



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“Implementación de la metodología RCM en el área Rental de la empresa Unimaq para mejorar la disponibilidad de los grupos electrógenos OLYMPIAN - CATERPILLAR”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de:
Ingeniero Industrial

Autores:

Mendoza Alcarraz Piero Antony

Urpe Pareja Alex

Asesor:

MBA Ing. César Enrique Delzo Esteban

Lima - Perú

2020

DEDICATORIA

Para mi esposa Stephany, mi Madre Sonia y mi Abuela Gumercinda, quienes siempre estuvieron velando mi camino para llegar a donde me encuentro ahora.

Piero Mendoza Alcarraz

A mi esposa Yuliana y a mis hijos Joaquin, André y Domenica, quienes son los pilares de mi vida, así como a mi madre Rosana quien me guio en el camino de la vida para ser un hombre de bien.

Alex Urpe Pareja

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por hacer posible que llegue este gran momento, a nuestro asesor César Delzo, que con toda su experiencia fue un gran guía en el desarrollo, a mi compañero Alex Urpe, que con dedicación y empuje hizo que culmináramos con éxito el presente trabajo de suficiencia profesional

Piero Mendoza Alcarraz

Al Ing. César Enrique Delzo Esteban, por guiarnos con sus conocimientos brindados, durante este Trabajo de suficiencia profesional, a mi compañero Piero Mendoza por todo el esfuerzo mostrado a lo largo de este Proyecto

Alex Urpe Pareja

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN EJECUTIVO.....	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	17
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	38
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	89
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDADIONES	100
REFERENCIA.....	102
ANEXOS	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales clientes	45
Tabla 2. Número de Reclamos de los Principales clientes	45
Tabla 3. Penalidades Principales clientes	46
Tabla 4. Porcentaje de alquiler del grupo electrógeno según el sector	59
Tabla 5. Equipos electrógenos con problemas de disponibilidad.....	60
Tabla 6. Nivel de disponibilidad y confiabilidad antes de la implementación de mantenimiento	62
Tabla 7. Pérdidas generadas por la baja disponibilidad	64
Tabla 8. Causas de las fallas de los grupos electrógenos	66
Tabla 9. Porcentaje de las causas por factor	66
Tabla 10. Razones para el diagrama de Pareto	68
Tabla 11. Factores de evaluación para las alternativas de métodos de mantenimiento .	70
Tabla 12. Escala de calificación	71
Tabla 13. Factores	72
Tabla 14. Sistemas básicos y sus funciones	73
Tabla 15. Criterios para la evaluación de la criticidad	76
Tabla 16. Resultado del análisis de criticidad	78
Tabla 17. Análisis AMEF-Hoja de información del RCM	81
Tabla 18. Análisis AMEF-Hoja de decisiones del RCM	81
Tabla 19. Análisis AMEF-Hoja de información RCM para el motor	82
Tabla 20. Análisis AMEF- Hoja de decisión RCM para el motor	83
Tabla 21. Análisis AMEF-Hoja de información RCM para el Sistema Eléctrico.....	83
Tabla 22. Análisis AMEF-Hoja de decisión RCM para el Sistema Eléctrico.....	83
Tabla 23. Análisis AMEF- Hoja de información RCM para el Sistema de combustible	84
Tabla 24. Análisis AMEF-Hoja de decisión RCM para el Sistema de combustible.....	85
Tabla 25. Incorporación de las nuevas tareas de mantenimiento	87
Tabla 26. Costos mensual de las tareas de mantenimiento	97

Tabla 27. Beneficio de la implementación de la metodología RCM	98
Tabla 28. Beneficio mensual de la implementación de la metodología RCM	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de un grupo electrógeno	22
Figura 2. Motor de combustión	23
Figura 3. El alternador	23
Figura 4. Motor de arranque	24
Figura 5. Antivibratorio	25
Figura 6. Conexión a tierra	25
Figura 7. Funcionamiento del grupo electrógeno	26
Figura 8. Evolución de las fallas	28
Figura 9. Expectativas crecientes en el mantenimiento.....	31
Figura 10. Estructura de la Corporación Ferreycorp	38
Figura 11. Logo de la empresa	39
Figura 12. Marcas representadas	40
Figura 13. Sede principal en lima.....	41
Figura 14. Sucursales.....	41
Figura 15. Organigrama de la empresa.....	42
Figura 16. Organigrama de Gerencia de Soporte al producto	43
Figura 17. Organigrama del Área de Alquileres y Usados.....	44
Figura 18. Valores de Unimaq.....	49
Figura 19. Certificación ISO 9001:2015	50
Figura 20. Distintivo socialmente responsable.....	51
Figura 21. Certificación ABE.....	51
Figura 22. Programa Unimaq Pro.....	53
Figura 23. Programa de formación de competencia laboral.....	53
Figura 24. Máquinas	55
Figura 25. Equipos de energía	55
Figura 26. Accesorio	56
Figura 27. Montacargas	57
Figura 28. Equipos ligeros.....	57

Figura 29. Maquinaria de concreto.....	58
Figura 30. Grupo electrógeno Marca Olympian - Caterpillar.	58
Figura 31. Logo Olympian	59
Figura 32. Porcentaje promedio de disponibilidad por año.....	62
Figura 33. . Porcentaje promedio de confiabilidad por año	63
Figura 34. Diagrama de Ishikawa.....	67
Figura 35. Diagrama de Pareto	68
Figura 36. Consecuencias y frecuencias para el RCM.....	77
Figura 37. Diagrama de decisiones RCM.....	80
Figura 38. Puntos críticos de disponibilidad	90
Figura 39. Confiabilidad de los grupos electrógenos	91
Figura 40. Disponibilidad vs Tiempo no disponible	92
Figura 41. Resultado del indicador disponibilidad.....	93
Figura 42. Resultado del indicador confiabilidad.....	94
Figura 43. Resultado de los tiempos disponibles	95

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Disponibilidad	35
Ecuación 2. Fiabilidad o confiabilidad	36
Ecuación 3. El Tiempo Medio Entre Averías (MTBF)	37
Ecuación 4. Criticidad total	74
Ecuación 5. Frecuencia de la Falla	74

RESUMEN EJECUTIVO

El presente diseño de tiene el propósito implementar la metodología RCM en el área Rental de la empresa Unimaq para mejorar la disponibilidad de los electrógenos OLYMPIAN – CATERPILLAR, cuyo propósito es generar un impacto favorable en cuanto a disponibilidad y confiabilidad.

En la actualidad la empresa Unimaq solo cuenta con un diseño de mantenimiento correctivo, que solo permite la atención y reparación de emergencia, que por la misma naturaleza no son programadas. Los Grupos Electrógenos Olympian - Caterpillar tienen baja disponibilidad y confiabilidad generando reclamos de los clientes, sumado costos excesivos en mantenimiento correctivo, pérdida de ingresos de nuevos pedidos, además de pago de penalidades por el incumplimiento a los clientes motivados por las fallas de los Grupo Electrógenos.

Con el fin de conocer y diagnosticar las causas de la baja disponibilidad se diseñó el diagrama de Pareto y de Ishikawa. Luego seleccionar los sistemas más críticos usando la matriz de criticidad. Además, se realizó la metodología AMEF (Análisis Modal de Fallas y Efectos) que halló los eventos de falla más cíclicos, por lo que se planteó mejorar en el plan de mantenimiento, el cual estará basado en la metodología RCM.

Se determino que, en efecto, la metodología RCM y sus diversas herramientas tales como el método AMEF, matriz de criticidad nos permite implementar la metodología RCM, que servirá de gran aporte a la empresa Unimaq o para cualquier otra empresa.

Al implementar esta metodología RCM, causó efecto a la disponibilidad y confiabilidad, puesto que en promedio los Grupos Electrógenos, mejoró de 73% a 92%, el tiempo de confiabilidad, como también se incrementó el tiempo disponible de 150 hora a 270 horas y que el tiempo de paradas inesperados se redujo de 28 horas a 21 horas.

Palabras claves: Mantenimiento, Grupo electrógeno, RCM, Disponibilidad, Confiabilidad, FMEA

ABSTRACT

The present design is to implement the RCM methodology in the Rental area of the Unimaq company to improve the availability of the OLYMPIAN - CATERPILLAR generators, whose purpose is to generate a favorable impact in terms of availability and reliability.

At present, the Unimaq Company only has a corrective maintenance design, which only allows emergency attention and repair, which by the same nature are not programmed. Olympian - Caterpillar Generating Sets have low availability and reliability, generating customer complaints, added excessive costs in corrective maintenance, loss of revenue from new orders, as well as payment of penalties for non-compliance to customers caused by failures of the Generating Sets.

In order to diagnose and identify the causes of low availability, the Pareto and Ishikawa diagram will be designed. Then select the most critical systems using the criticality matrix. In addition, the FMEA methodology (Modal Analysis of Failures and Effects) was carried out, which found the most cyclical failure events, so it was proposed to improve the maintenance plan, which will be based on the RCM methodology.

It was determined that, in effect, the RCM methodology and its various tools such as the FMEA method, criticality matrix allows us to implement the RCM methodology, which will serve as a great contribution to the Unimaq Company or to any other company.

By implementing this RCM methodology, it had an effect on availability and reliability, since on average the Generating Sets improved from 73% to 92%, the reliability time, as well as the available time from 150 hours to 270 hours and that unexpected downtime was reduced from 28 hours to 21 hours.

Keywords: Maintenance, Generator set, RCM, Availability, Reliability, FMEA

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El presente diseño se implementará en Unimaq que está próximo a cumplir 20 años en el industria minera y construcción, dedicado a la venta de todo tipo de maquinaria y equipo, también proporciona servicio de mantenimiento, reparación y arrendamiento de equipos. El domicilio fiscal de la empresa está ubicado en la Calle Santa Inés zona industrial Santa Rosa en el distrito de Ate Vitarte -Lima Metropolitana.

Reseña de la empresa

La empresa Unimaq S.A inicio sus actividades en el año 2009 con Número de RUC 20100027021 y en el año 2009 se vuelven, oficialmente, representantes de la línea de Caterpillar y en los siguientes años la de Blend y Rival. A la fecha vende y alquila máquinas como retroexcavadoras, minicargadores, excavadoras hidráulicas, excavadoras sobre ruedas, cargadores frontales, rodillos compactadores, entre otros, así como también venden accesorios tales como martillos hidráulicos, barredoras, brazo excavador, zanjadora, además ofrecen equipos de energía, montacargas, equipos ligeros y maquinaria de concreto. Sus clientes pertenecen a distintitos giros de negocio el cual estacan la minera, construcción, energía, industria, agrícola, logística, saneamiento y puertos marítimos.

La investigación va orientada en el alquiler y venta de “Grupos Electrógenos” de la marca Olympian-Caterpillar que actualmente tienen baja demanda por problemas de mantenimiento ocasionando por quejas y molestia de los clientes y

desembolso adicional por conceptos de compra de repuestos para las reparaciones, pago de hora/hombre y en algunos casos penalidades, motivo por el cual ha generado preocupación en la empresa, el cual se ha determinado que las fallas de estos equipos son por no contar con mantenimiento adecuado, por lo que esta investigación busca proponer mejoras en el mantenimiento para generar un impacto positivo en la disponibilidad y confiabilidad de los Grupos Electrónicos Olympian-Caterpillar. El periodo que se ha desarrollado este trabajo de implementación tuvo un rango de periodo de julio del 2018 a julio del 2019.

Justificación

Justificación práctica.

El presente estudio busca implementar la metodología RCM, dada la necesidad de mejorar la disponibilidad de los “Grupos Electrónicos” para el alquiler y venta. Este estudio busca, por ende, implementar un procedimiento para que los equipos cuenten con un mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad y confiabilidad en un 90%, evitando así el sobre costo por motivo de reparación, cambio de componentes menores y pago de penalidades por insatisfacción del cliente.

Justificación académica.

Esta investigación busca demostrar que la implementación del método RCM es requerido para generar impacto favorable en la disponibilidad en los Grupos Electrónicos, con la finalidad de cumplir con los estándares solicitados por el

cliente. Además, sirve como referencia para otras organizaciones que deseen mejorar la disponibilidad de sus equipos.

Al mismo tiempo este trabajo podrá ser utilizado por investigadores o estudiantes de la carrera de ingeniería que quieran tenerlo como referencia para problemas similares.

Objetivos

Objetivo general

Implementar la metodología RCM en área Rental de la empresa Unimaq para mejorar la disponibilidad de los grupos electrógenos Olympian - Caterpillar.

Objetivos específicos

- Implementar la metodología RCM en el área Rental de la empresa Unimaq para mejorar la confiabilidad de los grupos electrógenos Olympian - Caterpillar
- Implementar la metodología RCM en el área Rental de la empresa Unimaq para incrementar el tiempo disponible de los grupos electrógenos Olympian - Caterpillar

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Antecedentes

Internacionales.

Guevara y Ávalos (2016), la investigación tuvo como objetivo tuvo un impacto favorable en la disponibilidad de los equipos de generación Eléctrica de la estación tapir a Petro Oriental, utilizando RCM. El problema fue las considerables fallas de los generadores por tema eléctricos y mecánicos por lo que la disponibilidad del equipo se vio afectado. El estudio está direccionado en el proyecto de mantenimiento a los grupos electrógenos de la central Eléctrica Tapir A de la empresa Petro Oriental específicamente en el área operativa. El estudio se desarrolló en la provincia de Orellana, centrado en aumentar la disponibilidad de los equipos de generación Eléctrica de la central Eléctrica Tapir.

Los autores concluyeron que al ejecutar el RCM se aumentó la disponibilidad de los equipos de generación Eléctrica de 93.3% al 95.5%, permitiendo mejorar la confiabilidad y reducir los servicios correctivos que finalmente lograron mejora de rentabilidad en la empresa.

Cano (2017), se ejecutó el RCM, enfocado en la necesidad de la compañía Central de Empaques, S.A. (CEMSA) con el fin de mejorar los pasos del mantenimiento, preventivo, predictivo o correctivo. El problema fue la de buscar cubrir la necesidad de eliminar todas las averías de consecuencias no tolerables que puedan originarse en una instalación, además de implementar mejores condiciones de trabajo en los equipos

Flexografía y Litografía, el cual se buscó estudiar los defectos potenciales, analizar sus consecuencias y determinar que se debía realizar para minimizar las consecuencias de

dichos fallos, por lo que se usó como metodología el MCC siendo implementada a 3 equipos de mayor criticidad en la empresa, los cuales son: Convertidora C.A. Troquel S. Pegadora. Los resultados demostraron que el costo que CEMSA pagaría por la iluminación en el taller de mantenimiento con la tecnología propuesta, iluminación con tecnología led, sería de Q 43 000,00 anuales el cual también resulta ser un 52,4 % del costo de las lámparas actuales. El autor concluyó que, al ejecutar la metodología, demostró ser una opción de generar un impacto eficiente, ya que no solo contribuirá a incrementar la confiabilidad de los equipos, el cual proporcionará una herramienta para la reducción de los costos de mantenimiento. Además, con la aplicación del RCM, se redujo los tiempos de parada de los equipos, incrementando la producción.

Mendoza (2019), tuvo como objetivo evaluar la disposición del equipo de esterilización hospitalario por medio del análisis RCM. El problema que se encontró fue el aumento del tiempo de inoperatividad del equipo, debido a fallas, en uno de los componentes de la central de esterilización del Hospital Clínico, para él se ejecutó un estudio con la metodología RCM para ello se recopiló los registros y catálogo de los fabricantes para posteriormente sugerir un mantenimiento que busque la solución de mejorar los tiempos muertos de producción por las fallas del equipo de esterilización.

Luego de implementar el método RCM mejoro la disponibilidad de la central de esterilización, incrementando de 65% de disponibilidad a aun 95% concluyendo que fue muy satisfactorio dicha implementación.

Nacional

Pacheco (2018), realizo un plan de implementación del sistema de gestión de mantenimiento preventivo centrado en RCM para la reducir la falla de los equipos en la empresa HYDRO PATAPO S.A.C. Se identifico 334 ocurrencias equivalentes a 1454 horas, el cual redujo la disponibilidad de los equipos en el área de operaciones, donde estudiaron los equipos que mayores fallas registran, por medio de una memoria que almacena los eventos identificados, se hizo uso del diagrama de Pareto, para identificar cinco equipos que presentaron más fallas, se propuso implementar la metodología RCM, apoyándose de herramientas como el análisis de fallas, FMEA, fichas de información de operación y mantenimiento. El resultado minimizo las paradas inesperadas; el cual genero incremento en la disposición de los equipos, también se demostró reducir los tiempos de actividad del proceso de construcción, dando el costo y beneficio de 1.52 dólares. El cual se entiende que cada dólar invertido al plan de mantenimiento RCM, el beneficio que se obtendrá será de 1,52 dólares.

Huanes (2019), el objetivo fue afianzar la disponibilidad de los equipos mediante la aplicación del RCM; el cual se identificó baja disponibilidad en el sistema de bombeo sumergible, por ello se estudió 22 pozos, del que se recolectó información a nivel dinámico y estático.

El resultado mostró que en el pozo N°1 presentó mayor criticidad que cuya falla se debió por la erosión de sus componentes. El autor pudo determinar que el motivo de las fallas es por corrosión de la pieza de las bombas sumergibles y que esto mejoró cuando se implementó el método RCM mejorando la operatividad de las bombas sumergibles.

López (2018), tuvo como objetivo principal mejorar la confiabilidad del uso de los filtros de manga tipo Jet Pulse en una empresa cementera, por ello se usó la metodología RCM. ya que se tuvo como problema principal la baja confiabilidad de los colectores de Polvo y Material Particulado MP (colector de polvo pulse jet). Para el estudio se tomó componentes administrativos y operativos, donde se buscó mejora eficiente de los filtros jet. Luego de haber transcurrido 80 días implementando el RCM, el filtro 3424, tuvo una confiabilidad promedio del 70%, una ganancia de 30% de confiabilidad, el cual no es nada despreciable en términos de mantenimiento, y menos aun considerando que los filtros como el 3424 están prácticamente en los procesos de producción de la cementera.

