b>TOTAL</b>	<b>65</b>	<b>11</b>	<b>29</b>	<b>105</b>
<b>TOTAL %</b>	<b>62%</b>	<b>10%</b>	<b>28%</b>	<b>100%</b>



**Figura 11.** Mantenimientos compresores ARROW, año 2018

**Tabla 07.** Tareas de mantenimiento de los compresores marca ARROW, Año2017

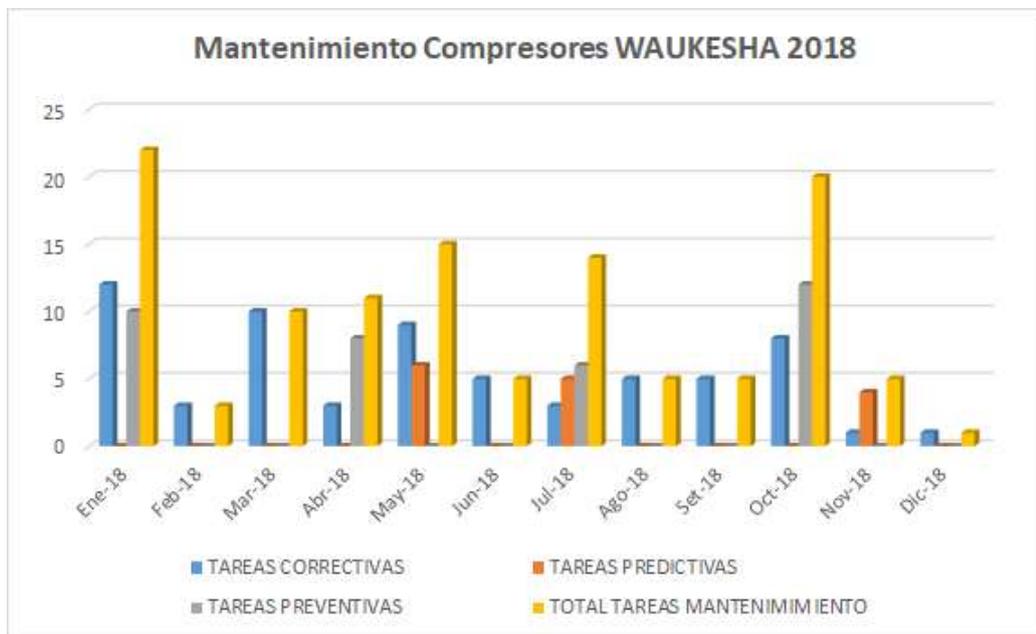
MANTENIMIENTO COMPRESORES ARROW 2017				
MES/AÑO	TAREAS CORRECTIVAS	TAREAS PREDICTIVAS	TAREAS PREVENTIVAS	TOTAL TAREAS MANTENIMIMIENTO
Ene-17	5	0	5	10
Feb-17	7	0	0	7
Mar-17	1	0	0	1
Abr-17	9	0	0	9
May-17	3	2	3	8
Jun-17	2	0	0	2
Jul-17	3	1	0	4
Ago-17	4	0	0	4
Set-17	6	0	4	10
Oct-17	6	2	0	8
Nov-17	1	2	0	3
Dic-17	4	0	0	4
<b>TOTAL</b>	<b>51</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>70</b>
<b>TOTAL %</b>	<b>73%</b>	<b>10%</b>	<b>17%</b>	<b>100%</b>



