

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE
MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**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.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

LARISSA FHARIDE PACHECO BADO

Chiclayo, 16 de julio de 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.**

POR:

LARISSA FHARIDE PACHECO BADO

**Presentada a la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de
INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR

**Ing. Joselito Sánchez Pérez
PRESIDENTE**

**Mgtr. Ing. Sonia Salazar Zegarra
SECRETARIO**

**Mgtr. Ing. Alejandro Vera Lázaro
ASESOR**

DEDICATORIA

Dedicada a Dios en primer lugar,
y a toda mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial a mi asesor Ing. Alejandro Vera Lázaro por su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas.

A mis padres por enseñarme a ser mejor profesional y mejor persona.

RESUMEN

HYDRO PATAPO S.A.C., es una empresa de sociedad de derecho peruana, cuyo servicio se enfoca en el desarrollo de proyectos de energía renovables, por esta razón cuenta con máquinas como: excavadora, cortadora de concreto, compactadora, martillo hidráulico y cargador frontal. Actualmente la empresa viene aplicando solamente un mantenimiento correctivo, el cual se efectúa cuando los operarios, ante alguna falla de las máquinas se ven forzados a detener la producción, teniendo la empresa que contratar servicios de mantenimiento para reparar la avería y continuar con sus actividades, generando así pérdidas económicas, horas máquina, entre otros. Es por esto, que la presente investigación tiene por finalidad proponer la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para reducir las fallas de la maquinaria.

En la presente investigación se analizó la construcción de una minicentral hidroeléctrica realizada por la empresa en mención, en la región de Lambayeque. Se identificó los principales problemas con respecto al mantenimiento que se realiza, en donde se identificó un total de 334 fallas ocurridas equivalentes a 1 454 horas, destacando las máquinas críticas del proceso: excavadora y cargador frontal, en el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016.

Se establecieron los principales problemas de mantenimiento en las máquinas del proceso en donde se determinaron los indicadores de mantenimiento con respecto a las máquinas con las que cuenta la empresa, para conocer la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de las mismas. Posteriormente, se propuso un Sistema de Gestión de Mantenimiento Preventivo, basándose en la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, con el propósito de aumentar los indicadores antes mencionados, utilizando las herramientas básicas de dicha metodología.

Finalmente se realizó un análisis costo-beneficio de la propuesta para así determinar la inversión de la implementación de la propuesta. Para tener una mayor comprensión de la investigación realizada se presenta una comparación entre la pérdida monetaria de no contar con un sistema de mantenimiento que es de 125 939,06 dólares por el periodo de febrero de 2014 a julio 2016, con la implementación de un sistema de gestión mantenimiento el cual aumentará la vida útil de los activos y repercutirá positivamente en la parte monetaria el cual disminuirá en 21 933,84 dólares por año aproximado, brindando 1,52 dólares por cada dólar invertido, reduciendo el tiempo de inoperatividad en un 20, 58%.

Este sistema permitirá disminuir gradualmente las posibles averías existentes de la maquinaria, incrementando su disponibilidad y reduciendo los costos de operación, demostrando que es económicamente viable.

Palabras claves: HYDRO PATAPO S.A.C., Gestión de Mantenimiento Preventivo, falla

ABSTRACT

HYDRO PATAPO S.A.C., is a Peruvian law company whose services focuses on the development of renewable energy projects, for this reason it has machines such as excavator, concrete cutter, compactor, hydraulic hammer and front loader. Currently the company has been applying only a corrective maintenance, which is carried out when the operators, in the event of a machine failure are forced to stop the production, having the company to hire maintenance services to repair the damage and continue their activities, Generating economic losses, machine hours among others. This is why the present investigation aims to propose the implementation of a preventive maintenance management system based on RCM to reduce machine failures.

In the present investigation the construction of a mini hydroelectric power station was analyzed by the company in the Lambayeque region. The main problems were identified regarding the maintenance that is carried out; where a total of 334 faults occurred equivalent to 1 454 hours were identified, highlighting the critical machines of the process: excavator and frontal loader, in the period from February 2014 to July 2016.