Soncco (2017), el objetivo principal fue estructurar el plan de mantenimiento preventivo, ya que se tuvo como problema la baja confiabilidad de los equipos de la central Hidroeléctrica Lurini Cuyo Sandia. para él cual se realizó un estudio de tipo explicativo y de campo, tomando como población la central Hidroelectrica ubicada en el distrito de Cuyo en Puno. El estudio se basó en los subsistemas que mayor criticidad presentaron y fueron motivo para aplicar el RCM. Los cuales fueron Cojinetes, Regulador de voltaje, Tablero de control G1, Pararrayo y tablero de salida. Los resultados, en base al análisis Weibull y las gráficas, señalaron que el mejor mantenimiento es el preventivo ya que permitió incrementar la confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria de la Central Hidroeléctrica.

Bases Teóricas

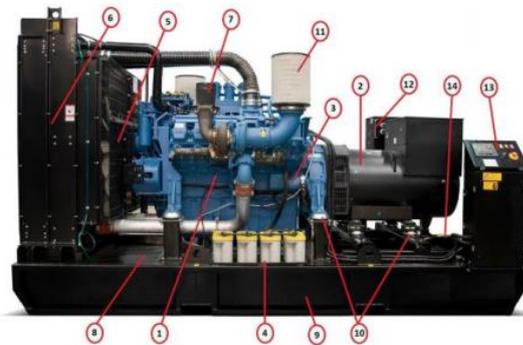
Grupo electrónico.

Concepto.

Llamadas también plantas eléctricas que permite dar electricidad a aquel lugar que no tengan servicio de red eléctrica o por fallas o ausencia no se cuenten con instalaciones de electricidad. Son máquinas rotativas entre electricidad y combustión que permiten la conversión de energía térmica a mecánica y de esta a electromagnética.

Conformación del grupo electrógeno.

Rojas (2018) , señala que existe en el mercado diferente tipos de grupos electrógenos diferenciado por su tamaño y potencia además de diversas combinaciones que optimizan su manejo. En la figura 1 se aprecia los componentes que poseen estos equipos.



- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| 1. Motor de combustión | 8. Depósito de combustible |
| 2. Alternador | 9. Base estructural o bancada |
| 3. Motor de arranque | 10. Antivibratorios |
| 4. Baterías | 11. Filtro de aire |
| 5. Ventilador | 12. Cuadro de protección |
| 6. Radiador | 13. Cuadro de control |
| 7. Silenciador* | 14. Conexión a tierra |

Figura 1. Partes de un Generador

Fuente: Rojas, 2018

- **Motor de combustión:** Es la fuente energética que permite al alternador girar generando electricidad. Existe dos clases de motores: la de gasolina y la de Diesel, siendo los primeros los más usados ya que dan mejores prestaciones en lo ecológico, económico y mecánico.



Figura 2. Motor de combustión

Fuente: Rojas, 2018

- **El alternador:** Convierte la energía mecánica en corriente alterna y esta es manejada por un eje principal del motor a combustión.



Figura 3. El alternador

Fuente: Rojas, 2018

- **Motor de arranque:** En su mayoría estas utilizan motor de arranque operadas con baterías que permite alternar la energía eléctrica a una mecánica del cual se transmite al motor de combustión.



Figura 4. Motor de arranque

Fuente: Rojas, 2018

- **Batería:** Proporciona energía eléctrica que origina que el motor de arranque opere haciendo girar al motor de combustión. además, alimenta eléctricamente a los componentes eléctricos del grupo electrónico
- **Radiador:** enfría el refrigerante que circula por los conductos del sistema de refrigeración, logrando que el motor trabaje a una temperatura óptima para su buen desempeño.
- **Silenciador:** Se encuentra a la salida del motor cuya función es reducir el ruido del equipo.
- **Depósito de combustible:** Se sitúa en la estructura que aguanta al motor y alternador que mediante una bomba de trasiego es direccionado al sistema de inyección del motor.

- **Anti vibratorios:** Amortigua el conjunto motor-alternador permitiendo eliminar la transmisión de las vibraciones del equipo.



Figura 5. Antivibratorio

Fuente: Rojas, 2018

- **Filtro de aire:** Permite retener el flujo de aire impuro que llegan al motor.
- **Cuadro de protección:** Es un gabinete que posee un interruptor de potencia que salvaguarda la termomagnética al grupo electrógeno, además evita la sobreintensidad o bajo voltaje.
- **Cuadro de control y maniobra:** Permite el arranque y parada del equipo, además vigila los interruptores de transferencia.
- **Conexiones a tierra:** Evita las descargas eléctricas que pueden dañar a una persona para ello la conexión del generador se debe realizar a tierra.



Figura 6. Conexión a tierra

Fuente: Rojas, 2018

Funcionamiento de grupo electrógeno

Rojas (2018) indica que un grupo electrógeno está formado por un motor de combustión que con un eje mueve al alternador y esta genera energía eléctrica. El “grupo electrógeno” inicia en el motor de arranque que es alimentado por medio de baterías permitiendo que el motor de combustión inicie su ciclo operación. En cuanto el motor esté en funcionamiento, el alternador empieza a girar ya que son directamente proporcional; este por efecto de inducción o electromagnetismo genera energía eléctrica. El motor usa el combustible para generar energía mecánica y térmica.

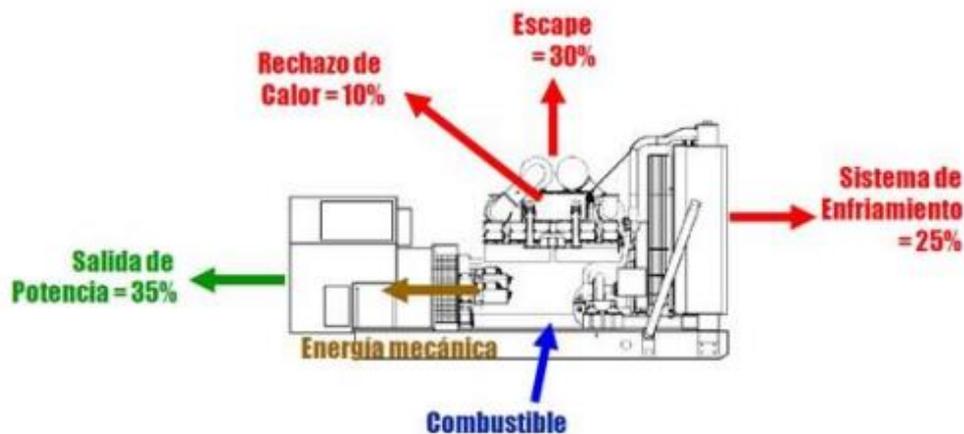


Figura 7. Funcionamiento del grupo electrógeno

Fuente: Rojas, 2018

Mantenimiento.

Concepto.

Muñoz (2015) indica que el mantenimiento son técnicas que aseguran el correcto funcionamiento de equipos o máquinas que tienen como fin lo siguiente:

- Reduce las fallas de las máquinas o equipos
- Disminuye el impacto de las fallas
- Evita detenciones de paros de máquinas.
- Minimiza los incidentes y aumenta la seguridad de las personas

Tipos de mantenimiento.

Muñoz (2015) señala que existe diferentes tipos de mantenimiento como:

- **Mantenimiento correctivo:** Son las actividades de reparación que se realiza cuando previamente aparece un fallo.
- **Mantenimiento preventivo:** Son las actividades que se realizan de forma programada antes que un fallo se presente.
- **Mantenimiento predictivo:** Son las actividades de seguimiento y diagnóstico continuo tomando en cuenta que los fallos se pueden presentar de forma lento.
- **Mantenimiento productivo total:** Es la actividad en donde el mismo usuario realiza pequeñas tareas de mantenimiento. Este mantenimiento coloca a todos los trabajadores realicen tareas de mantenimiento preventivo.

Evolución de la vida útil a lo largo del tiempo.

El tiempo de vida de los equipos se dividen en tres periodos diferentes:

- **Juventud:** Los fallos aparecen en muy corto tiempo motivado por errores de diseño o defectos del montaje
- **Madurez:** Es el periodo útil de una máquina que antes del envejecimiento se debe reemplazar por otro equipo.
- **Envejecimiento:** Es la deteriorización constante de una máquina

(Muñoz, 2015)

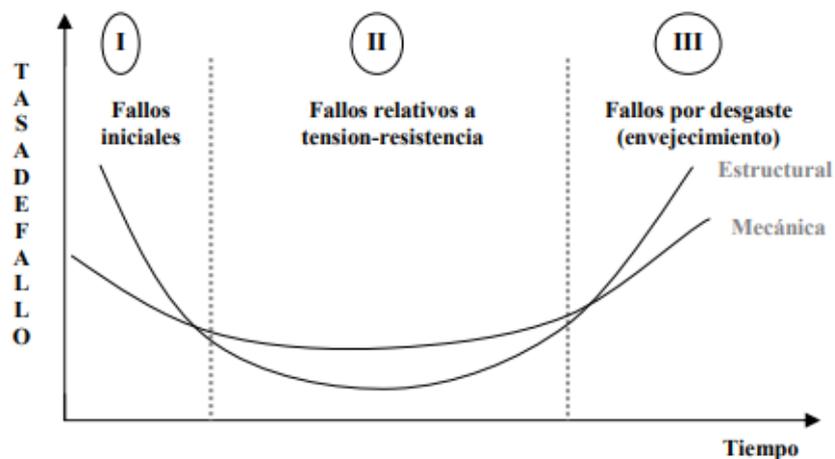


Figura 8. Evolución de las fallas

Fuente: Muñoz, 2015

Metodología RCM.

Según Palencia (2012) “es un enfoque sistémico para diseñar planes y programas que aumenten la confiabilidad de los equipos con un mínimo costo y riesgo; para lo cual combina técnicas de AM (Mantenimiento Autónomo), CM (Correctivo), PM (Preventivo) y CBM, mediante estrategias justificadas técnica y económicamente”. (p.104)

Esta metodología ha sido implementada en diversos ámbitos, para **Fornés, Ochoa, Cano y Gonzáles (2018)** es “un proceso que brinda bondades para la determinación de requisitos de mantenimiento de todas las máquinas en su contexto operativo, que permite determinar cada una de las actividades con el propósito de asegurar que el equipo cumpla su función”. (p.78)

Algunos autores, consideran al RCM no solo en una simple metodología, la consideran una filosofía.

Para **Díaz, Villar, Cabrera, Gil, Mata y Rodríguez (2016)** es la priorización del mantenimiento de los sistemas más críticos para incrementar el funcionamiento y reduciendo los fallos. Según indica Palencia (2012), la metodología RCM puede ser resumida en los siguientes pasos:

- Identificar los sistemas y funciones de ellos componentes de un equipo.
- Conformación del grupo de trabajo y diagnóstico de la criticidad
- Determinar las respuestas del análisis de criticidad
- Desarrollar la hoja de trabajo AMEF

- Elaboración de la hoja de decisiones y el diagrama.
- Estructurar el plan de mantenimiento y acciones a mejora. (p.104)

Beneficios de la metodología RCM.

De acuerdo con Povedá (2011) entre los beneficios de la implementación del proceso de RCM se encuentran:

- Mejor integridad ambiental y seguridad. Elimina y previene riesgos de seguridad y ambientales.
- Mejor funcionamiento operacional. Mejorando la calidad de las máquinas en beneficio del usuario.
- Mayor costo-eficiencia del mantenimiento. El método RCM mejora los sistemas críticos para que el equipo sea más eficiente.
- Mejora el trabajo en equipo y mayor motivación del personal. El método motiva y genera el trabajo en equipo.

Según Moubray (1997) La concepción en torno al RCM, evoluciono en 50 años.

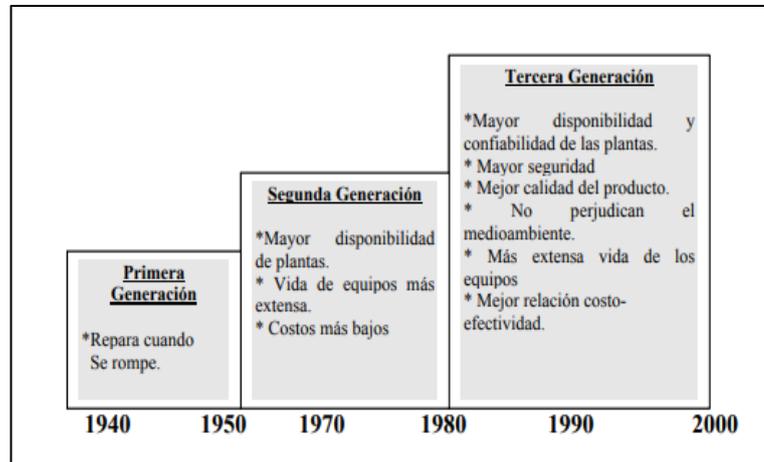


Figura 9. Expectativas crecientes en el mantenimiento.

Fuente: Moubray, 2017

Para Moubray (1997) la utilización del método RCM permitirá que se consigan la totalidad de lo que se propone en la tercera generación. Para ello, es importante señalar que los beneficios que trae son:

a) Mayor integridad Medioambiental y de Seguridad

Moubray (1997) asegura que la aplicación del método RCM permite que se detecten las fallas de las cuales deben ser atendidas por lo cual se deben implementar tareas que reduzcan las fallas críticas. Señala que para controlar los incidentes debe estar registrado, para que en base a ello se compare y se mejore los récords anteriores.

b) Desempeño operativo optimizado:

Moubray (1997) señala que el método RCM nos permite elegir el mejor método para circunstancia y ello favorece a la productividad.

c) Mejor relación costo-efectividad

Si el RCM se utiliza adecuadamente permitirá disminuir el número de trabajos de rutina destinando a los periodos, generalmente va del 40% al 70%.

d) Mayor vida útil de equipos de costos elevados

Moubray (1997) asegura que si se mantiene el RCM mejorará un mayor tiempo de funcionamiento de los equipos.

e) Un banco de datos comprensible

Provee una visión de las herramientas que se requiere para el mantenimiento del bien. (Moubray, (1997), p.22)

f) Mejoras en la motivación individual

De acuerdo con Moubray (1997) permite que los involucrados se motiven en las revisiones de mantenimiento.

g) Mejora el trabajo en equipo

Según Moubray (1997) permite mejorar el trabajo de equipo de operadores y personal de mantenimiento, mejorando el desempeño.

Análisis de los Modos y Efectos de Falla (FMEA).

Es un instrumento necesario para el modelo RCM. De acuerdo con lo que establece Palencia (2012) permite conocer la modalidad de falla en sistemas del equipo. Ordena las fallas según su significancia para definir las estrategias de mantenimiento y evitar las pérdidas económicas. Destaca las etapas básicas:

1. Definición de los equipos por evaluar: se determinan para ejecutar el análisis de criticidad.
2. Identificar operaciones de los equipos: Las funciones deben ser claramente identificados así también los indicadores para el funcionamiento deseado.
3. Verificar fallas funcionales: Con ello se busca determinar fallas en los equipos.
4. Diagnosticar modos de falla: Son causas que originan los desperfectos de las máquinas.
5. Verificar impacto de la falla: Por último, se realiza una lista de lo que ocasiona cada falla.

Dimensiones de la metodología RCM.

Modos y Efectos de Falla (FMEA).

Son procesos que señalan los problemas en los equipos aparte de evaluar y clasificar sus causas y efectos que eviten las ocurrencias de estas. (Salazar, 2019)

Etapas del RCM.

Poveda (2012) menciona que para ser denominado un método RCM. debe desarrollar 7 preguntas básicas que son:

1. “¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?”
2. “¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?”
3. “¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?”
4. “¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?”
5. “¿Cuál es la consecuencia de cada falla?”
6. “¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?”
7. “¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva?”

Disponibilidad

Según Mora (2009) “La disponibilidad es la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables”. (p.67)

Es necesario en este punto, profundizar en la definición, para ello Fuenmayor (2018) afirma lo siguiente:

La disponibilidad es un término probabilístico exclusivo de los “equipos reparables”, se conceptúa como, que tan probable un equipo esté trabajando a un tiempo “t”. Para estimar la disponibilidad se requiere estimar la “tasa de falla $\lambda(t)$ ” y la “tasa de reparación $\mu(t)$ ”; es decir, se requiere analizar estadísticamente los tiempos para la falla, y los tiempos en reparación. Para un rango de tiempo “t”. (p.19)

Disponibilidad

Es la capacidad que una máquina tiene para estar operativo en un tiempo determinado. Para García (2016) señala que 1. Para calcularlo, es necesario obtener

Las horas totales y esta ser restado por las horas parada por mantenimiento y dicha diferencia ser dividido por las horas totales

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas Totales}}$$

Ecuación 1. Disponibilidad

Las horas de parada por mantenimiento que deben computarse son tanto las horas debidas a paradas originadas por mantenimiento programado como el no programado.

Confiabilidad

Para (Mora, 2009) indica que es “la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno”.

(p.95)

La fórmula de cálculo es muy parecida a la anterior, pero sustituyendo en el numerador las horas de parada por mantenimiento por horas de parada por mantenimiento no programado:

$$Fiabilidad = \frac{Horas\ Totales - Horas\ parada\ por\ mantenimiento\ no\ programado}{Horas\ Totales}$$

Ecuación 2. Fiabilidad o confiabilidad

El Tiempo Medio Entre Averías (MTBF)

El MTBF es el tiempo de una ocurrencia de una detención de un equipo por motivo de avería.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación (hrs)}}{\text{Numero de fallas}}$$

Ecuación 3. El Tiempo Medio Entre Averías (MTBF)

Herramientas de calidad.

Diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado

Es la representación gráfica muy simple en la que se puede ver, el orden y la relación, una especie de espina o línea central en horizontal, la cual representa el problema concreto a analizar. (Nuño, 2017)

Diagrama de Pareto.