**Figura 12.** Mantenimientos compresores ARROW, año 2017

**Tabla 08.** Tareas de mantenimiento de los compresores marca WAUKESHA, Año2018

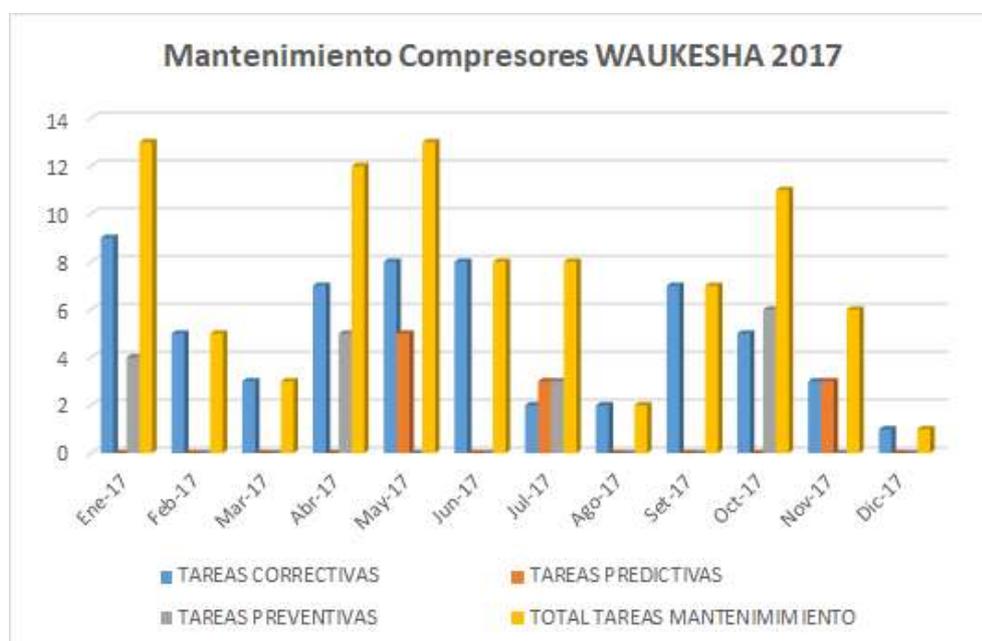
MANTENIMIENTO COMPRESORES WAUKESHA 2018				
MES/AÑO	TAREAS CORRECTIVAS	TAREAS PREDICTIVAS	TAREAS PREVENTIVAS	TOTAL TAREAS MANTENIMIMIENTO
Ene-18	12	0	10	22
Feb-18	3	0	0	3
Mar-18	10	0	0	10
Abr-18	3	0	8	11
May-18	9	6	0	15
Jun-18	5	0	0	5
Jul-18	3	5	6	14
Ago-18	5	0	0	5
Set-18	5	0	0	5
Oct-18	8	0	12	20
Nov-18	1	4	0	5
Dic-18	1	0	0	1
<b>TOTAL</b>	<b>65</b>	<b>15</b>	<b>36</b>	<b>116</b>
<b>TOTAL %</b>	<b>56%</b>	<b>13%</b>	<b>31%</b>	<b>100%</b>



**Figura 13.** Mantenimientos compresores WAUKESHA, año 2018

**Tabla 09.** Tareas de mantenimiento de los compresores marca WAUKESHA, Año2017

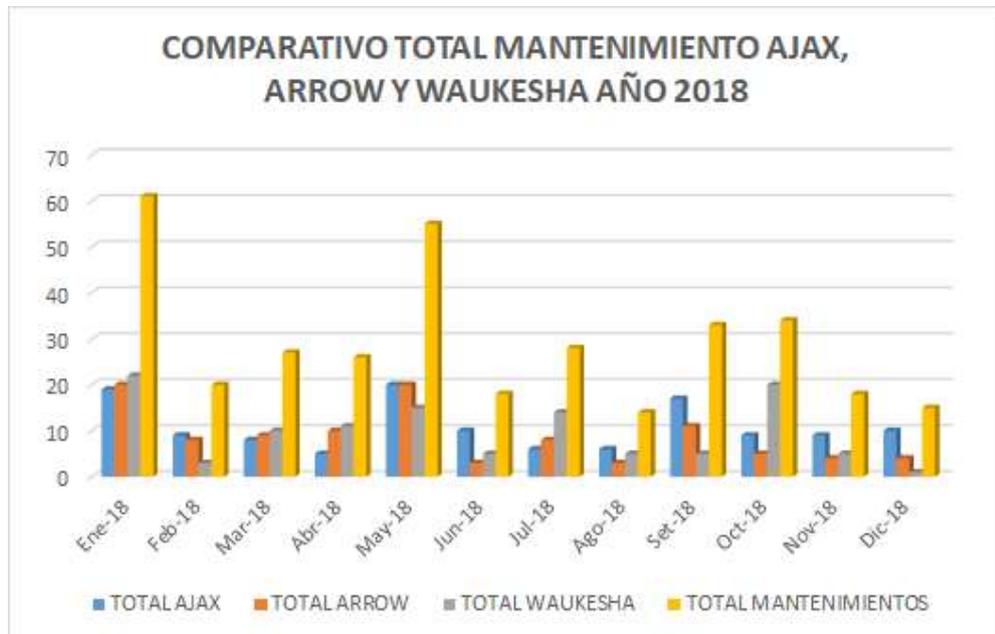
MANTENIMIENTO COMPRESORES WAUKESHA 2017				
MES/AÑO	TAREAS CORRECTIVAS	TAREAS PREDICTIVAS	TAREAS PREVENTIVAS	TOTAL TAREAS MANTENIMIMIENTO
Ene-17	9	0	4	13
Feb-17	5	0	0	5
Mar-17	3	0	0	3
Abr-17	7	0	5	12
May-17	8	5	0	13
Jun-17	8	0	0	8
Jul-17	2	3	3	8
Ago-17	2	0	0	2
Set-17	7	0	0	7
Oct-17	5	0	6	11
Nov-17	3	3	0	6
Dic-17	1	0	0	1
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>89</b>
<b>TOTAL %</b>	<b>67%</b>	<b>12%</b>	<b>20%</b>	<b>100%</b>