The main problems of maintenance were established in the machines of the process, where the maintenance indicators were determined, in respect to the machines that the company has, to know the reliability, availability and maintainability of the same. Subsequently, a Preventive Maintenance Management System was proposed, based on the maintenance methodology focused on RCM reliability, with the purpose of increasing the indicators mentioned above, using the basic tools of this methodology.

Finally, a cost-benefit analysis of the proposal was made to determine the investment in the implementation of the proposal. To gain a better understanding of the research carried out, a comparison between the monetary loss of not having a maintenance system of 125 939,06 dollars, with the implementation of a maintenance management system which will increase the useful life of the assets and will have a positive impact on the monetary part which will decrease by 21 933,84 dollars per year, providing 1,52 dollars for every dollar invested, reducing the downtime in 20,58%.

This system will gradually reduce the potential damages of the machinery, increasing its availability and reducing operating costs, demonstrating that it is economically viable.

Key words: HYDRO PATAPO S.A.C., Management of Preventive Maintenance, failure.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INDICE	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	13
II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA.....	14
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	14
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	16
2.2.1. Mantenimiento.....	16
2.2.2. Funciones del Mantenimiento.....	16
2.2.3. Clases de Mantenimiento.....	17
2.2.4. Confiabilidad operacional.....	19
2.2.5. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.....	20
2.2.6. Análisis de modo y efectos de fallas (AMEF).....	24
2.2.6.1. Procedimiento para la elaboración del AMEF.....	25
2.2.6.2. Árbol lógico de Decisión.....	30
2.2.6.3. Hoja de decision RCM.....	31
2.2.7. Análisis de criticidad.....	35
2.2.8. Sistema de Gestión de Mantenimiento.....	37
2.2.9. Indicadores de productividad.....	38
2.2.9.1. Actividad de mantenimiento.....	38
2.2.9.2. Porcentaje de tiempo de parada.....	38
2.2.9.3. Disponibilidad del equipo.....	38
2.2.10. Indicadores de mantenimiento.....	39
2.2.10.1. Confiabilidad.....	39
2.2.10.2. Mantenibilidad.....	39
2.2.10.3. Disponibilidad.....	40
2.2.11. Principio de Pareto.....	40
2.2.12. Terminología.....	41
III. RESULTADOS.....	42
3.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA MAQUINARIA DE LA EMPRESA.....	42
3.1.1. Diagnóstico de la Situación Actual de las máquinas.....	42
3.1.1.1. La Empresa.....	42
3.1.1.2. Área de Operaciones.....	44
3.1.2. DIAGNÓSTICO DE LAS FALLAS EN LA MAQUINARIA EN EL PROCESO PRODUCTIVO.....	51
3.1.2.1. Análisis de la cantidad de fallas.....	66