La Ley de Pareto, conocida como la Regla del 80/20 (ó 20/80), establece de forma general y para un amplio número de eventos, aproximadamente el 80% de consecuencias es proveniente del 20% de las causas. Así pues, el principio de Pareto podría ser de gran utilidad para la gestión empresarial, puesto que identificando el 20% de un factor concreto que produzca el 80% que queremos supervisar, es posible identificar dónde es más rentable y aplicar más esfuerzo extra para conseguir un mejor resultado. (Cepyme, 2019)

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

Organización

Unimaq S.A, perteneciente a la corporación Ferreycorp, especialista en equipos ligeros CAT y marcas aliadas; el cual tiene una trayectoria de más 20 años en operaciones, reafirma su liderazgo en Perú con más del 50 % del mercado. Es único Dealer autorizado para distribuir la marca CAT, Olympian y otras marcas que son nuestros aliados estratégicos.

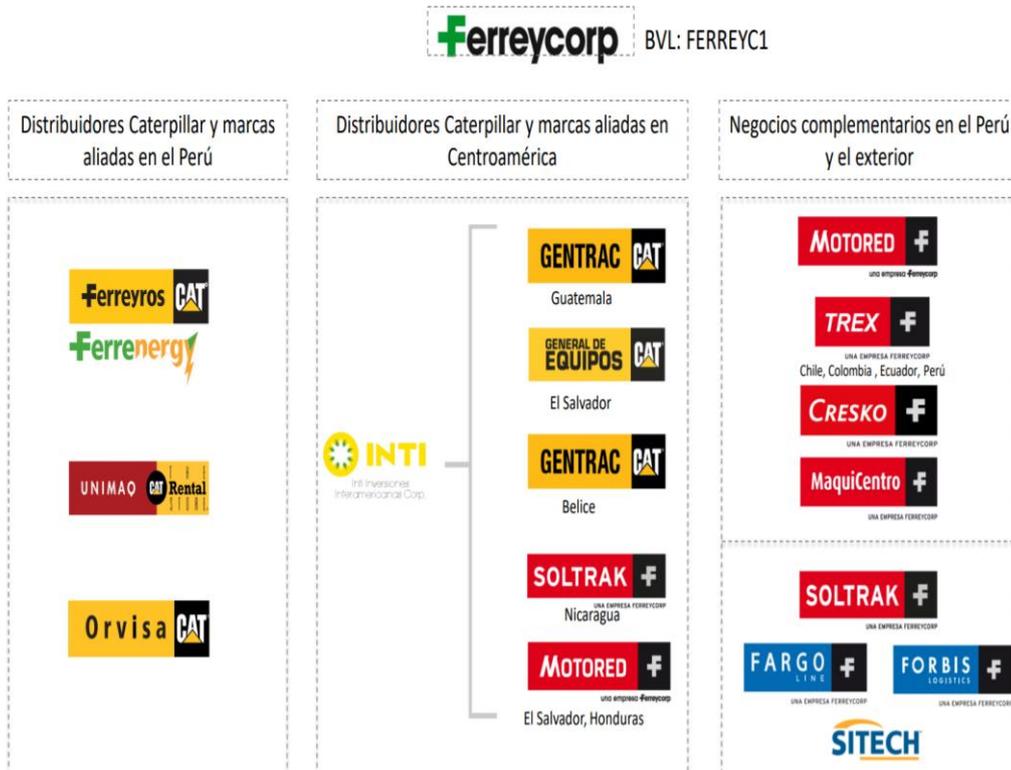


Figura 10. Estructura de la Corporación Ferreycorp
Fuente: Unimaq S.A



Figura 11. Logo de empresa

Fuente: Unimaq S.A

Unimaq S.A, especialistas en brindar servicios integrales de alquiler y venta en equipos ligeros nuevos y usados, con un soporte completo de post-venta en todo el Perú. Ofrece soluciones integrales según necesidad del cliente en todos los sectores productivos del país:

- Construcción
- Minería
- Hidrocarburos
- Agricultura e industria general.

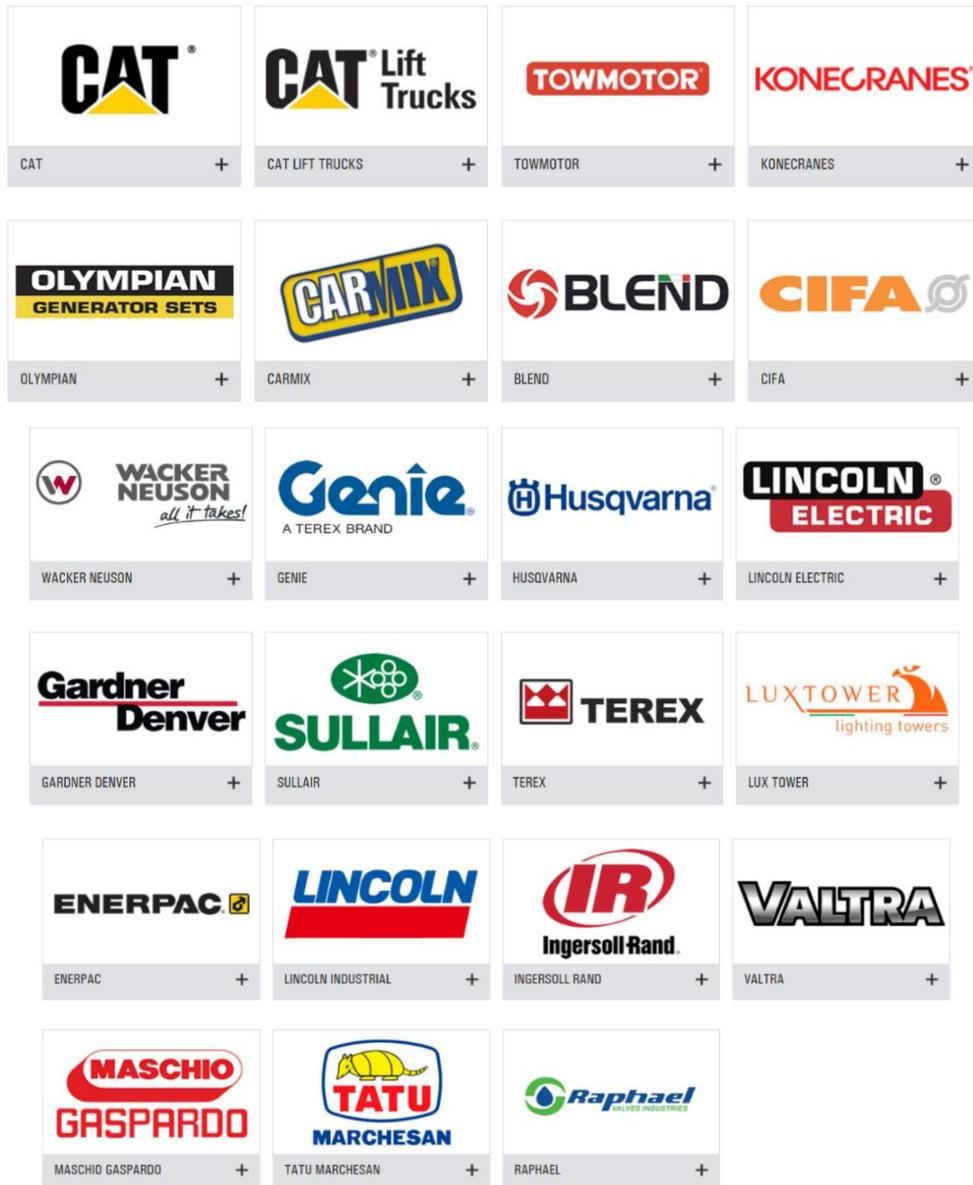


Figura 12. Marcas representadas
 Fuente: Unimaq S.A



Figura 13. Sede principal en lima

Fuente: Unimaq S.A



Figura 14. Sucursales

Fuente: Unimaq S.A

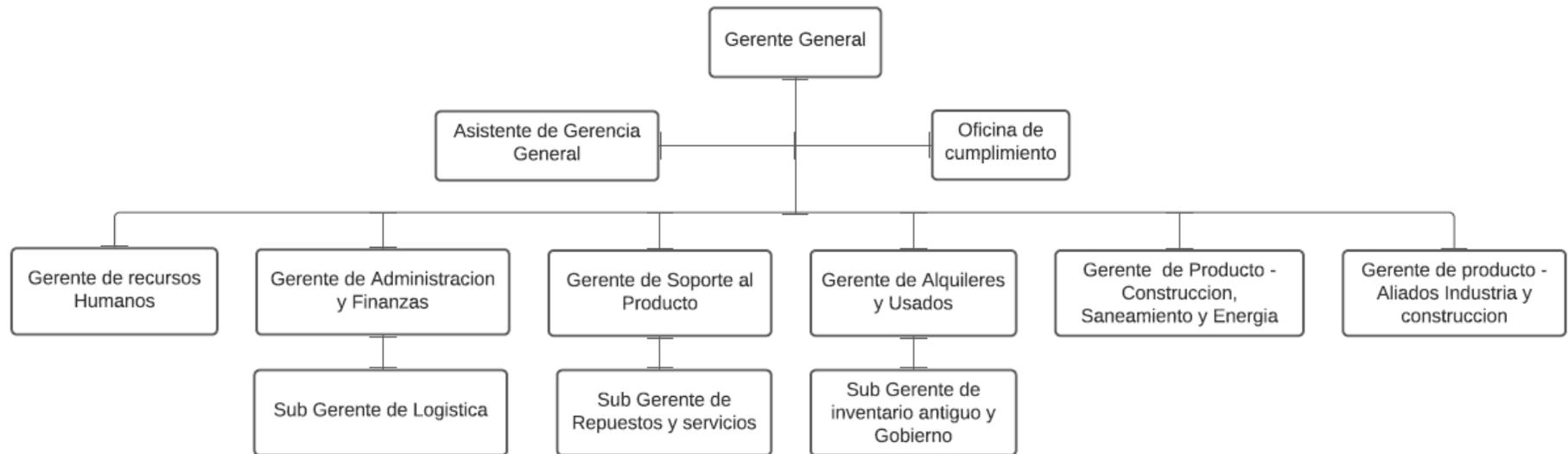


Figura 15. Organigrama Gerencia General Unimaq

Fuente: Unimaq S.A

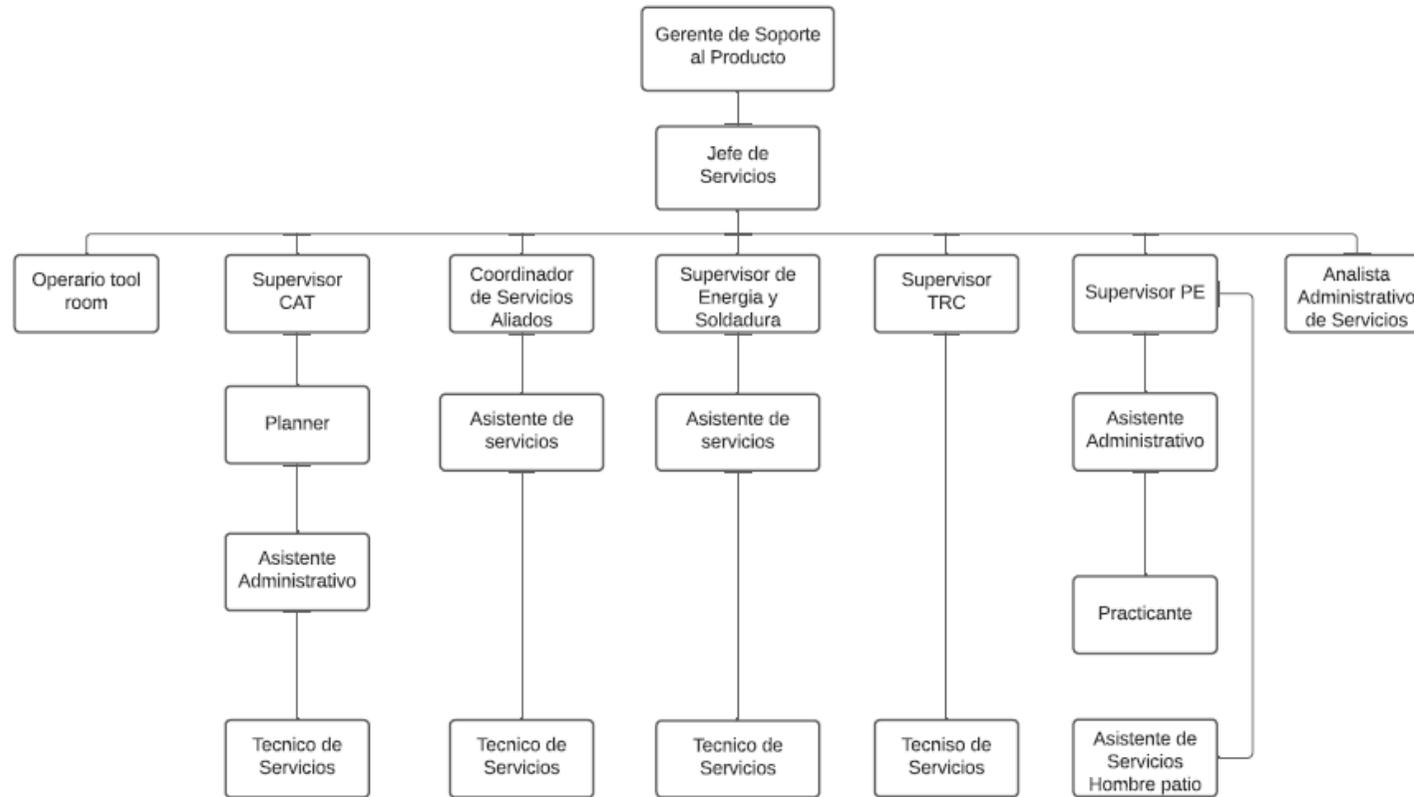


Figura 16. Organigrama de Gerencia de Soporte al producto

Fuente: Unimaq S.A

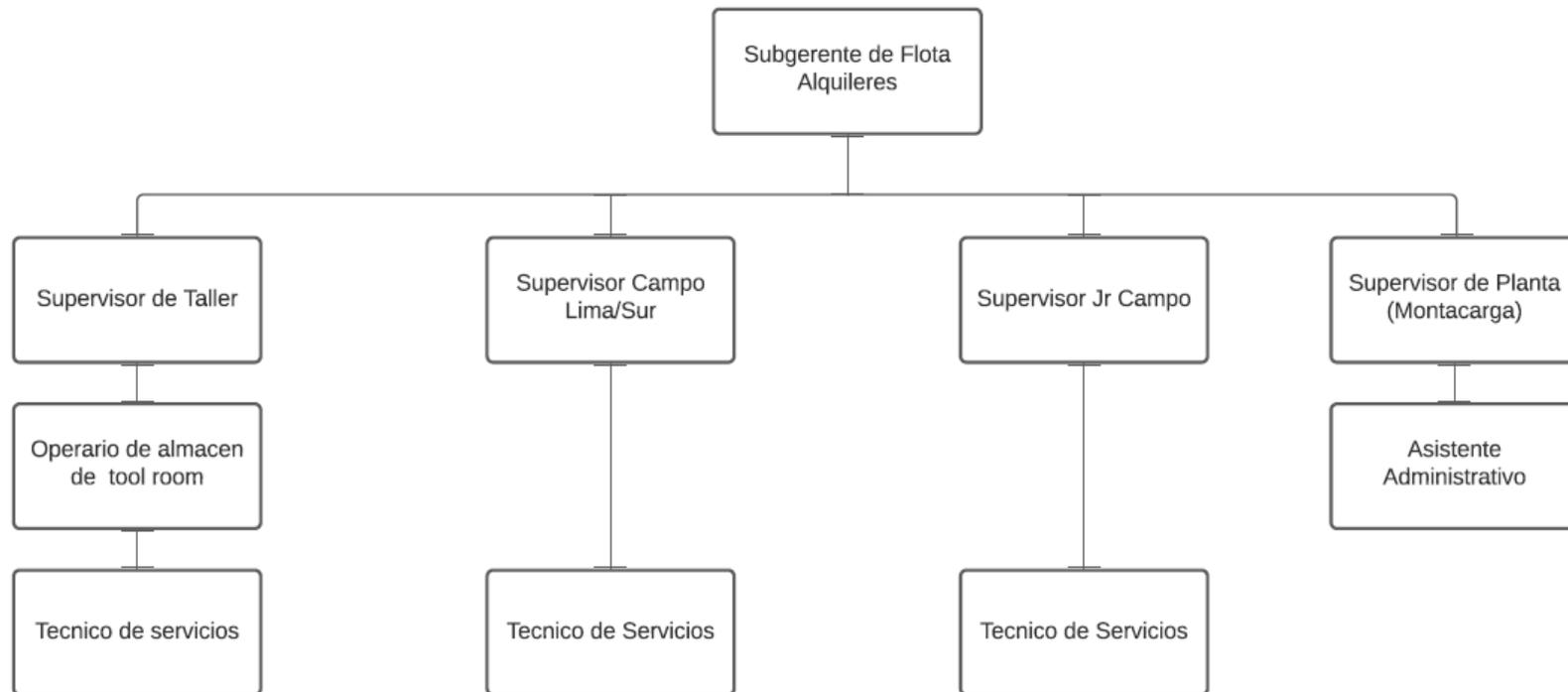


Figura 17. Organigrama del Área de Alquileres y Usados

Fuente: Unimaq S.A

Tabla 1.

Principales clientes

ITEM	NOMBRE DEL CLIENTE		% DE VENTA QUE REPRESENTAN
1	COSAP		6.50%
2	OBRAINSA		5.20%
3	PETRAMAS		5.00%
4	GYM		4.95%
5	MINERA BUENA VENTURA		4.80%
6	MINERA CHINALCO		4.70%
7	MINERA BAMBAS		4.50%
8	PROSEGUR		4.10%
9	IVC		4.00%
10	CONSORCIO AGUA		3.95%
11	COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA		3.91%
12	COMPAÑÍA MINERA COLLPA		3.00%
13	MINERA BARRICK		2.95%
14	OTROS		42.44%
TOTAL			100.00%

Fuente: Unimaq S.A

Tabla 2.