**Figura 14.** Mantenimientos compresores WAUKESHA, año 2017

**Tabla 10.** Comparativa del total de mantenimiento por marcas AJAX, ARROW, WAUKESHA, Año 2018

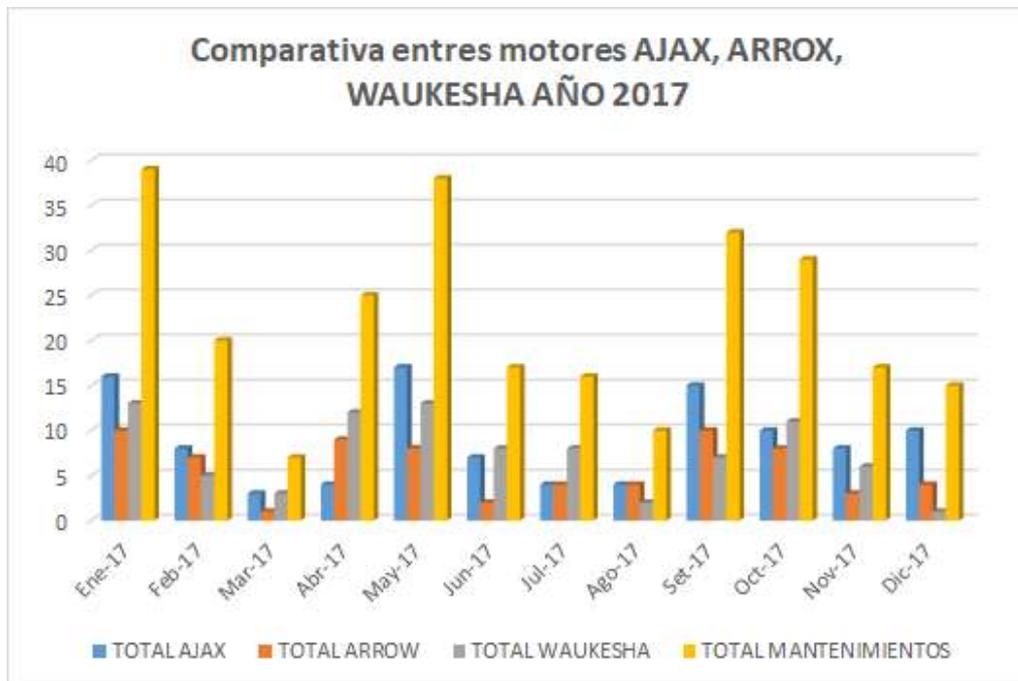
COMPARATIVO TOTAL MANTENIMIENTO AJAX, ARROW Y WAUKESHA AÑO 2018				
MES/AÑO	TOTAL AJAX	TOTAL ARROW	TOTAL WAUKESHA	TOTAL MANTENIMIENTOS
Ene-18	19	20	22	61
Feb-18	9	8	3	20
Mar-18	8	9	10	27
Abr-18	5	10	11	26
May-18	20	20	15	55
Jun-18	10	3	5	18
Jul-18	6	8	14	28
Ago-18	6	3	5	14
Set-18	17	11	5	33
Oct-18	9	5	20	34
Nov-18	9	4	5	18
Dic-18	10	4	1	15
<b>TOTAL</b>	<b>128</b>	<b>105</b>	<b>116</b>	<b>349</b>
<b>TOTAL %</b>	<b>37%</b>	<b>30%</b>	<b>33%</b>	<b>100</b>