3.1.2.2.	Implicancia económica.....	67
3.1.2.3.	Análisis de los indicadores	68
3.1.2.4.	Indicadores de mantenimiento en las máquinas	76
3.1.2.5.	Análisis de los indicadores de mantenimiento	83
3.1.2.6.	Actividad de mantenimiento	85
3.1.2.7.	Porcentaje de tiempo de parada.....	85
3.1.2.8.	Porcentaje de decremento de producción.....	86
3.2.	DETERMINAR LOS PUNTOS CRÍTICOS DE LAS FALLAS EN LAS MÁQUINAS	87
3.2.1.	Diagrama de Pareto y determinación de la máquina crítica.....	87
3.3.	DISEÑO DE LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN RCM	89
3.3.1.	DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.	89
3.3.2.	METODOLOGÍA DEL RCM.....	91
3.3.2.1.	PLANIFICACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	91
3.3.3.	ÁRBOL DE DECISIÓN	99
3.3.4.	ANÁLISIS DE MODO DE FALLA Y EFECTOS (AMFE).....	100
3.4.	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA PROPUESTA	106
3.4.1.	Costos del sistema de mantenimiento RCM.....	106
3.4.2.	Análisis costo-beneficio de la propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM.....	112
IV.	CONCLUSIONES	113
V.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
VI.	ANEXOS	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala para evaluar el grado de la severidad en el AMEF	27
Tabla 2. Escala para evaluar la ocurrencia en el AMEF	28
Tabla 3. Escala para evaluar la detección en el AMEF	29
Tabla 4. Criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo	37
Tabla 5. Máquinas de la empresa HYDRO PATAPO S.A.C. a julio 2016.....	48
Tabla 6. Número de Fallas por máquinas del año 2014	52
Tabla 7. Costo de Reparación por máquinas del año 2014	52
Tabla 8. Número de Fallas por máquinas del año 2015	53
Tabla 9. Costo de Reparación por máquinas del año 2015	53
Tabla 10. Número de Fallas por máquinas del año 2016	54
Tabla 11. Costo de Reparación por máquinas del año 2016	54
Tabla 12. Tiempo de inoperatividad de las máquinas 2014	65
Tabla 13. Tiempo de inoperatividad de las máquinas 2015	65
Tabla 14. Tiempo de inoperatividad de las máquinas 2016	65
Tabla 15. Fallas periodo febrero 2014 a julio de 2016.....	66
Tabla 16. Tiempo de reparación total de fallas periodo febrero 2014 a julio 2016.....	66
Tabla 17. Tiempo para reparar máquina y su implicancia económica	67
Tabla 18. Tiempo laborable total periodo febrero 2014 a julio 2016.....	69
Tabla 19. Tiempo total de operación (TTO) periodo febrero 2014 a julio 2016.....	70
Tabla 20. Tiempo total de operación (TTO) para cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016.....	71
Tabla 21. Tiempo medio para restaurar (MTTR) periodo febrero 2014 a julio 2016	72
Tabla 22. Tiempo medio para restaurar (MTTR) para cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016.....	73
Tabla 23. Tiempo medio entre falla (MTBF) periodo febrero 2014 a julio 2016	74
Tabla 24. Tiempo medio entre falla (MTBF) para cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016.....	75
Tabla 25. Confiabilidad de las máquinas de la empresa periodo febrero 2014 a julio 2016	76
Tabla 26. Confiabilidad por cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016.....	77
Tabla 27. Mantenibilidad de las máquinas de la empresa periodo febrero 2014 a julio 2016	78
Tabla 28. Mantenibilidad por cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016	79
Tabla 29. Disponibilidad de las máquinas de la empresa periodo febrero 2014 a julio 2016	81
Tabla 30. Disponibilidad por cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016.....	82
Tabla 31. Actividad de mantenimiento por cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016	85
Tabla 32. Porcentaje de tiempo de parada por máquina periodo febrero 2014 a julio 2016	86
Tabla 33. Porcentaje de decremento de producción por máquina periodo febrero 2014 a julio 2016.....	87
Tabla 34. Codificación maquinaria operativa.....	94