Número de Reclamos de los Principales clientes

ITEM	NOMBRE DEL CLIENTE		Nº DE RECLAMOS
1	COSAP		3
2	OBRAINSA		4
3	PETRAMAS		2
4	GYM		3
5	MINERA BUENA VENTURA		4
6	MINERA CHINALCO		8
7	MINERA BAMBAS		8
8	PROSEGUR		4
9	IVC		5
10	CONSORCIO AGUA		2
11	COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA		2
12	COMPAÑÍA MINERA COLLPA		7
13	MINERA BARRICK		8
14	OTROS		65
TOTAL			125

Fuente: Unimaq S.A

Tabla 3.

Penalidades Principales clientes

ITEM	NOMBRE DEL CLIENTE		PENALIDAD POR DÍA
1	COSAP		\$ 600
2	OBRAINSA		\$ 800
3	PETRAMAS		\$ 400
4	GYM		\$ 660
5	MINERA BUENA VENTURA		\$ 880
6	MINERA CHINALCO		\$ 1600
7	MINERA BAMBAS		\$ 1600
8	PROSEGUR		\$ 880
9	IVC		\$ 1,000
10	CONSORCIO AGUA		\$ 500
11	COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA		\$ 400
12	COMPAÑÍA MINERA COLPA		\$ 1,750
13	MINERA BARRICK		\$ 1600
TOTAL			\$ 12670

Fuente: Unimaq S.A

Misión

“Satisfacer las necesidades de nuestros clientes mediante soluciones integrales en equipos ligeros a través de un amplio portafolio de marcas, productos e infraestructura a nivel nacional; así como un servicio eficiente, ágil y de calidad con personal altamente motivado y calificado”.

Visión

La visión de la empresa Unimaq S.A. es:

“Ser la mejor opción en soluciones integrales de equipos ligeros en un solo lugar y líderes en cada línea que representamos”.

Valores

Los valores de la empresa Unimaq S.A son:

- **Innovación:** Buscamos siempre procesos que modifica elementos, ideas o protocolos ya existentes, mejorándolos o creando nuevos que impacten de manera favorable a la sociedad y al mercado.
- **Integridad:** Practicamos la honestidad para mantener nuestra diferencia con el resto
- **Compromiso:** Es el grado de responsabilidad que tenemos con nuestros clientes y la sociedad.
- **Vocación de servicio:** La razón de ser de la empresa son nuestros clientes.
- **Dinamismo:** nos encaminamos a un futuro mejor para la empresa, clientes y trabajadores.



Figura 18. Valores de Unimaq

Fuente: Unimaq S.A

Logros

Los logros conseguidos por la empresa Unimaq, se menciona a continuación:

- **2009:** Unimaq consigue la representación de Caterpillar, Bled y Rival.
- **2015:** Unimaq obtiene el premio de ser el mejor distribuidor de equipos ligeros Caterpillar a nivel mundial. Además, fue galardonada por como mejor distribuidor en Latinoamérica por Mitsubishi CAT. En ese mismo año la entidad recibe la certificación ISO 9001:2008.
- **2016:** La entidad consigue el mérito al compromiso y gestión responsable. Ese mismo año, a través del grupo ABE, es considerado como buen ambiente para trabajar.

- **2017:** Unimaq crea PARTS.CAT.COM, un nuevo canal de ventas enfocado para mejorar compra en los clientes

Certificaciones

Las certificaciones obtenidas por Unimaq S.A son:

- **Certificación ISO 9001:2015:** Unimaq, la empresa especialista en equipos ligeros de Ferreycorp revalida certificación ISO 9001:2015 otorgada por SGS del Perú S.A.C. – Systems & Services Certification, en mérito al Sistema de Gestión de Calidad aplicado a la “Comercialización y Servicio Post Venta de maquinaria Caterpillar”



Figura 19. Certificación ISO 9001:2015

Fuente: Unimaq S.A

- **Distintivo de empresa socialmente responsable:** Unimaq recibe el distintivo de Empresa Socialmente Responsable, otorgado por Perú 2021, por su compromiso con una gestión socialmente responsable como parte de su cultura y estrategia de negocio.



Figura 20. Distintivo socialmente responsable

Fuente: Unimaq S.A

- **Certificación ABE:** Unimaq es certificado como buenos empleadores.



Figura 21. Certificación ABE

Fuente: Unimaq S.A

Responsabilidad social

La empresa cree firmemente en la responsabilidad social debe estar integrada en la gestión empresarial, buscando generar impactos positivos en todos los grupos de interés. A continuación, les presentamos una perspectiva de nuestras iniciativas con cada uno de ellos.

- **Accionista:** busca la satisfacción y maximización del valor de la inversión realizada por sus accionistas

- Colaboradores: El capital humano es el activo más importante que tiene la corporación. Por lo que se motiva a los trabajadores y forjar el liderazgo
- Clientes: busca constantemente mayor valor para sus clientes con maquinaria de calidad.
- Medio Ambiente: asume la responsabilidad de adoptar un enfoque preventivo como principio fundamental para proteger el medio ambiente.
- Comunidad: Busca el progreso del país en base a la educación de los jóvenes.

Proyectos

- **Programa Unimaq Pro**
Programa de carreras estándar para el personal técnico.
- **Programa sembrando mi futuro**
Formación técnica profesional de jóvenes emprendedores con limitados recursos económicos y que se encuentran concluyendo su quinto de secundaria.
- **Programa de formación de competencias Laborales**
Formación laboral de jóvenes y adultos, con trastorno en el desarrollo cognitivo, mediante una alianza estratégica con la Asociación educativa Kallpa.



Figura 22. Programa Unimaq Pro

Fuente: Unimaq S.A



Figura 23. Programa de formación de competencia laboral

Fuente: Unimaq S.A

Venta y alquiler del equipo

La empresa Unimaq está orientada a la venta de maquinaria nueva y usada, como también se dedica al alquiler de maquinaria. A continuación se muestra en las figuras 24, 25, 26, 27, 28, 28 los principales equipos y modelos.

Retroexcavadoras,	
Excavadoras sobre ruedas	
Manipuladores telescópicos,	
Minicargadores	
Cargador frontal,	
Pavimentadoras	

Excavadora hidráulica	
Rodillo compactador	
Tractores topadores.	

Figura 24. Máquinas

Fuente: Unimaq S.A

Grupos electrógenos	
Globo de iluminación	
Torres de iluminación	
Generadores portátiles	

Figura 25. Equipos de energía

Fuente: Unimaq S.A

Martillos hidráulicos	
Brazo excavador	
Barredoras	
Zanjadoras	
Sinfines	
Perfiladores de pavimento en frío	

Figura 26. Accesorio
Fuente: Unimaq S.A

Montacargas dual	
------------------	--

<p>Montacargas eléctrico</p>	
<p>Apiladores</p>	

Figura 27. Montacargas
Fuente: Unimaq S.A

<p>Comprensoras</p>	
<p>Comprensoras estáticas</p>	
<p>Motobombas</p>	

Figura 28. Equipos ligeros
Fuente: Unimaq S.A

<p>Autohormigoneras</p>	
<p>Mixers</p>	
<p>Pluma de concreto</p>	

Figura 29. Maquinaria de concreto

Fuente: Unimaq S.A

Alquiler de grupos electrógenos

Los Grupos Electrógenos son equipos generadores de energía Eléctrica que funcionan por la impulsión de motor. Unimaq vende y alquila grupos electrógenos OLYMPIAN - CATERPILLAR.



Figura 30. Grupo electrógeno Marca Olympian - Caterpillar.

Fuente: Unimaq S.A



Figura 31. Logo Olympian

Fuente: Unimaq S.A

La empresa Unimaq tiene clientes de distintos sectores empresariales a quienes les alquila los Grupos Electrógenos que a continuación se realiza una lista de los más importantes:

Tabla 4.

Porcentaje de alquiler del grupo electrógeno según el sector

ITEM	SECTOR	% DE VENTA QUE REPRESENTAN
1	MINERÍA	21.40%
2	CONSTRUCCIÓN	19.55%
3	INDUSTRIAL	16.20%
4	ENERGÍA	14.58%
5	LOGÍSTICA	9.85%
6	AGRÍCOLA	7.85%
7	OTROS	10.57%
TOTAL		100.00%

Fuente: Unimaq S.A

Como se puede observar muchos de los grupos electrógenos son alquilados a empresas mineras (21.40%) por lo que los espacios de funcionamiento de los equipos electrógenos son los campamentos en provincia. Están situados en partes aisladas del campamento debido que genera alto ruido y produce riesgo eléctrico, la carga

promedio de corriente de los campamentos es de 150 AMP por equipo, el consumo varía de acuerdo con el horario, donde existen la llamada hora pico, se da entre las 11.30 am a 1 pm, y en la noche a partir de las 5.30 pm a 11pm, que es cuando el personal de campamento realiza mayor consumo de Energía Eléctrica.

Actualmente la compañía cuenta con 52 equipos electrógenos de la marca OLYMPIAN – CATERPILLAR, de las cuales 18 han tenido problemas de disponibilidad, el cual se identificaron en la tabla 5:

Tabla 5.

Equipos electrógenos con problemas de disponibilidad

ITEM	CAPACIDAD	MODELO DEL EQUIPO	SERIE DE EQUIPO	AÑO
1	80 KW	GEP 80	OLY00000TLEJ01397	2009
2	80 KW	GEP 80	OLY00000CLEJ01396	2009
3	80 KW	GEP 80	OLY00000KLEJ01399	2009
4	80 KW	GEP 80	OLY00000PLEJ01398	2011
5	45 KW	GEP 50-7	OLY00000PDDY01073	2011
6	45 KW	GEP 50-7	OLY00000PDDY01072	2011
7	45 KW	GEP 50-7	OLY00000JDDY00781	2011
8	45 KW	GEP 50-7	OLY00000JDDY00783	2011
9	50 KW	GEP 50-7	OLY00000LDDY00756	2013
10	50 KW	GEP 55	OLY00000EDDY00789	2013
11	50 KW	GEP 55	OLY00000KDDY01074	2013
12	50 KW	GEP50-7	OLY00000HDDY00757	2013
13	50 KW	GEP50-7	OLY00000HDDY00774	2015
14	50 KW	GEP 55	OLY00000EDDY00792	2015
15	50 KW	GEP50-7	OLY00000ADDY00772	2015
16	50 KW	GEP50-7	OLY00000KDDY00782	2015
17	50 KW	GEP50-7	OLY00000EDDY00758	2015
18	50 KW	GEP 55	OLY00000KDDY00779	2017

Fuente: Unimaq S.A

El motivo por el cual se tomó como estudio el alquiler del grupo electrógeno de la marca OLYMPIAN – CATERPILLAR, se debió a que es un lote en donde se ha presentado un decrecimiento de la disponibilidad ocasionando quejas de los clientes, pago de penalidades y gastos de reparación, además de ello es un servicio que tiene mayor volumen de pedidos y un rango mayor de tiempo en uso por parte del cliente generando ingresos fijos a la empresa por lo que vio necesario implementar una metodología que permita mejorar el porcentaje de disponibilidad y confiabilidad de los Grupos Electrógenos.

Situación problemática de los Grupos Electrógenos

La empresa tiene muy poca disponibilidad de Grupos de Electrógenos por lo que se genera quejas de los clientes, quienes alquilan estos equipos que están fallando. Actualmente la disponibilidad y confiabilidad de los generadores eléctricos fue baja en el periodo de julio 2018 a julio 2019, el cual se demuestra en la tabla 6 y las figuras 32 y 33 :

Tabla 6.

Nivel de disponibilidad y confiabilidad antes de implementar el RCM

ITEM	CAPACIDAD	MODELO DEL EQUIPO	SERIE DE EQUIPO	AÑO	CONFIABILIDAD	DISPONIBILIDAD
1	80 KW	GEP 80	OLY00000TLEJ01397	2009	75%	63%
2	80 KW	GEP 80	OLY00000CLEJ01396	2009	78%	67%
3	80 KW	GEP 80	OLY00000KLEJ01399	2009	78%	68%
4	80 KW	GEP 80	OLY00000PLEJ01398	2011	81%	71%
5	45 KW	GEP 50-7	OLY00000PDDY01073	2011	81%	72%
6	45 KW	GEP 50-7	OLY00000PDDY01072	2011	82%	73%
7	45 KW	GEP 50-7	OLY00000JDDY00781	2011	81%	72%
8	45 KW	GEP 50-7	OLY00000JDDY00783	2011	81%	71%
9	50 KW	GEP 50-7	OLY00000LDDY00756	2013	82%	73%
10	50 KW	GEP 55	OLY00000EDDY00789	2013	83%	74%
11	50 KW	GEP 55	OLY00000KDDY01074	2013	83%	75%
12	50 KW	GEP50-7	OLY00000HDDY00757	2013	83%	75%
13	50 KW	GEP50-7	OLY00000HDDY00774	2015	84%	77%
14	50 KW	GEP 55	OLY00000EDDY00792	2015	84%	77%
15	50 KW	GEP50-7	OLY00000ADDY00772	2015	85%	78%
16	50 KW	GEP50-7	OLY00000KDDY00782	2015	86%	78%
17	50 KW	GEP50-7	OLY00000EDDY00758	2015	85%	78%
18	50 KW	GEP 55	OLY00000KDDY00779	2017	88%	82%

Fuente: Unimaq S.A



Figura 32. Porcentaje promedio de disponibilidad por año

Fuente: Unimaq S.A

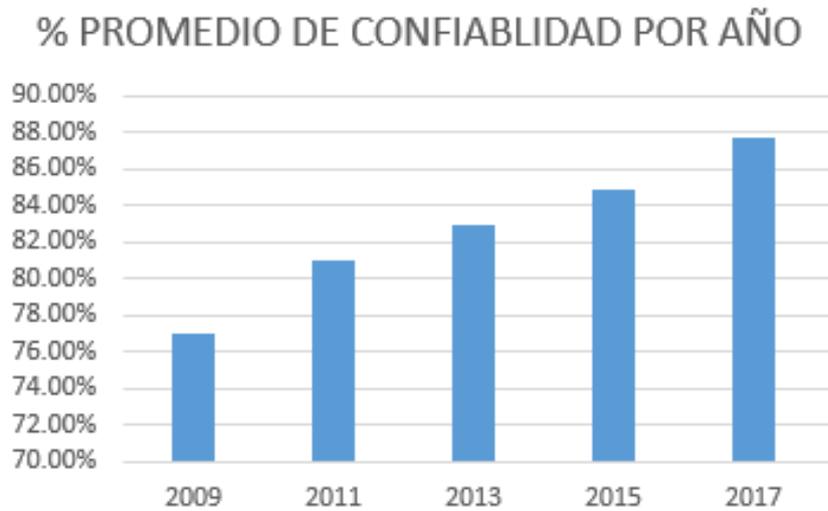


Figura 33. . Porcentaje promedio de confiabilidad por año
Fuente: Unimaq S.A

Lo que se puede observar es que ningún grupo electrógeno llega al 90% de disponibilidad y confiabilidad, siendo el más bajo los equipos del 2009 cuya confiabilidad y disponibilidad es de 75% y 63% respectivamente. Con respecto a los equipos con menor tiempo de antigüedad, del 2017, ya empezaron a tener problemas al tener una confiabilidad de 88% y disponibilidad de 82%.

Además de ello durante el periodo de evaluación no se pudo cubrir los nuevos pedidos de alquileres por lo que se perdió ingresos al no cubrir esas demandas adicionales, dejando de percibir a diario, por todo el lote no disponible, un monto de \$ 33,600 y por unidad, un promedio de \$ 2,400 dólares americanos, así también se realizó el pago de penalidades por incumplimiento de alquileres del grupo electrógenos que sumaron un total de \$28,475 dólares americanos. Por último, se ha tenido gastos adicionales por costos de auxilio mecánico de los grupos electrógenos, por un valor

total, de S/ 161,610 pago que se realiza a un tercero, el cual se encuentra detallado en la tabla 7.

Tabla 7.

Pérdidas generadas por la baja disponibilidad

ITEM	MODELO DE EQUIPO	AÑO		COSTOS DE AUXILIOS MECÁNICOS	COSTO POR DÍA DE ALQUILER	RECLAMOS DE CLIENTES	PENALIDAD POR DÍA (VARIAN SEGÚN CONTRATO)	PENALIDADES TOTAL
1	GEP 80	2009	S/	25,000.00	\$1,000.00	8	\$200.00	\$1,600.00
2	GEP 80	2009	S/	22,000.00	\$1,000.00	10	\$200.00	\$2,000.00
3	GEP 80	2009	S/	16,200.00	\$1,000.00	12	\$200.00	\$2,400.00
4	GEP 80	2011	S/	15,000.00	\$1,500.00	12	\$220.00	\$2,640.00
5	GEP50-7	2011	S/	9,200.00	\$1,500.00	10	\$220.00	\$2,200.00
6	GEP50-7	2011	S/	8,400.00	\$1,500.00	10	\$220.00	\$2,200.00
7	GEP50-7	2011	S/	9,200.00	\$1,500.00	7	\$220.00	\$1,540.00
8	GEP50-7	2011	S/	8,100.00	\$1,500.00	8	\$220.00	\$1,760.00
9	GEP50-7	2013	S/	7,400.00	\$1,950.00	7	\$245.00	\$1,715.00
10	GEP50-7	2013	S/	6,330.00	\$1,950.00	6	\$245.00	\$1,470.00
11	GEP 55	2013	S/	6,330.00	\$1,950.00	7	\$245.00	\$1,715.00
12	GEP 55	2013	S/	6,500.00	\$1,950.00	5	\$245.00	\$1,225.00
13	GEP50-7	2015	S/	5,000.00	\$2,500.00	5	\$260.00	\$1,300.00
14	GEP50-7	2015	S/	4,200.00	\$2,500.00	6	\$260.00	\$1,560.00
15	GEP 55	2015	S/	3,250.00	\$2,500.00	4	\$260.00	\$1,040.00
16	GEP50-7	2015	S/	4,200.00	\$2,500.00	4	\$260.00	\$1,040.00
17	GEP50-7	2015	S/	3,000.00	\$2,500.00	3	\$260.00	\$780.00
18	GEP 55	2017	S/	2,300.00	\$2,800.00	1	\$290.00	\$290.00
TOTAL SEMESTRAL			S/	161,610.00	\$33,600.00	125		\$28,475.00

Fuente: Unimaq S.A

Por lo tanto, existe la necesidad de incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los grupos electrógenos.