**Figura 15.** Comparativa del total de mantenimiento por marcas AJAX, ARROW, WAUKESHA, año 2018

**Tabla 11.** Comparativa del total de mantenimiento por marcas AJAX, ARROW, WAUKESHA, Año 2017

COMPARATIVO TOTAL MANTENIMIENTO AJAX, ARROW Y WAUKESHA AÑO 2017				
MES/AÑO	TOTAL AJAX	TOTAL ARROW	TOTAL WAUKESHA	TOTAL MANTENIMIENTOS
Ene-17	16	10	13	39
Feb-17	8	7	5	20
Mar-17	3	1	3	7
Abr-17	4	9	12	25
May-17	17	8	13	38
Jun-17	7	2	8	17
Jul-17	4	4	8	16
Ago-17	4	4	2	10
Set-17	15	10	7	32
Oct-17	10	8	11	29
Nov-17	8	3	6	17
Dic-17	10	4	1	15
<b>TOTAL</b>	<b>106</b>	<b>70</b>	<b>89</b>	<b>265</b>
<b>TOTAL %</b>	<b>40%</b>	<b>26%</b>	<b>34%</b>	<b>100</b>



**Figura 16.** Comparativa del total de mantenimiento por marcas AJAX, ARROW, WAUKESHA, año 2017

**Tabla 12.** Consecuencia de las Fallas en los compresores de gas.

Componente	Frecuencia de Falla (FF)	Impacto Operacional (IO)	Flexibilidad Operacional (FO)	Costo de Mantenimiento (CM)	Impacto HSEQ	Consecuencia (IOxFO)+CM+IHSEQ (C)
Pistón	2	10	4	2	8	50
Culata	3	10	2	2	8	30
Cigüeñal	4	6	1	1	6	13
Cruceta	2	4	1	1	2	7
Rodamientos	2	4	2	2	8	18

**Tabla 13.** Matriz de Criticidad de motores de compresión de gas

Componente	Frecuencia de Falla (FF)	Consecuencia (C)	Criticidad (FFxC)	Estado
Pistón	2	50	100	<b>Crítico</b>
Culata	3	30	90	<b>Crítico</b>
Cigüeñal	4	13	52	<b>Semi-crítico</b>
Cruceta	2	7	14	<b>No crítico</b>
Rodamientos	2	18	36	<b>No crítico</b>

**Tabla 14.** Porcentaje de Criticidad Acumulado

Componente	Criticidad	Criticidad Acumulada	Porcentaje Acumulado	80%
Pistón	100	100	34%	80%
Culata	90	190	65%	80%
Cigüeñal	52	242	83%	80%
Cruceta	36	278	95%	80%
Rodamientos	14	292	100%	80%
<b>TOTAL</b>	<b>292</b>			

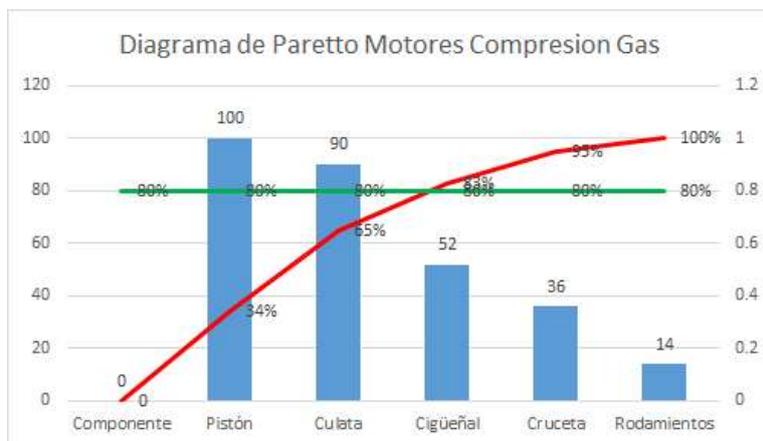


Figura 17. Diagrama de Pareto de los Componentes de los motores de compresión de gas.