Tabla 35. Importancia de la maquinaria en el proceso	95
Tabla 36. Priorización para la apertura de camino/carretera según la importancia.....	95
Tabla 37. Rango horas de trabajo	95
Tabla 38. Horas de trabajo de la maquinaria	96
Tabla 39. Frecuencia de paro.....	96
Tabla 40. Mantenimiento de la maquinaria según la frecuencia de horas de paro	96
Tabla 41. Rangos de Seguridad	97
Tabla 42. Seguridad de la maquinaria en el proceso	97
Tabla 43. Número de fallas totales periodo 2014-2015.....	98
Tabla 44. Elementos y defectos de la máquina	98
Tabla 45. Componentes y funciones.....	99
Tabla 46. Hoja de Información de la máquina excavadora	101
Tabla 47. Hoja de Información de la máquina cargador frontal.....	102
Tabla 48. Hoja de Decisión de la máquina Excavadora	104
Tabla 49. Hoja de Decisión de la máquina Cargador Frontal	105
Tabla 50. Costos de capacitación para la implementación de la propuesta.....	107
Tabla 51. Costos de ejecución del Sistema de Gestión de Mantenimiento	108
Tabla 52. Costos de los repuestos para mantenimiento.....	110
Tabla 53. Costos totales de la implementación del Sistema.....	111
Tabla 54. Comparación mantenimiento actual y mantenimiento del sistema RCM	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Frentes de la confiabilidad operacional.....	19
Figura 2. Flujograma de implementación RCM.....	22
Figura 3. Árbol Lógico de Decisión para el análisis de fallas.....	31
Figura 4. Diagrama de Decisión RCM.....	33
Figura 5. Curva falla potencial - funcional.....	35
Figura 6. Matriz de criticidad.....	37
Figura 7. Organigrama de la empresa.....	43
Figura 8. Organigrama del Área de Operaciones de la empresa.....	44
Figura 9. Aguas descargadas del embalse Tinajones al canal Taymi.....	45
Figura 10. Área de Proyecto desde el canal hasta el reservorio.....	45
Figura 11. Diagrama del Proceso de Ejecución de la Obra.....	47
Figura 12. Máquina Excavadora Hidráulica Caterpillar 320.....	49
Figura 13. Máquina Cortadora de Concreto Honda Q450 13HP.....	49
Figura 14. Máquina Martillo Hidráulico Bosch GSH 27.....	50
Figura 15. Máquina Compactadora Kormax 7HP.....	50
Figura 16. Máquina Cargador Frontal Volvo.....	51
Figura 17. Número de fallas de máquina excavadora periodo 2014-2016.....	55
Figura 18. Relación de costos de repuestos y mano de obra de máquina excavadora periodo 2014-2016.....	56
Figura 19. Número de fallas de máquina cortadora de concreto periodo 2014-2016.....	57
Figura 20. Relación de costos de repuestos y mano de obra de máquina cortadora de concreto periodo 2014-2016.....	58
Figura 21. Número de fallas de máquina martillo demoledor periodo 2014- 2016.....	59
Figura 22. Relación de costos de repuestos y mano de obra de martillo demoledor periodo 2014-2016.....	60
Figura 23. Número de fallas de máquina compactadora 2014-2016.....	61
Figura 24. Relación de costos de repuestos y mano de obra de compactadora periodo 2014-2016.....	62
Figura 25. Número de fallas de máquina cargador frontal 2014-2016.....	63
Figura 26. Relación de costos de repuestos y mano de obra de cargador frontal 2014-2016.....	64
Figura 27. Variación del indicador de mantenimiento confiabilidad en el periodo de febrero 2014 a julio 2016.....	83
Figura 28. Variación del indicador de mantenimiento mantenibilidad en el periodo de febrero 2014 a julio 2016.....	84
Figura 29. Variación del indicador de mantenimiento disponibilidad en el periodo de febrero 2014 a julio 2016.....	84
Figura 30. Diagrama de Pareto del Tiempo de inoperatividad de las máquinas.....	88
Figura 31. Las siete preguntas del RCM.....	89
Figura 32. Árbol de decisión de máquina excavadora.....	100
Figura 33. Árbol de decisión de máquina cargador frontal.....	100

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formato para el análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)	116
Anexo 2. Hoja de Decisión RCM.....	116
Anexo 3. Utilización del software IBM-SPSS	118
Anexo 4. Datos de las fallas, costos y precios de la maquinaria de la empresa periodo febrero 2014 a julio 2016.....	121
Anexo 5. Sistema de Gestión de Mantenimiento Preventivo	138

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, las estrictas normas de calidad y la presión competitiva han obligado a las empresas a transformar sus departamentos de mantenimiento; El mantenimiento industrial, día a día, está traspasando barreras. En la actualidad muchas empresas aplican la frase “el mantenimiento es inversión, no gasto”.