Análisis de Causa raíz del problema

Para el estudio de las causas de falla en los equipos se realizó el diagrama de Ishikawa y el diagrama de Pareto.

Diagrama Ishikawa

Mediante el diagrama Ishikawa se determinó los eventos que originaron baja disponibilidad en los grupos electrógenos. Por lo cual se invitó a seis trabajadores

seleccionados por su experiencia y tiempo de trabajo en la compañía: Jefe de Soporte Técnico, Analista de Servicio, Jefe de Servicio, Supervisor de Servicio y dos Técnicos de mayor experiencia y tiempo laborando:

- El primer paso se halló un espacio de tiempo para que el equipo pueda reunirse y exponer sus ideas cómodamente y sin interrupciones, por lo que se determinó el horario de 5:00 pm al ser una hora en donde la intensidad del trabajo se ve reducido, así también se dispuso la sala de conferencia al ser un ambiente espacioso y tranquilo que facilita el flujo de ideas.
- Como segundo paso se presentó el tema central de la reunión (motivos de la baja disponibilidad en los generadores eléctricos de la marca OLYMPIAN-CATERPILLAR) y se estipuló el tiempo límite para desarrollar las ideas, que fue de 5:00 a 6:30 pm. El formato que se utilizó para recolectar las ideas fue un mapa mental
- Como tercer paso y pasado el tiempo, cada integrante expuso sus propuestas y se tomó nota de cada una de ellas.
- El cuarto paso fue presentar una lista con las ideas aprobadas y en consenso se procedió a elegir las más recurrentes.
- Para el sexto paso se estableció el procedimiento de ordenarlas según los factores: Mano de obra, máquina, método, medio ambiente y material.
- Por último, se agradeció la participación de los profesionales.

Se logró identificar doce causas descritas en la tabla 8, mediante reportes de fallas, durante el periodo julio 2018 y 2019, lo que permitió determinar las frecuencias de ocurrencias de cada causa anteriores a la ejecución del RCM

Tabla 8.

Causas de las fallas

Nº	CAUSAS	MANO DE OBRA	MÁQUINA	MÉTODO	MEDIO AMBIENTE	MATERIAL	TOTAL
1	Combustible contaminado		13				13
2	Trabajo del generador a carga baja	4					4
3	Fuga de combustible		31				31
4	Falla de batería	4					4
5	Sistema de combustible con aire					35	35
6	Desconocimiento en el uso de la máquina	4					4
7	Escasa comunicación		9				9
8	Demora en reemplazar un repuesto e insumo			4			4
9	Falta de manuales de operación de máquina					9	9
10	Exceso polvo en máquina				4		4
11	Incumplimiento en el cronograma de limpieza	4					4
12	Falta de formato de inspección			4			4
TOTAL		16	53	8	4	44	125

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 se identifica el número de causas por cada factor, observando que mayor porcentaje de frecuencia ocurrió en el factor máquina (42%) y el factor material (36%)

Tabla 9.

Porcentaje de las causas por factor

ITEM	CAUSAS	Cant. Causas	% causas
1	Mano de obra	16	13%
2	Máquina	53	42%
3	Método	8	6%
4	Medio ambiente	4	3%
5	Material	44	36%
Total		125	100%

Fuente: Elaboración propia

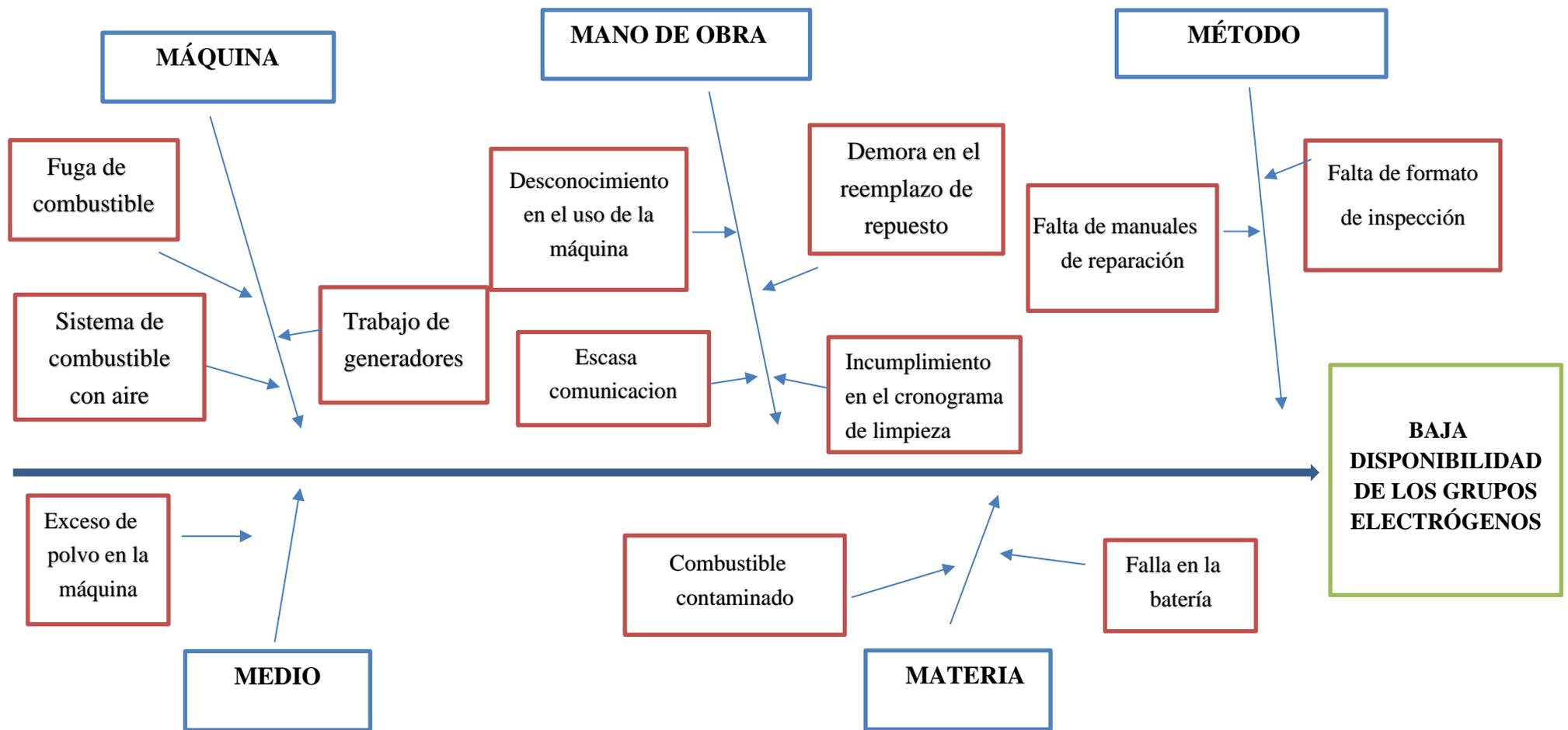


Figura 34. Diagrama de Ishikawa
Fuente: Elaboración propia

Diagrama de Pareto

Mediante este diagrama se busca determinar las principales causas que originen las fallas en los Grupos Electr6genos, el cual se detalla en tabla 10 y la figura 35.

Tabla 10.

Razones para el diagrama de Pareto

ITEMS	RAZONES	FRECUENCIA	% DE FRECUENCIA	% DE FRECUENCIA ACUMULADA
1	Combustible contaminado	35	28%	28%
2	Trabajo del generador a carga baja	31	25%	53%
3	Fuga de combustible	13	10%	63%
4	Falla de bateria	9	7%	70%
5	Sistema de combustible con aire	9	7%	78%
6	Desconocimiento en el uso de la m1quina	4	3%	81%
7	Escasa comunicaci3n	4	3%	84%
8	Demora en reemplazar un repuesto e insumo	4	3%	87%
9	Falta de manuales de peraci3n de m1quina	4	3%	90%
10	Exceso polvo en m1quina	4	3%	94%
11	Incumplimiento en el cronograma de limpieza	4	3%	97%
12	Falta de formato de inspecci3n	4	3%	100%
TOTAL		125	100%	

Fuente: Elaboraci3n propia

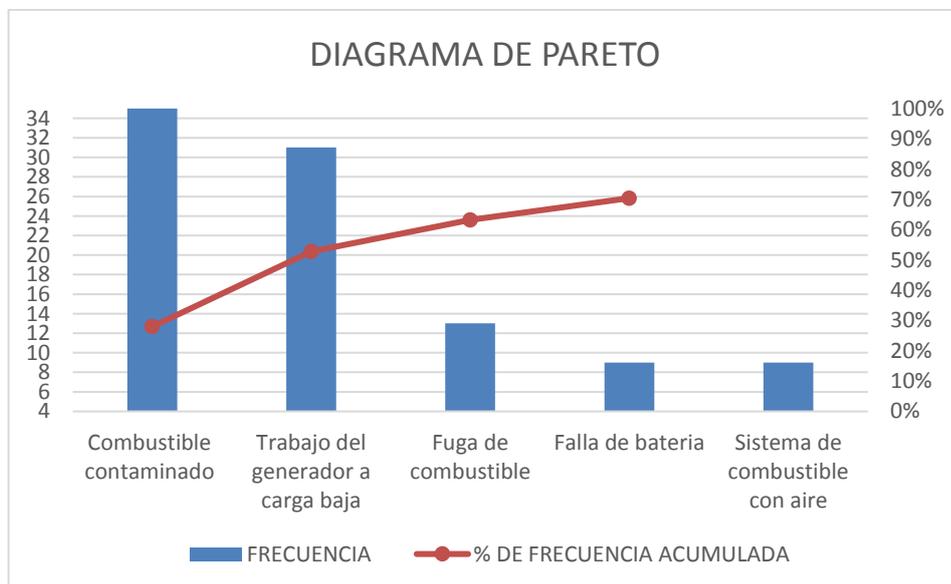


Figura 35. Diagrama de Pareto

Fuente: Elaboraci3n propia

Del diagrama de Pareto se pudo apreciar que el 78% de las causas se deben a: el que el equipo electrógeno tiene combustibles contaminado (28%), trabajan con un generador a carga baja (25%), presentan fuga de combustible (10%), falla de batería (7%) y el Sistema de combustible con aire (9%), razón por la cual se debe priorizar la solución, para ello, se debe elegir una metodología para implementar el mantenimiento en la empresa Unimaq S.A con el fin de incrementar la disponibilidad de los grupos electrógeno de la marca Olympian-Caterpillar.

Selección de la metodología (TPM ó RCM)

Con el grupo de trabajo se identificaron dos metodologías de solución para el incremento de la disponibilidad en los Grupos Electrógenos Olympian-Caterpillar, el cual se encuentra detallado de la siguiente manera:

- **El mantenimiento productivo total (TPM):** Es un método de mantenimiento aplicado en una empresa que supone un nuevo concepto definido para la mejora de disponibilidad de plantas y equipos. El objetivo del programa TPM, en base a sus ocho pilares, es aumentar notablemente la producción y en paralelo incrementar la motivación de los empleados y la satisfacción en el trabajo. (Aula 21, 2020)

- **El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM):** Es un enfoque sistémico donde se diseñan planes y programas que incrementen la disposición de los equipos, minimizando riesgos y costos; para el cual combina técnicas de AM (Mantenimiento Autónomo), CM (Correctivo), PM

(Preventivo) y CBM, mediante técnicas estratégicas y justificadas económicamente. Palencia (García O. , 2012)

Para para elegir entre estas dos metodologías se establecieron factores de evaluación que detallan en la tabla 11:

Tabla 11.

Factores de evaluación para las alternativas de métodos de mantenimiento

ITEMS	FACTOR DE EVALUACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Realiza el plan de mantenimiento idoneo	Capacidad de brindar un plan de mantenimiento preventivo adecuado para cada sistema
2	Reduce las fallas electricas y mecánicas d ellos grupos electrógenos	Identifica los modos de fallas eléctricos y mecánicos en los sistemas y componentes de los grupos electrógeno, además prioriza la atención por el grado de ocurrencia
3	Propicia el cumplimiento de los mantenimientos preventivos	En su desarrollo crea indicadores de medición y planes de acción
4	Minimiza las fallas por falta de procedimiento	Crea conocimiento y mayor involucramiento del personal
5	Identifica los repuestos critios d ellos grupos electrógenos	Crea una base de informacion de los repuestos más usados
6	Establece un plan de mantenimiento autónomo	Genera la integración y trabajo en equipo
7	Mejora la gestión del mantenimiento	Establece acciones técnicas y administrativas que mejoran los resultados
8	Genera desarrollo y motivacion a los trabajadores	Busca constantemente la motivar a los trabajadores

Fuente: Unimaq S.A.C

Conociendo los factores de evaluación, se determinó una escala de calificación mostrado en la tabla 12:

Tabla 12.

Escala de calificación

ITEM	Descripción	Calificación	Puntuación
1	Excelente	Genera óptimos resultados	10
2	Bueno	Brinda resultados moderados	8
3	Promedio	Genera mejoría con restricciones	6
4	Regular	Provoca pocos resultados	4
5	Malo	Los resultados brindados son mínimos	2
6	Muy Malo	No provoca ninguna mejora	0

Fuente: Unimaq S.A.C

Determinados los factores y la escala de calificación, el equipo de trabajo realizo la evaluación. En tabla 13 se observa las puntuaciones, en donde se aprecia que la metodología RCM obtuvo mayor puntuación. En conclusión, este proyecto se centrará en la implementación del mantenimiento en base al método RCM.

Tabla 13.

Factores

ITEM	FACTORES DE EVALUACIÓN	TPM	RCM
1	Realiza un plan de mantenimiento adecuado para cada sistema	6	10
2	Reduce las fallas electricas y mecánicas d ellos grupos electrógenos	6	8
3	Propicia el cumplimiento de los mantenimientos preventivos	8	8
4	Minimiza las fallas por falta de procedimiento	6	10
5	Identifica los repuestos critios d ellos grupos electrógenos	8	8
6	Establece un plan de mantenimiento autónomo	10	8
7	Mejora la gestión del mantenimiento	6	10
8	Genera desarrollo y motivacion a los trabajadores	6	8
Total		56	70

Fuente: Unimaq S.A.C

Solución del problema-Desarrollo del Método RCM

Para la implementar la metodología RCM se desarrollar los siete pasos que se detallan continuación:

Paso 1: Identificación de los sistemas básicos y sus funciones

En este paso se va a reconocer cuales son los sistemas y componentes posee los grupos electrógenos así también las funciones que estos desempeñan para el funcionamiento de los equipos.

Los sistemas que tienen los grupos electrógenos se mencionan en la tabla 14:

Tabla 14.

Sistemas básicos y sus funciones

ITEM	SISTEMAS Y COMPONENTES	FUNCIONES
1	Motor	Representa una fuente de energía mecánica para el inicio del giro en el alternador y se genere electricidad.
2	Sistema de Lubricación	El sistema de lubricación es evitar el desgaste de las piezas de el motor , creando una capa de lubricante entre las piezas, que están siempre rozando.
3	Sistema Eléctrico	Son acumuladores y proporcionan la energía eléctrica para el arranque del motor y opere, de esta manera hara girar el motor de combustión.
4	Sistema de Refrigeración	El sistema de refrigeración tiene como funcion mantener la temperatura optima de tabrajo del motor, el enfraido se realiza por por un gran flujo de aire, direccionado al radiador.
5	Sistema de Combustible	El sistema de combustible está compuesto por el depósito de combustible, la bomba, el filtro y los inyectores o el carburador, y se encarga de suministrar combustible al motor.
6	Sistema de alternación	Su función del alternador consiste en convertir la energía mecánica en corriente electrica atraves del electromagnetismo.
7	Tanque de combustible y bancada	Mediante una bomba auxiliar es direccionado al sistema de inyección del motor
8	Aisladores de vibración	Son elementos que brindan amortiguación al conjunto motor-alternador a través de soportes elásticos, conocidos como silenblocks
9	Silenciador y sistema de escape	El silenciador es un tubo cilindrico colocado a la salida del motor para reducir el ruido y emisiones de monoxido genererados por el Grupo Electrógeno.
10	Sistema de control	controla el buen desempeño y salida del grupo, regular posibles fallas en el funcionamiento.
11	Interruptor automático de salida	protege al Generador, se suministra un interruptor automático y manual de salida adecuado para el modelo y régimen generacion del Grupo Electrógeno con control manual.

Fuente: Unimaq S.A.C

Paso 2: Conformación del equipo de trabajo y criterios para evaluar la criticidad

En este segundo paso lo que se busca es seleccionar trabajadores que en base de su experiencia y conocimiento sobre el mantenimiento de los equipos electrógenos permitirán definir los criterios de evaluación.