Tabla 15. Hoja de Información del MCC

Hoja de Información MMC	Equipo	Realizado por	Fecha	Hoja N°
		Br. Jhonny Vilchez		1
Componente ( C )	Función (F)	Revisado por	3/10/2018	de
		Ing David Rosales		1
Componente ( C )	Función (F)	Modo de Falla (FF)	Efecto de Falla (EF)	Causas de fallo (FM)
1. Pistón	Pieza que efectua el movimiento que transmite la potencia	A. Motor no comprime B. Baja compresion	Motor no arranca Parada de motor Pérdida de potencia	1. Desgaste de pistón
2. Culata	Recubre el volumen donde se produce la combustión	A. Baja compresion	Parada motor Sobrecalentamiento	1. Desgaste camisa 2. Deformación culata 3. Rotura culata
3. Cigüeñal	Transmite la potencia al eje	A. Desbalanceo B. Detonaciones	Alta vibración Pedida de potencia	1. Falla montaje 2. Mal sincronismo
4. Cruceta	Transmite el desplazamiento del piston al cigueñal	A. Ruido	Sobrecalentamiento Parada de motor Rayadura en camisa	1. Mala lubricación 2. Suciedad 3. Rotura
5. Rodamientos	Permite el giro de los componentes	A. Ruido B. Rotura	Sobrecalentamiento Deformación de eje	1. Desgaste 2. Mala lubricación

Tabla 16. Hoja de Decisión del MCC

Hoja de decision MMC	Equipo							Realizado por							Fecha			Hoja N°
	Compresor							Br. Jhonny Vilchez										1
															Revisado por			
							Ing David Rosales											1
							Referenci a de informaci on			Evaluacion de las consecuenci as				H1	H2	H3	Tareas a falta de	
							S1	S2	S3									
							O1	O2	O3									
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
PISTÓN																		
1	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar desgaste pistón	Cada 2 semanas	Mecánico			
1	B	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N						
CULATA																		
2	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite	Cada 30 días	Mecánico			
2	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar pérdida de presión	Cada Semana	Operador			
2	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N						
CIGÜEÑAL																		
3	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	S	N	Capacitar en el correcto procedimeinto montaje	Cada 30 días	Ingeniero			
3	B	2	N	N	N	S	N	N	S	N	S	N						
CRUCETA																		
4	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite	Cada 30 días	Mecánico			
RODAMIENTOS																		
5	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar estado rodamiento	Cada Semana	Mecánico			
5	B	2	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Mejorar lubricación	Cada Semana	Ingeniero			

**Tabla 17.** Programa de Mantenimiento para los compresores de gas

Programa de Mantenimiento	Equipo	Realizado por	Hoja N°
	Compresor	Br Jhonny Vilchez	1
		Revisado por	de
		Ing David Rosales	1
Actividad	A realizar por	Frecuencia	Tipo Mantenimiento
Verificar desgaste de pistón	Mecánico	Cada 2 semanas	Preventivo / Correctivo
Verificar estado de rodamientos	Mecánico	Cada semana	Preventivo
Sustitución de rodamientos	Mecánico	Cada 8 semanas	Correctivo
Verificar el estado de nivel de aceite	Operador	Cada 2 semanas	Preventivo
Revisión de parámetros de temperatura	Mecánico	Diario	Preventivo
Revisión de ruidos	Mecánico	Diario	Preventivo
Limpieza de los motores	Mecánico y Operador	Cada semana	Preventivo
Verificar estado y limpieza de bujías	Operador	Cada 4 semanas	Preventivo / Correctivo
Cambiar filtros de aire	Operador	Cada 4 semanas	Preventivo
Ajustar pernos externos del compresor	Operador	Cada semana	Preventivo
Verificar estado del radiador	Mecánico	Cada semana	Preventivo
Verificar desgaste anillos compresor	Mecánico	Cada 4 semanas	Preventivo / Correctivo
Verificar carga de batería	Operador	Cada semana	Preventivo
Calibrar valvula de combustible	Operador	Cada 4 semanas	Preventivo
Capacitar al personal	Ingeniero	Cada 4 semanas	Predictivo
Mejorar procedimientos de trabajo	Ingeniero	Cada 8 semanas	Predictivo