La empresa HYDRO PATAPO S.A.C. es una empresa del rubro servicios ubicada en la región Lambayeque la cual se dedica al desarrollo de proyectos de energía renovable; actualmente cuenta con 2 proyectos de Minicentrales hidroeléctricas en la cuenca del río Chancay, región Lambayeque (Perú), uno en ejecución de una potencia instalada de 1 mega watt y otro en desarrollo de 0,4 mega watt. El proyecto tiene una concesión de 20 años en el gobierno regional. El Proyecto Minicentral hidroeléctrica Pátapo contribuirá con la producción de energía eléctrica renovable, beneficiando a la zona norte donde se ubica este proyecto. Como es conocido el uso de agua para la generación de energía eléctrica es del tipo no consultivo (no afecta la cantidad y calidad el agua) no generando impacto alguno.

Para la ejecución de las obras del proyecto se ha considerado utilizar maquinaria de construcción para ser utilizada en las actividades de excavación, compactación, transporte de agregados, preparación del concreto, las cuales son fundamentales para este tipo de proyectos. Estas maquinarias son del tipo pesado y por falta de infraestructura necesaria para la atención de las mismas y la falta de servicio en la zona del proyecto, es que se ocasionan paros en la obra debido a las fallas que se presentan.

La empresa hoy en día sobrepasa los 60 000 dólares anuales en reparaciones y repuestos para cubrir las fallas que se vienen presentando en el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016. Estas fallas se presentan puesto que las máquinas no cuentan con un mantenimiento preventivo originando paros que suelen detener la obra ocasionando así no solo molestias en el operario, si no también generándose pérdidas económicas.

Pero ¿Será posible reducir las fallas de la maquinaria mediante un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para la reducción de fallas de la maquinaria en la empresa HYDRO PATAPO S.A.C.?

Para responder a la interrogante se planteó el siguiente objetivo: Realizar una 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 PATAPO S.A.C. Para lograrlo se formularon los siguientes objetivos: El primer objetivo *Diagnóstico de la situación actual de la maquinaria de la empresa*. El segundo objetivo es *determinar los puntos críticos de las fallas en las máquinas*. Como tercer objetivo: *diseño de la propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM*, y como último y cuarto objetivo específico se tiene: *realizar el análisis costo-beneficio de la propuesta*.

El desarrollo de la propuesta contribuirá también con la satisfacción del cliente y con la mejora de los recursos y el rendimiento, es por esto la realización de la presente investigación.

II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Para que la elaboración de la investigación sea reconocida por la comunidad científica, se ha tomado en cuenta la opinión de diferentes artículos científicos, los cuales mantienen nexo y corresponden con el tema de gestión de mantenimiento, y al mismo campo en donde se desarrollará el proyecto.

Para Jiménez y Valencia (2012), en su trabajo sobre el “Sistema de gestión para mantenimiento de equipos eléctricos mediante indicadores de confiabilidad”, tiene como objetivo implementar un sistema de gestión óptimo para estructurar el mantenimiento de sistemas que administre y cuantifique la efectividad del manteniendo de quipos eléctricos mediante índices universales de confiabilidad. El trabajo mencionado nos habla sobre el control interno que se realizó dentro de una organización subcontratante para poder medir el desempeño de la empresa subcontratada en donde se desarrolló un software que no solo calcula e ilustra indicadores como la disponibilidad, fallas recurrentes, Pareto 80/20 y tiempo medio entre fallas, sino que también permite ingresar simultáneamente fallas en equipos y llevar un historial de las mismas para tener acceso a información detallada para lapsos de tiempo variables. En el lapso analizado, la empresa subcontratista tuvo resultados positivos debido a que su contrato les exige una disponibilidad mínima de 97,5% manteniendo en el periodo de un año una disponibilidad del 99,94%. En un lapso de tiempo particular seleccionado por el usuario el mínimo de disponibilidad fue del 98,88% el cual sigue siendo mejor al límite inferior admisible.