Para la estructuración de la matriz de criticidad se realizaron reuniones con el Gerente de Soporte de Producto, Jefe de Soporte Técnico, Analista de Servicio, Jefe de Servicio, Supervisor de Servicio, Gerente de Administración y Finanzas y el Contador, con el fin de determinar criterios que deberían evaluar en los grupos electrógenos y la repercusión de estos en el área de servicio y soporte técnico por lo que se aplicara análisis de criticidad (AC) el método que debe seguir es la siguiente:

Criticidad total (CT) es el parámetro que se rige el método cuya fórmula es siguiente:

$$CT = FF \times \text{Consecuencia}$$

Ecuación 4. Criticidad total

Donde la frecuencia de la falla (FF) se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Consecuencia} = [(IOxFO) + CM + ISAH]$$

Ecuación 5. Frecuencia de la Falla

Por último, los criterios principales que se abarcarán son:

- **Frecuencia de falla (FF):** la cantidad de oportunidad que falla cualquier componente
- **Impacto operacional (IO):** Nivel de servicio que se ve afectado
- **Flexibilidad operacional (FO):** Visualiza la existencia de otras alternativas o en paralela.
- **Costos de mantenimiento (CM):** indica el desembolso económico que se realiza por el mantenimiento.
- **Impacto en seguridad, ambiente e higiene (ISAH):** Determina la oportunidad de eventos no previsto ni deseados que causen daños al ser humano, equipo, ambiente, instalaciones u otro.

Por lo tanto, en la tabla 15 se esquematiza el criterio de evaluación:

Tabla 15.

Criterios para la evaluación de la criticidad

Frecuencia de falla (FF)	Impacto operacional (IO)	Flexibilidad operacional (FO)	Costo de mantenimiento (CM)	Impacto en la seguridad, ambiente e higiene (ISAH)					
Muy Alta: falla casi inevitable	4	Parada inmediata del servicio y venta	10	No hay opción alterna del servicio y venta	4	Mayor o igual a S/15,000	2	Afecta a la seguridad del operador tanto externo como interno	8
Alta: fallas repetidas	3	Impacto en el nivel de ventas y calidad de servicio	8	Opción alterna del servicio y venta	2	Inferior a S/15,000	1	Afecta el ambiente produciendo daños irreparables	6
Moderada: fallas ocasionales	2	Parada de la disponibilidad del equipo	6	Hay respaldo	1			Afecta las instalaciones causando daños graves	4
Baja: relativamente pocas fallas	1	Costo del servicio mientras no esté disponible	2					Menor impacto de daño	2
		Si efecto en la ventas y el servicio	1					Genera impacto ambiental sin romper normas	1
								No genera ningún daño a personas, instalaciones o ambiente	0

Fuente: Elaboración propia

Se usará la figura 36 como matriz para evaluar la criticidad total (CT)

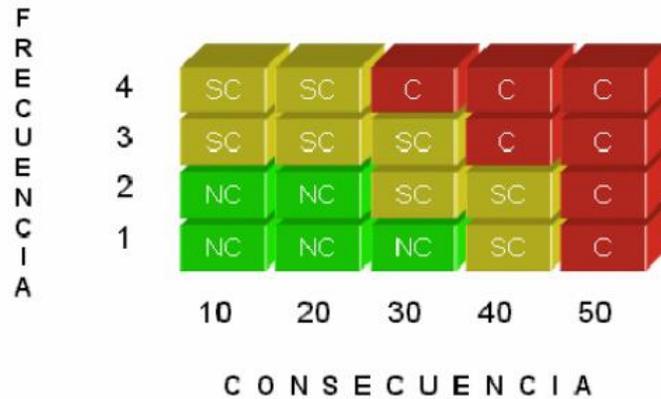


Figura 36. Consecuencias y frecuencias para el RCM

Donde:

NC: No crítico

SC: Semi – crítico

C: Crítico

Paso 3: Determinar el resultado del análisis de crítico

Establece las prioridades del sistema, equipo y proceso facilitando la elección de la decisión de forma efectiva y asertiva y de esta forma aumentara la disponibilidad del grupo electrógeno.

En la tabla 16 se observa que tres sistemas son los que obtuvieron los resultados más críticos: Sistema de Motor, Sistema eléctrico y Sistema de Combustible

Tabla 16.

Resultado del análisis de criticidad

ITEMS	SISTEMAS	FF	IO	FO	CM	ISAH	CONSECUENCIA	CT	RESULTADO
1	Motor	3	10	4	2	4	46	138	Critico
2	Sistema de Lubricación	2	8	2	1	2	19	38	Semi critico
3	Sistema Eléctrico	3	10	4	2	4	46	138	Critico
4	Sistema de Refrigeración	2	6	2	1	2	15	30	Semi critico
5	Sistema de Combustible	3	6	4	2	2	28	84	Critico
6	Sistema de alternación	2	6	2	1	2	15	30	Semi critico
7	Depósito de combustible y bancada	2	2	2	1	1	6	12	No critico
8	Aislamiento de la vibración	2	6	2	1	1	14	28	No critico
9	Silenciador y sistema de escape	2	6	2	1	2	15	30	Semi critico
10	Sistema de control	2	6	1	1	2	9	18	No critico
11	Interruptor automático de salida	3	2	2	1	2	7	21	Semi critico
12	Otros accesorios	3	2	1	1	1	4	12	Semi critico

Fuente: Elaboración propia

El estudio se centrará únicamente en los sistemas que son críticos ya que como el nombre mismo lo indica se quiere resolver urgentemente para solucionar en gran parte las fallas de los grupos electrógenos.

Paso 4 y 5: Desarrollo de la hoja de trabajo FMEA y elaboración del diagrama de decisiones

La hoja de trabajo AMEF (Análisis del modo y efecto de falla) es un método que mediante las hojas de información y de decisiones permiten rastrear fallas en los productos, sistemas y procesos, también evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, elementos y causas de identificación, y de esta manera, evitar que ocurra y tener un método certificado y documentado de prevención. El diagrama de decisión representa el proceso de concepción, la consideración de la información y las consecuencias de actos por lo cual se deben tomar medidas de solución.

Se clasificó las fallas que presentan los generadores eléctricos Olympian - Caterpillar, para luego clasificarlos según su importancia en donde los integrantes concordaron en una forma de evaluación y decisión mostrado en la figura 37.

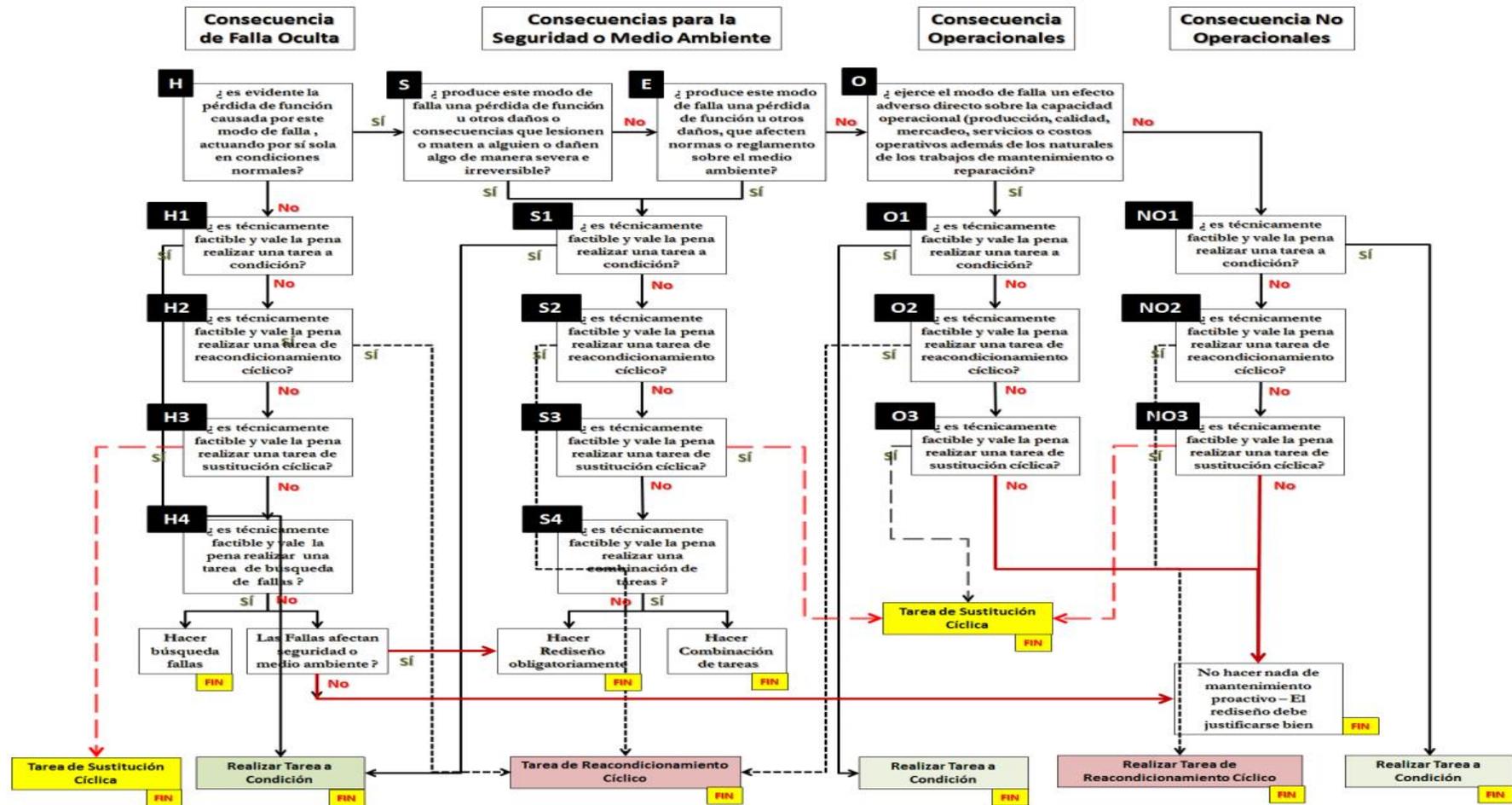


Figura 37. Diagrama de decisiones RCM

Fuente: Elaboración propia

Se estructuró los formatos de la hoja de informativa del RCM. La tabla 17 muestra la estructura de la hoja de información del RCM en donde queda registrado la identificación, descripción de sus funciones, modos de falla, efectos y recomendaciones.

Tabla 17.

Analís AMEF-Hoja de información del RCM

Instalación/Equipo:			Fecha:		
Documentos soporte:					
Nº	Identificación	Descripción	Modos de falla	Efectos	Recomendaciones

Fuente: Elaboración propia

Como segundo formato se muestra en tabla 18, la estructura de la hoja de decisiones del RCM. Las columnas señaladas F, FF y MF señalan el modo de falla que se evalúa en esa línea. Utilizado para correlacionar indicaciones entre las Hojas de Información y de Decisión.

Tabla 18.

Análisis AMEF-Hoja de decisiones del RCM

SISTEM/ACTIVO:				CÓDIGO			FECHA				
SUB-SISTEMA/COMPONENTE:				CÓDIGO			RESPONSABLE:				
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias	H,S O,N 1	H,S,O,N 2	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H			H4	H5	S4			

Fuente: Elaboración propia

Usando las estructuras de las hojas de información y decisión del RCM se aplicó a tres sistemas críticos que ocasiona fallos en los grupos electrógenos Olympian-Caterpillar GP 110-1. Para completar la hoja de información se recogió lo conversado en la reunión con los expertos y para la hoja de decisiones se empleó la metodología usando las rutas de decisiones para poder ejecutar trabajos a condición, trabajos de reacondicionamiento cíclico, si de tener mayor criticidad de falla, se procederá a la elaboración tareas de sustitución periódicas de modo cíclico o inclusive rediseño total, el cual se muestran en las tablas 19, 20, 21, 22, 23, 24.

Tabla 19.

Análisis AMEF-Hoja de información RCM para el motor

Instalación/Equipo:		Fecha:			
Documentos soporte:					
Nº	Identificación	Descripción	Modos de falla (causas)	Efectos	Recomendaciones
1	1. Usar combustible de calidad y hacer trabajar el grupo electrógeno con carga alta	A. Reducción del tiempo de vida del motor	<ul style="list-style-type: none"> 1.El combustible es de baja calidad 2.Se trabaja con carga baja 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta las emisiones de gases • Aumenta el consumo de combustible • El motor se apaga repentinamente • Dificulta el arranque del motor y generación de ruido 	<p>Comprar combustibles con altos aditivos que mejoren la calidad y el funcionamiento del motor</p> <p>Hacer uso óptimo de la potencia de la carga. hacerse funcionar una vez al año por varias horas a plena carga para limpiar el motor</p> <p>La carga ha de ir incrementándose a lo largo de las cuatro horas de servicio de cero a plena carga.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20.

Análisis AMEF- Hoja de decisión RCM para el motor

SISTEMA/ACTIVO:		CÓDIGO		FECHA						
SUB-SISTEMA/COMPONENTE:		CÓDIGO		RESPONSABLE:						
Referencia de información	Evaluación de las consecuencias				Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
	H	S	E	O	H ₁ S ₁ O ₁ N ₁	H ₂ S ₂ O ₂ N ₂	H ₃ S ₃ O ₃ N ₃			
F	FF	MF								
1	A	1	S	N	S	S	N	N	N	
1	A	2	S	N	S	S	N	N	N	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21.

Análisis AMEF-Hoja de información RCM para el Sistema Eléctrico

Instalación/Equipo:			Fecha:		
Documentos soporte:					
Nº	Identificación	Descripción	Modos de falla (causas)	Efectos	Recomendaciones
1	1. Proveer fuente de energía estable	A. Falla en la batería que no suministra la energía necesaria	1. Incremento del frío en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> Sufre una descarga de más del 50% de la capacidad 	Evitar la exposición a temperatura a bajo cero grados.
			2. Calor excesivo	<ul style="list-style-type: none"> Degradación por el sobrecalentamiento 	Evitar la exposición continuada a altas temperaturas, a pleno sol o poca ventilación
			3. Inactividad de la batería	<ul style="list-style-type: none"> Estratificación del electrolito ocasionando desgaste y corrosión 	realizan constantes auto-chequeos y hacen funcionar elementos que requieren la energía de las baterías

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22.

Análisis AMEF-Hoja de decisión RCM para el Sistema Eléctrico

SISTEM/ACTIVO:								CÓDIGO	FECHA			
SUB-SISTEMA/COMPONENTE:								CÓDIGO	RESPONSABLE:			
Referencia de información		Evaluación de las consecuencias				H,S O,N 1 H,S O,N 2 H,S O,N 3	Tareas "a falta de"	Tareas propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por		
F	FF	MF	H	S	E	O	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S			Inspección de la ubicación y ambiente donde se encontrará el grupo electrógeno	Una vez cada dos semanas	Técnico de servicio
1	A	2	S	N	N	S	S			Inspección de la ubicación y ambiente donde se encontrará el grupo electrógeno	Una vez cada dos semanas	Técnico de servicio
1	A	3	S	N	S	S	N	N	N	Realizar auto chequeos y mantener activo las baterías de equipos electrógenos no usados	Una vez a la semana	Soporte técnico

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23.

Análisis AMEF- Hoja de información RCM para el Sistema de combustible

Instalación/Equipo:			Fecha:		
Documentos soporte:					
Nº	Identificación	Descripción	Modos de falla	Efectos	Recomendaciones
1	Mejora del suministro de combustible	A. Fuga de combustible	1. Suciedad en los inyectores de combustible	Mal arranque y vacilación del motor	Limpia los inyectores
		B. Aire en el sistema de combustible	1. Bajo nivel del combustible 2. Fisura en el conducto	Inoperatividad del motor Agotamiento de la batería	Reparar las fisuras del conducto y revisar el nivel de combustible

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24.

Análisis AMEF-Hoja de decisión RCM para el Sistema de combustible

SISTEM/ACTIVO:								CÓDIGO			FECHA					
SUB-SISTEMA/COMPONENTE:								CÓDIGO			RESPONSABLE:					
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias					H ₂ S	H ₂ S	H ₂ S	Tareas "a falta de"			Tareas propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	O ₂ N	O ₂ N	O ₂ N	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Inspección de los inyectores	Cada dos semanas	Soporte técnico	
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Inspeccionar la cantidad de combustible	Cada semana	Técnico de servicio	
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N				Revisar las fisuras de conducto	Cada dos semanas	Soporte técnico	

Fuente: Elaboración propia

Paso 6: Elaboración del plan de mantenimiento y la acción de mejora

Un plan de mantenimiento es una agrupación de quehaceres preventivos a realizar en una instalación a fin de cumplir los objetivos de la disponibilidad y confiabilidad. Terminando ello se procederá a mencionar las indicaciones de mantenimiento en la tabla 25. Adicionalmente es necesario mencionar la consideración de los costos estimados en referencia a la información descrita.

Tabla 25.