**Tabla 18.** Inventario de Repuestos para motores de compresión de gas.

<b>INVENTARIO DE REPUESTOS</b>			
<b>Código</b>	<b>Descripción del articulo</b>	<b>Existencia</b>	<b>Inventario mínimo</b>
MCG6001	Radiador	0	1
MCG6002	Bujía	6	6
MCG6003	Magneto	6	6
MCG6004	Bobina	6	6
MCG6005	Cable de bujía	8	18
MCG6006	Aceite	6	5
MCG6007	Anillos	3	5
MCG6008	Rodamientos	3	5
MCG6009	Cigüeñal	2	2
MCG6010	Cruceta	2	2
MCG6011	piston	7	5
MCG6012	Biela	8	5
MCG6013	Rodamientos	6	10
MCG6014	Culata	0	2

**Tabla 19.** Costos de capacitación para la implementación de la propuesta

Descripción	Precio (USD \$/.)	Cantidad	Subtotal (USD \$/.)
Capacitación en MMC para su aplicación (comunicación interna)	30	4	120
Documentos de implementación y seguimiento del Sistema de Gestión de Mantenimiento MMC	30	8	240
Material de escritorio			30
Capacitación en cursos técnicos	450	5	2250
Sueldo de operarios a los cuales se les capacitará (Jefe de Mantenimiento, Supervisor de mantenimiento, 10 operarios)	10	4	40
	5	4	20
	1.3	4	5.2
	1.3	4	5.2
	1.3	4	5.2
	1.3	4	5.2
	1.3	4	5.2
	1.3	4	5.2
	1.3	4	5.2
	1.3	4	5.2
	1.3	4	5.2
	1.3	4	5.2
Capacitador	600	4	2400
Viáticos capacitador	18	4	72
<b>TOTAL</b>			<b>5,224.00</b>

**Tabla 20.** Costos de ejecución del Sistema de Gestión de Mantenimiento MCC

Descripción	Precio (USD \$/.)	Cantidad	Subtotal (USD \$/.)
Archivador para registros de mantenimiento	10	2	20
Materiales de oficina			150
Impresión de formatos a utilizar para ejecutar el mantenimiento			30
Papel bond A4	4	15	60
<b>TOTAL</b>			<b>260</b>

**Tabla 21.** Costos de los repuestos para mantenimiento

Máquina	Repuesto	Precio Unit	Unidades	Precio	Cantidad	Total
Compresor de Gas	Radiador	100	8	800.00	4	3,200.00
	Bujía	2000	1	2,000.00	1	2,000.00
	Magneto	100	2	200.00	4	800.00
	Bobina	78.33	6	469.98	4	1,879.92
	Cable de bujía	78.33	6	469.98	4	1,879.92
	Cable electrico	78.33	6	469.98	4	1,879.92
	Aceite	78.33	6	469.98	4	1,879.92
	Anillos	78.33	6	469.98	4	1,879.92
	Rodajes	90	1	90.00	3	270.00
	Culata	200	1	200.00	4	800.00
	Cigüeñal	100	1	100.00	4	400.00
	Metales de Biela	60.61	1	60.61	4	242.44
	Biela	18.18	2	36.36	3	109.08
	Fajas	13.64	1	13.64	3	40.92
	Separador	70	5	350.00	3	1,050.00
	Valvulas	70	5	350.00	3	1,050.00
	Conductores	70	5	350.00	3	1,050.00
	Polea	70	5	350.00	3	1,050.00
	Filtros combustible	35.15	5	175.75	4	703.00
	Filtros aceite	35.15	5	175.75	4	703.00
	Filtros aire	35.15	5	175.75	4	703.00
	Filtros	35.15	5	175.75	4	703.00
	Refrigerante	100	16	1,600.00	4	6,400.00
	Piston	2000	1	2,000.00	1	2,000.00
	Ventilador	100	2	200.00	4	800.00
Cremallera	800	4	3,200.00	1	3,200.00	
<b>TOTAL</b>				<b>14,953.51</b>		<b>36,674.04</b>

**Tabla 22.** Costos totales de la propuesta MMC

<b>Costo de Gestión Mantenimiento MMC</b>	
Costo de capacitación	5,224
Costos de Ejecución	260
Costo de Repuestos	36,674.04
<b>TOTAL</b>	<b>42,158</b>

**Tabla 23.** Comparación Mantenimiento actual y MCC

	<b>USD \$/.</b>	<b>Actividades de mantenimieto (horas)</b>
Costo del sistema MMC	42,158.04	127
Promedio Mantenimiento Anual	64,091.88	617