Para Rodríguez Pérez, Bonet Borjas y Pérez Quiñonez (2013) en su investigación “Propuesta de sistema de mantenimiento a los vehículos de transporte urbano y agrícola de una base de transporte de carga” tiene como objetivo proponer nuevos métodos de trabajo, metodologías, formatos para concebir nuevas cartas de mantenimiento diario, a la salida y a la llegada de cada viaje y formas para implantar e interrelacionar modernas filosofías de gestión del mantenimiento, además de aplicar técnicas matemáticas para validar resultados obtenidos por estudios cualitativos, las cuales brindaron valiosa información cuantitativa que permita una eficaz toma de decisiones. Las mejoras propuestas fueron implantadas ya en algunas empresas, mostrándose en la investigación después de haberse realizado un estudio técnico – económico como estas trajeron grandes beneficios económicos a dichas empresas, materializándose esto en considerables aumentos del coeficiente de disponibilidad técnica de la flota, así como estable funcionamiento de los vehículos durante su explotación. La metodología propuesta fue aplicada en una empresa transportista, cuyo parque de vehículo consistía en una numerosa flota de cuñas tractivas marca Freightliner con capacidad de carga de 35 toneladas. Se analizaron trece de los dieciséis parámetros para la clasificación de las máquinas resultando que el parque de vehículos posee categoría B, por lo que le corresponde un sistema de mantenimiento preventivo con diagnóstico incorporado, estimulándose así la correlación predictiva + preventivo. Luego de la aplicación de estos pasos y de otros que pertenecen a la metodología de la técnica Delphi, se pudo llegar a la conclusión de que, el ciclo más factible es la propuesta número 1, en la cual el mantenimiento 1 se realiza a los 20 000 km, el mantenimiento 2, a los 40 000 km, a los 60 000 km se

vuelve a realizar el mantenimiento 1 y a los 80 000 km, el mantenimiento 3. Para el caso particular de esta base de transporte que cuenta con 68 cuñas tractivas y un ahorro por cada cuña de 246 CUC, por concepto de mantenimiento, se logra un ahorro total en el parque de 16 728 CUC. Con esta nueva propuesta se logra un ahorro económico importante debido, principalmente a la disminución en el número de intervenciones del mantenimiento.

Para Azoy Capote (2014) en su investigación “Método para el cálculo de indicadores de mantenimiento” tiene como objetivo el desarrollo de una metodología para el cálculo de indicadores de mantenimiento. El estudio se enfocó en cuatro de los principales indicadores de mantenimiento clasificados como de clase mundial que posibilitan caracterizar la gestión de los servicios técnicos acorde con las condiciones en que se desarrollan en los momentos actuales los servicios técnicos en las Unidades Empresariales de Base Integral de Servicios Técnicos. El método está destinado al cálculo de cinco de los principales indicadores de mantenimiento para gestionar la función mantenimiento: el tiempo medio entre fallas (TMEF), tiempo medio para la reparación (TMPR), disponibilidad de equipo (DISP), costo de mantenimiento por facturación y costo para la eliminación de las fallas. Para el cálculo se toma como fuente primaria de información dos de los principales medios de control utilizados en los talleres de mantenimiento y reparaciones en Cuba: las órdenes de trabajo al taller y las tarjetas de control de consumo de combustible y lubricantes. Después de analizar el método desarrollado, se evidencia la posibilidad de evaluar por primera vez la gestión de mantenimiento tanto en los talleres de las Unidades Empresariales de Base Integrales de Servicios Técnicos, como en el resto de los talleres existentes en los diferentes municipios. Mediante la aplicación del método desarrollado se pueden elaborar las medidas técnico-organizativas para el mejoramiento de la gestión en los diferentes niveles de talleres.