Incorporación de las nuevas tareas de mantenimiento

ITEM	Sistemas	OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO	COSTO MENSUAL (\$)	Semana												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
1	Motor	Tanque de combustible - Descarga del agua	250	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Engrasar juntas y conexión, etc.	800													
		Inspección periódica del motor	120	x			x			x			x			
		Inspección del nivel de carga	140	x		x			x			x		x		
		Tensara fajas y correas - inspeccion	200	x		x			x			x		x		
		Arrancador - Inspección	130	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Alternador - Inspección	130	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Reajuste de pernos y tuercas	450	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Limpieza de toberas de inyección	500	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	Sistema de Lubricación	Verificar niveles de aceite de motor y de refrigerante	120	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Cambio de aceite	570	x		x		x		x		x		x		
		Cambio de filtro	600	x		x		x		x		x		x		
3	Sistema Eléctrico	Inspección de la ubicación y ambiente del grupo electrógeno	125	x		x		x		x		x		x		
		Realizar autochequeos y mantener activo las baterías de equipos eléctricos no usados	125	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Medir voltaje y carga de la batería	135	x		x		x		x		x		x		
		Limpieza de los postes de la batería	450	x		x		x		x		x		x		
		Verificación del estado de conexiones de los componentes eléctricos	130	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
4	Sistema de Refrigeración	Refrigerante - Sustitución		x		x		x		x		x		x		
5	Sistema de combustible	Inspección de los inyectores	125	x		x		x		x		x		x		
		Inspeccionar la cantidad de combustible	125	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Revisar las fisuras de conducto	100	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Filtro de combustible (bomba de inyección lineal) - Sustitución y revision	480	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
6	Sistema de alternación	Verificación del estado general del generador	120	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Reajuste de torque	125	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		Revisión de conexiones eléctricas de la instalación	125	x		x		x		x		x		x		
		Engrase de rodamientos	250	x		x		x		x		x		x		
TOTAL			6,425													

Fuente: Elaboración propia

Lo resaltado en color gris, son las incorporaciones de las nuevas indicaciones de mantenimiento a los sistemas más críticos luego de analizado los tres sistemas de mayor criticidad. Para validar que este método de mantenimiento sea útil, se realizó una prueba piloto desarrollado en un lapso de seis meses. Para implementar la tarea nueva se sensibilizó a los gerentes y al equipo de servicios de la necesidad de implementar el método RCM. Se agregó las nuevas tareas en el manual de mantenimiento, se realizó una capacitación a los técnicos y supervisores de servicio, tales como se muestran en los anexos 1, 2 ,3,4 ,5, 6, 7y 8. Se ha agregado las funciones de dar seguimiento a las nuevas indicaciones, para que corrijan las desviaciones que se presenten y atenten contra el método de mantenimiento. Por último, a los clientes, que adquieran los grupos electrógenos, se le dio la recomendación de las actividades que deberán realizar para mantener de forma óptima estos equipos. Con respecto a los costos de las nuevas actividades de mantenimiento se ha proyectado un costo mensual y para las inspecciones el cálculo del costo se basó en el pago de hora/hombre calculado mensualmente.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Análisis descriptivo de las variables del estudio

Disponibilidad de los grupos electrógenos Olympian – Caterpillar

Durante el periodo de Julio del 2018 a Julio del 2019, los grupos electrógenos Olympian – Caterpillar han tenido un comportamiento inestable de su disponibilidad. En la figura N° 38, muestra la curva de la disponibilidad de donde se determina que durante ese periodo los grupos electrógenos han trabajado por debajo del objetivo de mantenimiento (90%). Por otro lado, en dicha figura se resaltan tres zonas críticas en donde se presentó una caída abrupta de la disponibilidad, en promedio, de los grupos electrógenos. Estas zonas resaltadas, ponen en alerta y propician realizar una descripción de los problemas acontecidos:

Punto crítico 1: Se verifica que el mes de agosto del 2018; la disponibilidad del equipo bajó abruptamente con respecto al mes anterior, llegando a su pico mínimo de 60% este problema tuvo su causa raíz en los constantes fallos en los sistemas de: motor, eléctrico y de combustible

Punto crítico 2: La disponibilidad se redujo nuevamente en el mes de noviembre del 2018, llegando a un pico mínimo de 65% causado nuevamente por desperfectos en los Sistema de Motor, Eléctrico, Combustible y adicionalmente el Sistema de Lubricación de 7 equipos electrógenos que para repararlo se tomaron cuatro días.

Punto crítico 3: Por último, se presentó en el mes de marzo del 2019 el punto crítico más bajo en la disponibilidad de los generadores eléctricos Olympian – Caterpillar al presentar un pico mínimo de 55% que adicionalmente a las causas presentada en el noviembre del 2018 se presentaron problemas en el sistema de refrigeración y alternación, tal como demuestra la figura 38.

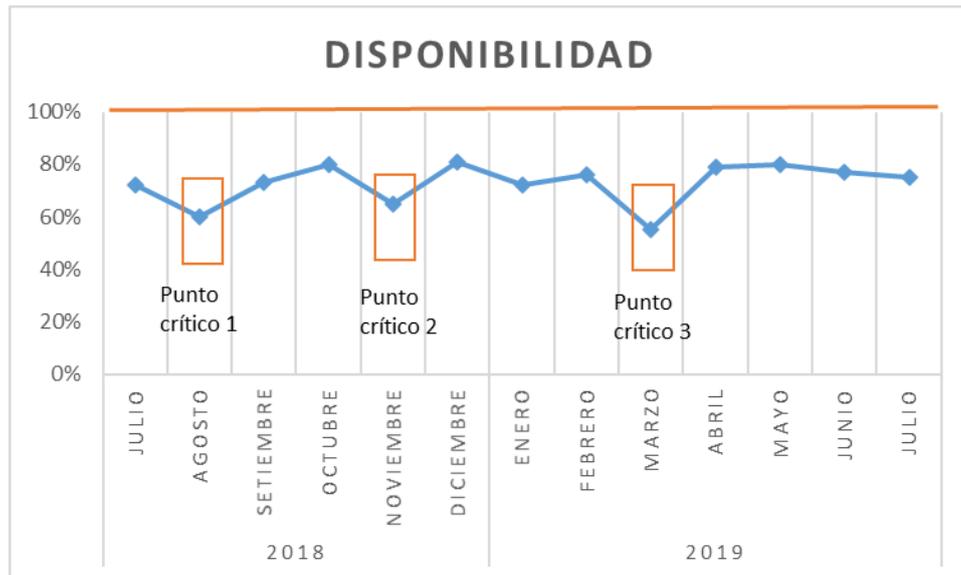


Figura 38. Puntos críticos de disponibilidad

Fuente: Unimaq S.A

Por lo que se visualiza en la figura la disponibilidad no ha llegado al 90 % en ninguna fecha, siendo el punto más alto, en promedio, lo ocurrido en diciembre del 2018 (81%)

Confiabilidad de los grupos electrógenos

En la Figura N°39 se muestra la curva de confiabilidad del grupo electrógeno Olympian – Caterpillar que se aprecia una gran variabilidad dentro del periodo julio del 2018 a Julio del 2019. El tiempo máximo que los equipos no presentaron fallas, en promedio fue de 450 horas, lo cual tuvo lugar en diciembre del 2018, además tan solo se generó 3 averías logrando de esta forma un MTBF de 150 Horas.

El promedio de confiabilidad de los Grupos Electrógenos fue de 134.60 Horas.



Figura 39. Confiabilidad de los grupos electrógenos

Fuente: Unimaq S.A

Se presentaron un promedio total de 1,536 detenciones del total de los grupos electrógenos de los cuales los sistemas de motor, sistema eléctrico y de combustible fueron los que mayor cantidad de fallas presentaron que sumando representan las 920

detenciones entre Julio 2018 y Julio 2019 representando 59.89%, es decir un poco más de la mitad de las fallas se deben a problemas en los sistemas identificados

Tiempo disponible de los grupos electrógenos Olympian - Caterpillar

En la Figura N° 40 se muestra relación entre la disponibilidad y el tiempo no productivo de la máquina. La disponibilidad máxima alcanzada fue del 81% originando una pérdida de tan solo 25 horas en producción, dicho evento tuvo lugar en diciembre del 2018 Por otro lado, en marzo del 2019 la disponibilidad del equipo registró su valor mínimo de 55% dando origen de esta forma a un total de 37 horas. Entre el periodo de Julio 2018 y Julio 2019 el promedio de tiempo no disponible fue de 28.46 Horas

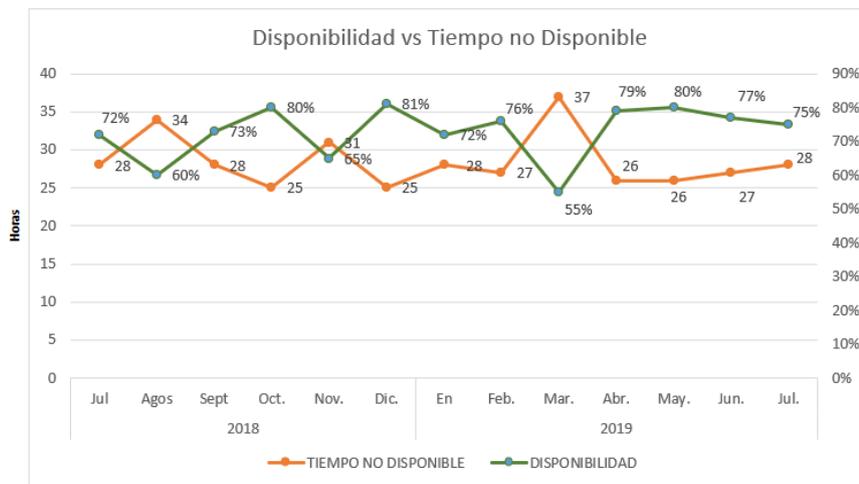


Figura 40. Disponibilidad vs Tiempo no disponible

Fuente: Unimaq S.A

Resultados obtenidos

El método RCM fue implementado de forma paulatina a inicios de agosto del 2019. Obteniendo resultados positivos tal como se detalla:

Resultado del indicador disponibilidad

Luego de la implementación del método RCM en la línea piloto, la disponibilidad en los Grupos Electrógenos, a partir de agosto del 2019, se vio incrementada, alcanzando un valor promedio de 91%, el cual se produjo un incremento positivo de 18% con relación al promedio de disponibilidad de los meses anteriores, tales como se demuestra en la figura 41.

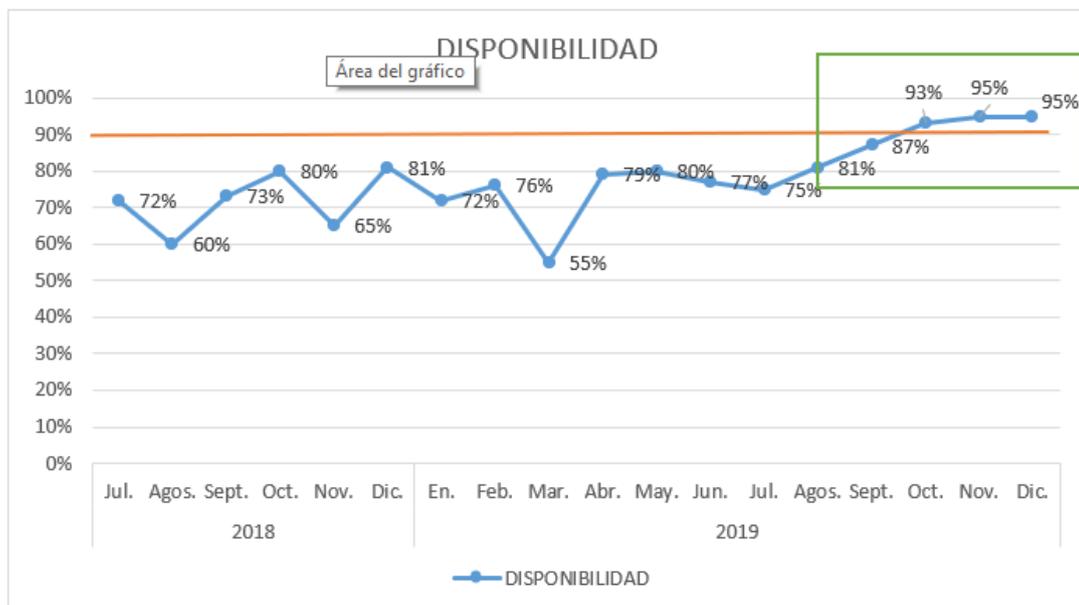


Figura 41. Resultado del indicador disponibilidad

Fuente: Unimaq S.A

Se visualiza en la figura 42, que en el mes de agosto del 2019 el porcentaje promedio de la disponibilidad en los grupos electrógenos incrementó a 81%, en septiembre 87%, en octubre 93%, en noviembre y en diciembre la disponibilidad en 95%, que en promedio significó un 92% de disponibilidad, el cual llegó a superar el porcentaje promedio registrado anteriormente fue de 73% y además de superar la disponibilidad deseada de 90%.

Resultado del indicador confiabilidad

Los resultados conseguidos con la implementación del RCM, mejoró el tiempo promedio entre fallas (MTBF). El tiempo de los equipos que no presentaron fallas aumento de 400 horas a 540 generándose sólo dos averías ocurrido en septiembre del 2019 logrando un MTBF de 270 horas.

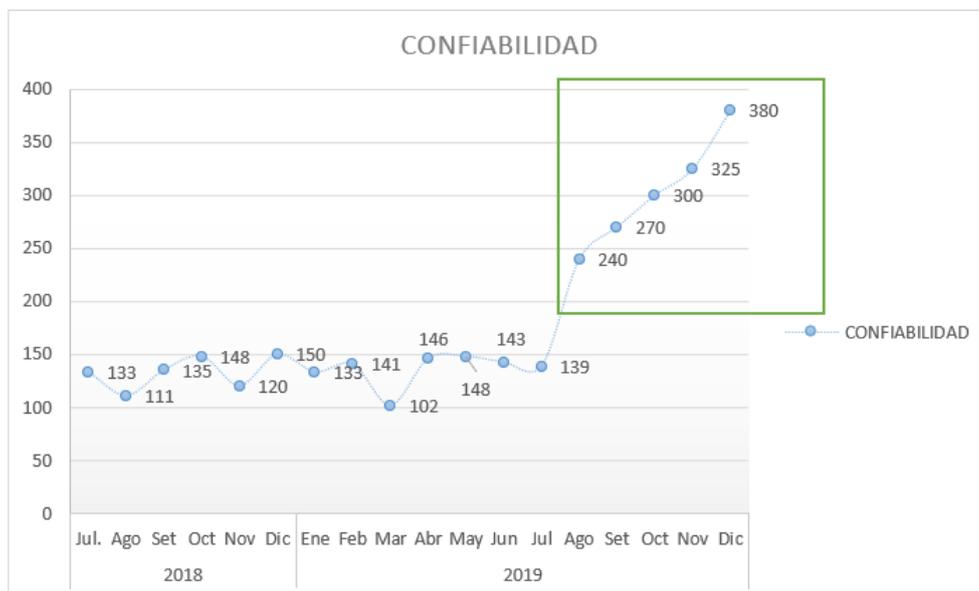


Figura 42. Resultado del indicador confiabilidad

Fuente: Unimaq S.A

Como se muestra la figura 42 a partir de agosto del 2019 mejoraron la confiabilidad al incrementarse las horas promedio de no presentarse falla. En promedio el tiempo de no haber presenciado alguna falla en los grupos electrógenos fue de 303 horas, lo cual significó un incremento positivo de 168 horas adicionales con respecto al periodo Julio 2018 a Julio 2019.

Resultado de los tiempos disponibles

Implementando la metodología RCM el tiempo no disponible disminuyó a partir de agosto 2019 mientras que el porcentaje de disponibilidad estaba incrementando. En la figura 43 se muestra el registro de los indicadores.

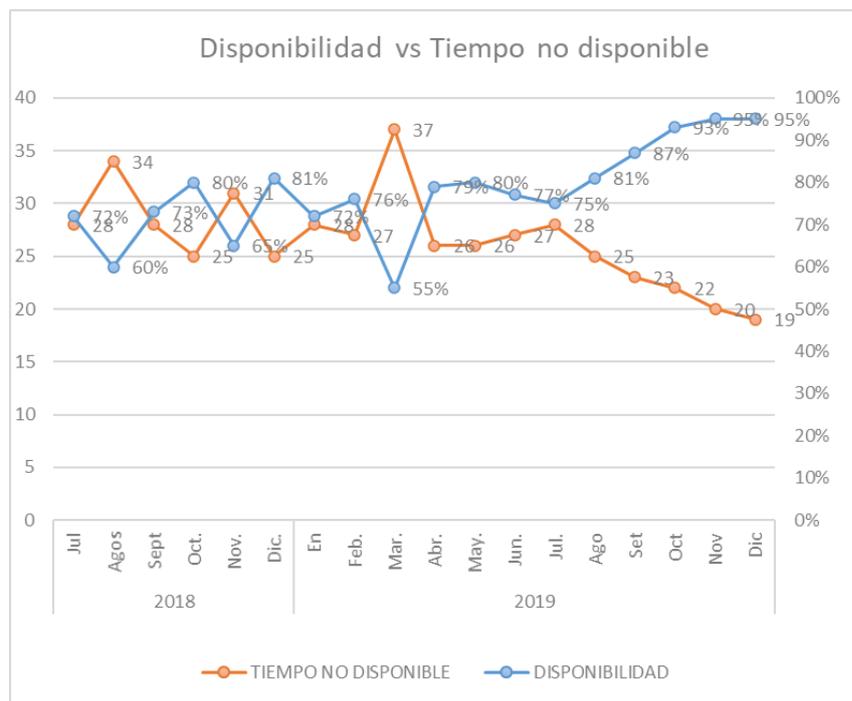


Figura 43. Resultado de los tiempos disponibles

Fuente: Unimaq S.A

En el gráfico 43 se aprecia que ha mejorado el tiempo disponible. En agosto la disponibilidad fue de 81%, mejorando el tiempo de detención a 25 horas, Septiembre (87%) tiempo 23 horas, Octubre (93%) tiempo 20 horas y en noviembre y diciembre (95%) se mejoró el tiempo de detención a 19 horas. En promedio el tiempo de detención se redujo en 22 horas, lo cual significó un decrecimiento de detención de 6 horas menos con respecto al periodo Julio 2018 a Julio 2019.

Costo y Beneficio de la implementación

Los costos por la implementación de las nuevas actividades de mantenimiento serán como se describe en la tabla 26.

Tabla 26

Costos mensuales de las tareas de mantenimiento

OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO	COSTO MENSUAL (\$)
Tanque de combustible - Descarga del agua	250
Engrasar juntas y conexión, etc.	800
Inspección periódica del motor	120
Inspección del nivel de carga	140
Tensara fajas y correas - inspeccion	200
Arrancador - Inspección	130
Alternador - Inspección	130
Reajuste de pernos y tuercas	450
Limpieza de toberas de inyeccion	500
Verificar niveles de aceite de motor y de refrigerante	120
Cambio de aceite	570
Cambio de filtro	600
Inspección de la ubicación y ambiente del grupo electrógeno	125
Realizar autochequeos y mantener activo las baterias de equipos electrógenos no usados	125
Medir voltaje y carga de la bateria	135
Limpieza de los postes de la bateria	450
Verificacion del estado de conexiones de los componentes eléctricos	130
Refrigerante - Sustitución	
Inspección de los inyectores	125
Inspeccionar la cantidad de combustible	125
Revisar las fisuras de conducto	100
Filtro de combustible (bomba de inyección lineal) - Sustitución y revision	480
Verificacio del estado general del generador	120
Reajuste de torque	125
Revision de conexiones eléctricas de la instalación	125
Engrase de rodamientos	250
TOTAL	6,425

Fuente: Unimaq S.A

Lo mostrado en la tabla 27, el valor total de las actividades de mantenimiento tiene un valor de \$6,425 cuyo costo incluye los repuestos y el costo hora/hombre de la supervisión.

Con respecto a los beneficios al ejecutar el método RCM en los servicios de los grupos electrógenos se realizó un prorrateo mensual del costo de auxilio mecánico, penalidades y alquiler de equipos disponibles, del costo de periodo mensual (ya que el costo y pérdidas estuvo calculado en forma anual de julio 2018 a julio 2019) este prorrateo se realizó con el fin de compararlo con los costos de la ejecución del método RCM. Como los costos de auxilio mecánico los pagos fueron en soles se convirtió a moneda dólar con el tipo de cambio promedio de S/3.50

Tabla 27.

Beneficio de la implementación de la metodología RCM

ITEM	MODELO DE EQUIPO	AÑO		COSTOS DE AUXILIOS MECÁNICOS	COSTO POR DÍA DE ALQUILER	PENALIDADE S TOTAL	
1	GEP 80	2009	S/	25,000.00	\$1,000.00	\$1,600.00	
2	GEP 80	2009	S/	22,000.00	\$1,000.00	\$2,000.00	
3	GEP 80	2009	S/	16,200.00	\$1,000.00	\$2,400.00	
4	GEP 80	2011	S/	15,000.00	\$1,500.00	\$2,640.00	
5	GEP50-7	2011	S/	9,200.00	\$1,500.00	\$2,200.00	
6	GEP50-7	2011	S/	8,400.00	\$1,500.00	\$2,200.00	
7	GEP50-7	2011	S/	9,200.00	\$1,500.00	\$1,540.00	
8	GEP50-7	2011	S/	8,100.00	\$1,500.00	\$1,760.00	
9	GEP50-7	2013	S/	7,400.00	\$1,950.00	\$1,715.00	
10	GEP50-7	2013	S/	6,330.00	\$1,950.00	\$1,470.00	
11	GEP 55	2013	S/	6,330.00	\$1,950.00	\$1,715.00	
12	GEP 55	2013	S/	6,500.00	\$1,950.00	\$1,225.00	
13	GEP50-7	2015	S/	5,000.00	\$2,500.00	\$1,300.00	
14	GEP50-7	2015	S/	4,200.00	\$2,500.00	\$1,560.00	
15	GEP 55	2015	S/	3,250.00	\$2,500.00	\$1,040.00	
16	GEP50-7	2015	S/	4,200.00	\$2,500.00	\$1,040.00	
17	GEP50-7	2015	S/	3,000.00	\$2,500.00	\$780.00	
18	GEP 55	2017	S/	2,300.00	\$2,800.00	\$290.00	
TOTAL SEMESTRAL				S/	161,610.00	\$33,600.00	\$28,475.00
TOTAL MENSUAL				S/	13,467.50	\$2,800.00	\$2,372.92
TOTAL MENSUAL (\$)					\$3,847.86	\$2,800.00	\$2,372.92

Fuente: Unimaq S.A

Lo mostrado en la tabla 28 se obtiene un ahorro mensual en el costo de auxilio mecánico por un valor de \$3,847.86 además no se pagaría penalidades por un valor de \$2,372.92 y por último se tendría equipos disponibles para alquilar por un valor de \$2,800.

Tabla 28.

Beneficio mensual de la implementación de la metodología RCM

BENEFICIO	VALOR
COSTOS DE AUXILIOS MECÁNIC	\$3,847.86
COSTO POR DÍA DE ALQUILER	\$2,800.00
PENALIDADES TOTAL	\$2,372.92
TOTAL MENSUAL (\$)	\$9,020.77

Fuente: Unimaq S.A

Lo mostrado en la tabla 28 se obtiene mensualmente un beneficio de \$9,020.77 por ejecutar el método RCM.

Por lo cual se determina el siguiente índice del beneficio/costo, señalar que este índice compara como su nombre lo indica los costos y beneficios de una inversión para medir su viabilidad.

$$\frac{\$9,020.77}{\$6,425} = \$1.40$$

El resultado de \$1.40 significa que por un \$ 1 que se invierta en la ejecución del método RCM se recibirá una ganancia neta de \$ 0.40 por lo que muestra la utilidad del mantenimiento de los grupos electrógenos para mejorar su disponibilidad.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDADIONES

Conclusiones

Luego de desarrollar la investigación, se ejecutó la implementación del método RCM en los grupos electrógenos Olympian-Caterpillar de la compañía Unimaq S.A, el cual luego de 6 meses de prueba evidenció buenos resultados. Al respecto se consiguió en promedio un 92% de disponibilidad por lo cual se llegó a superar el porcentaje promedio que se tenía antes de 73% y además de superar la disponibilidad deseada de 90%.

Con respecto a la confiabilidad luego de haber implementado la metodología RCM permitió que el Tiempo Medio Entre Averías (MTBF) de 150 horas a 270 horas además las horas promedio de no presenciar fallas fue de 303 horas, lo cual significó un incremento positivo de 168 horas adicionales con respecto al periodo julio 2018 a julio 2019.mejorando la confiabilidad de los generadores eléctricos Olympian - Caterpillar.

Por último, la ejecución del método RCM en los grupos electrógenos Olympian-Caterpillar permitió que disminuyera, a partir de agosto, el tiempo no disponible, es decir, se ha conseguido mejor tiempo de disponibilidad en los generadores eléctricos. El tiempo de detención en promedio se redujo a 21 horas 7 horas menos con respecto al periodo julio 2018 a julio 2019.

Recomendaciones

Luego verificar los resultados conseguidos en la línea piloto se recomienda mantener el programa de mantenimiento para no reducir la disponibilidad de los generadores eléctricos y evitar el pago de penalidades, poder cubrir los nuevos pedidos de alquileres y minimizar gastos adicionales por costo de auxilio mecánico.

Se recomienda, ejecutar las tareas en el programa de mantenimiento, y luego expandir el método de mantenimiento para los demás sistemas menos críticos. Incluso llegada esta etapa se debe considerar cambiar radicalmente los formatos usados para la ejecución del programa de mantenimiento y el sistema de control.

Realizar seguimiento y capacitaciones al equipo encargado del mantenimiento con el fin de mejorar sus conocimientos y puedan realizar las nuevas actividades propuestas como resultados de la matriz RCM.

REFERENCIA

- Alfaro, R. (2016). *Implementación De Un Plan De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad (RCM) Para Planta Golosinas Nestle Perú*. Tesis de licenciatura , Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur, Lima. Obtenido de <http://repositorio.untels.edu.pe/handle/UNTELS/173>
- Aula 21. (20 de Abril de 2020). *El Mantenimiento Productivo Total (TPM)*. Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-productivo-total-tpm/>
- Cano, S. (2017). *Implementación de un sistema de mantenimiento centrado en confiabilidad para la maquinaria flexográfica y litográfica de la empresa Central de Empaques, S. A.* . Tesis de licenciatura , Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/8160>
- Cepyme. (14 de Agosto de 2019). *La Ley de Pareto o Regla del 80/20 en la gestión empresarial*. Obtenido de <https://cepymenews.es/la-ley-de-pareto-regla-80-20-gestion-empresarial/>
- Díaz Concepción, A., Villar Ledo, L., Cabrera Gómez, J., Gil Henriquez, S., Mata Alonzo, R., & Rodríguez Piñeiro, A. (2016). Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica. *Ingeniería Mecánica*, 19(3), 137-142. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442016000300003
- Fornés Rivera, R., Ochoa Espinoza, L., Cano Carrasco , A., & Gonzáles Valenzuela, E. (2018). Gestión de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en el área de

laboratorios de una Institución de Educación Superior. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, 3(8), 77-86. Obtenido de http://www.ecorfan.org/bolivia/rj_api_viii.php

Fuenmayor, E. (2018). Análisis de Confiabilidad y Mantenibilidad de un sistema de bombeo. *Revista Digital Latinoamericana. Lubricación y Mantenimiento industrial*(5).

Obtenido de

<https://engage.aiche.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=351639ff-56a2-2ad3-be26-d9b60a6ce76c&ssopc=1>

García, H., & Guevara, F. (2017). *Implementacion Del Plan Estrategico De Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (Rcm) Para Los Centros De Mecanizado De Vidrio Blindado De La Planta De Produccion De Agp Colombia*. Tesis de licenciatura, universidad industrial de santander, Bucaramanga. Obtenido de <http://hdl.handle.net/123456789/38177>

García, O. (2012). *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.

García, S. (3 de Octubre de 2016). *Fórmula de cálculo de indicadores de disponibilidad*. Obtenido de [reorteroindustrial.com](http://www.reporteroindustrial.com):

<http://www.reporteroindustrial.com/blogs/Formulas-de-calculo-de-indicadores-de-disponibilidad+115450>

Guevara Ávalos, E. P. (2016). *Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a los grupos electrógenos de la estación Tapir A del bloque 17 PetroOriental*. Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6112>

- Huanes, Y. (2019). *Metodología para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en sistemas de bombeo de aguas subterráneas de agroindustrial Danper s.a.c. tesis de pregrado*. Universidad Nacional De Trujillo, Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11208>
- López, L. (2018). *Aplicación de la metodología RCM en colectores de polvo en una Empresa Cementera para mejorar su confiabilidad*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7511>
- Manrique, M., & Vela, L. (2018). *Plan De Mantenimiento Centrado En Confiabilidad Rcm, Aplicado A Las Bombas National Oil Well Varco De Los Generadores De Vapor*. Tesis de licenciatura, universidad industrial de santander, Bucaramanga. Obtenido de <http://hdl.handle.net/123456789/38182>
- Mendoza, E. (2019). *llamado Evaluación mediante RCM de un Autoclave del Hospital Clínico Regional Guillermo Grant Benavente (HGGB)*. Tesis de pregrado. Valparaiso: Universidad Técnica Federico Santa Maria. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48720/3560901543502UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mora, A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. México D.F.: Alfaomega.
- Moubray, J. (1997). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad* (2da ed.). Reino Unido : Industrial Press Inc.
- Muñoz, B. (2015). *Mantenimiento industrial*. Obtenido de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf>

- Nuño, P. (8 de Noviembre de 2017). *¿Qué es el diagrama de Ishikawa?* Obtenido de emprendepyme.net: <https://www.emprendepyme.net/diagrama-de-ishikawa.html>
- Pacheco, L. (2018). *Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para la reducción de fallas de la maquinaria de la Empresa Hydro Pátapo S.A.C.* Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12423/1353>
- Poveda Guevara, A. (2011). *Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Desarrollo de Planes de Mantenimiento. Repositorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral*, 1-6.
- Poveda, A. (2012). *Aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad para el desarrollo de planes de mantenimiento.* Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo%20CICYT%20APOVEDA%20RCM.pdf>
- Rojas, G. (2018). *Grupos electrógenos. Principios básicos.* Obtenido de <http://www.gedisa.com.ve/boletin/pdf/20.%20GRUPO%20ELECTROGENOS%20PRINCIPIOS%20BASICOS.pdf>
- Salazar, B. (1 de Noviembre de 2019). *Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF).* Obtenido de ingenieriaindustrialonline.com: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>
- Soncco, J. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento aplicando la metodología RCM para los equipos críticos de la mini central hidroeléctrica Lurini Cuyo Cuyo Sandia.* Tesis

de licenciatura , Universidad Nacional Del Altiplano, Puno. Obtenido de

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6105>

Unimaq S.A.C. (s.f.). *Nosotros*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2020, de

<https://www.unimaq.com.pe/>

ANEXOS

ANEXO N ° 1. Capacitación de los técnicos de servicio



ANEXO N ° 2. Capacitación de los técnicos de servicio, de cómo realizar prueba de aislamiento a los Grupos Electrónicos



ANEXO N ° 3. Capacitación de los técnicos de servicio, se realiza inspección de los Grupos Electrógenos



ANEXO N ° 4. Capacitación de los técnicos de servicio.



ANEXO N N ° 5. Capacitación de los Técnicos de Servicio



ANEXO N ° 6. Capacitación de los técnicos de servicio



ANEXO N ° 7. Materiales e insumo de mantenimiento para un grupo electrógeno

GEP50-7(W)

OLYMPIAN™

Engine Model 1103A-33TG1
 Alternator Model GTA 201AE20
 Engine Build DK

The following parts should be considered for dealer stocking in line with territory population and generating set application conditions

Part Number	Description	Qty Per Generating Set	500 hrs	1000 hrs	5000 hrs	Minor Overhaul	Major Overhaul
Regular Service Items (Change every 500hrs or 1 year)							
901-047	AIR FILTER ELEMENT	1	1	2	10	1	1
10000-00399	FUEL FILTER ELEMENT	1	1	2	10	1	1
10000-06412	PRE-FUEL FILTER ELEMENT	1	1	2	10	1	1
901-102	OIL FILTER ELEMENT	1	1	2	10	1	1
Regular Service Items (Change every 1000hrs or 2 years)							
10000-00105	ROCKER COVER GASKET	1		1	5	1	1
10000-00672	FANBELT	1		1	5	1	1
Engine Top End							
10000-00051	ATOMISER	3				3	3
916-160	INLET VALVE STEM SEAL	3				3	3
10000-00118	EXHAUST VALVE STEM SEAL	3				3	3
10000-00071	CYLINDER HEAD GASKET	1				1	1
998-702	EXHAUST VALVE	3				3	3
998-701	INLET VALVE	3				3	3
998-698	THERMOSTAT KIT	1				1	1
10000-00116	TOP GASKET KIT	1				1	1
994-275	VALVE GUIDE	3				3	3
998-704	VALVE SPRING	3				3	3
622-333	LOW OIL PRESSURE SENDER	1				1	1
622-817	HIGH WATER TEMP SENDER	1				1	1
998-706	CYLINDER HEAD BOLT	5				5	5
998-707	CYLINDER HEAD BOLT	3				3	3
982-308	COTTER	6				6	6
998-699	HEATER PLUG	3				3	3
Engine Lower End							
10000-00266	SET OF PISTONS & RINGS	3					3
10000-10855	SET OF BIG END BEARINGS	1					1
936-080	SET OF MAIN BEARINGS	1					1
904-015	SET OF THRUST WASHERS	2					2
904-016	SET OF THRUST WASHERS	2					2
10000-00058	BOTTOM END GASKET KIT	1					1
998-712	REAR OIL SEAL	1					1
902-001	FRONT OIL SEAL	1					1
10000-00119	WATER PUMP REPAIR KIT	1					1
915-732	SMALL END BUSH	1					1
915-747	CONROD BOLT	2					2
10000-07538	FUEL PUMP	1					1
10000-16477	STARTER MOTOR	1					1
915-730	CHARGING ALTERNATOR	1					1
10000-00551	OIL PUMP	1					1

The above parts are correct at the time of printing for the engine serial number prefix (build number) stated above.

All part numbers should be checked on Compass for the serial number of your generating set.

Please consult the operator's manual for full details on Generating Set maintenance.

In line with our policy of continuous product development, we reserve the right to change specification.

ANEXO N ° 8. Check list de los Grupos Electrogenos



CHECK LIST-GRUPOS ELECTRÓGENOS



una empresa Ferrovial

FECHA Y HORA:

CLIENTE :

SERIE :

MODELO:

CODIGO:

HOROMETRO:

MOTOR	OK	RE	MA	NA	OBSERVACIONES
Indicador de servicio de los filtros de aire					
Filtro de Aire Primario y Secundario					
Tapa de aceite de Motor					
Brida					
Varilla de aceite					
Cobertor filtro de aire					
Turbo					
Silenciador					
Tubo flexible + abrazaderas y silenciador					
Estado de pintura del motor en general					
Codo del sistema de escape					
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	OK	RE	MA	NA	OBSERVACIONES
Manguera de entrada de refrigerante al radiador					
Radiador + manguera de desfogue					
Radiador + Tapa					
Ventilador + fajas () y guardas					
SISTEMA ELÉCTRICO DE CONTROL, ARRANQUE Y CARGA	OK	RE	MA	NA	OBSERVACIONES
Batería + cables soporte y Bornes					
Arrancador					
Sensor de temperatura					
Tarjeta ECM					
Altemador					
Power Wisard + AVR y llave termomagnética					
Pulsador de emergencia					
Ames eléctrico					
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	OK	RE	MA	NA	OBSERVACIONES
Filtro de combustible					
Pre filtro de Línea (Combustible)					
Bomba de levante (Eléctrico)					
Bomba de cebado manual					
Filtro separador de Agua (Combustible)					
Tanque de combustible + Tapa					
Tanque de combustible (indicar cantidad de combustible)					
Estado de mangueras y cañerías					
GENERADOR	OK	RE	MA	NA	OBSERVACIONES
Aisladores de vibración o soporte del Generador					
Voltaje					
Estado de pintura externa					
OTROS	OK	RE	MA	NA	OBSERVACIONES
Manual de operación y llaves					
Extintor					
Estado de pintura (cabina)					
Equipo Estándar o (Encapsulado)					
Barra a tierra					
Cortacorrente					
Mata chispas					
Porta Manuales					
Tapa para lluvia del silenciador					

OK = Bien RE= Regular MA= Mal N/A = No aplica

ENTREGADO POR:

JEFE/SUPERVISOR

CLIENTE

FIRMA

FIRMA

FIRMA