Uzcátegui-Gutiérrez, Valera-Cárdenas y Díaz-García (2016) en el artículo titulado “Aplicación de herramientas de clase mundial para la gestión de mantenimiento en empresas cementeras basado en la metodología MCC”, se plantea el diseño de un marco referencial para la aplicación de herramientas para la gestión mantenimiento de empresas cementeras, aplicando la metodología del MCC. La categoría de clase mundial en mantenimiento se apoya en metodologías como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), la cual ayuda a determinar acciones concretas de mantenimiento, identificando fallas y procedimientos de corrección de las mismas. Se desarrolló una investigación de tipo descriptiva y de campo, en la cual se consideró como unidad de análisis la Fábrica Nacional de Cemento, Planta Táchira en Venezuela. A tal efecto, la técnica de recolección de datos constató indicios escritos y el instrumento seleccionado fue una matriz de categorías. Como resultado se diagnosticó que la gestión de mantenimiento en la empresa no considera los principios básicos de la confiabilidad de los activos. Se identificaron las etapas de aplicación de las herramientas de confiabilidad: análisis de criticidad, análisis de modos y efectos de fallas, y análisis de causa – raíz, a través del cumplimiento de tres fases contentivas en un sistema que involucra insumos, procesos y resultados en cada fase; para finalmente indicar las pautas a seguir en la aplicación de las mencionadas herramientas.

Para Mohamed A. Sayed (2015) en su investigación “Impact of Total Productive Maintenance Methodology on the Performance” se centra en los problemas internos, tales como el: rendimiento, en donde los pilares más importantes de las operaciones de producción son: empleados, máquinas y equipos. Considera que el mantenimiento representa la actividad más importante que hace que las máquinas y los equipos funcionen de manera eficiente. Esta investigación presenta una metodología para mejorar el rendimiento (operador y el equipo) a través de la propuesta de modelo de TPM. Además, se indica la importancia del mantenimiento que minimiza o elimina los problemas de producción y aumenta la productividad de la organización. La implementación del modelo propuesto TPM se llevó a cabo en una empresa de manufactura la cual cuenta con 93 máquinas y equipos (diferentes tipos) a lo largo de tres meses. La gestión de la organización lleva a cabo una evaluación después de tres meses a partir de la ejecución. Las conclusiones y recomendaciones de este estudio para la implementación exitosa del modelo TPM arrojó una mejora del 72% en el % de los defectos de producción, 81,25% en el % de averías en máquinas, un 26,2% en los tiempos del ciclo del producto, 27,14% en la satisfacción de los empleados y un 61,7% en los costos de reparación de las máquinas.

2.2.FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1.Mantenimiento

Para Cuartas Pérez (2008) es el trabajo emprendido para cuidar y restaurar hasta un nivel económico, todos y cada uno de los medios de producción existentes en una planta. También se puede definir como el conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.

2.2.2.Funciones del Mantenimiento

Según Gómez de León (1998), afirma que las funciones básicas del mantenimiento se pueden resumir en el cumplimiento de todos los trabajos necesarios para establecer y mantener el equipo de producción de modo que cumpla los requisitos normales del proceso.

El campo de acción de las actividades de un departamento de ingeniería del mantenimiento puede incluir las siguientes responsabilidades:

- Mantener los equipos e instalaciones en condiciones operativas eficaces y seguras.
- Efectuar un control del estado de los equipos, así como de su disponibilidad.
- Realizar los estudios necesarios para reducir el número de averías imprevistas.
- En función de los datos históricos disponibles, efectuar una previsión de los repuestos de almacén necesarios.
- Intervenir en los proyectos de modificación del diseño de equipos e instalaciones.
- Realizar el seguimiento de los costes de mantenimiento.
- Preservación de locales, incluyendo la protección contra incendios.
- Otros.

2.2.3. Clases de Mantenimiento

Existen tres tipos de mantenimiento reconocido, los cuales, en función del momento en el que se realiza, el objetivo específico para el cual son puestos marcha y en función a los recursos utilizados.

A. Mantenimiento Correctivo

Según Dixon Campbell, Duffuaa y Raouh (2000), este tipo de mantenimiento sólo se realiza cuando el equipo es incapaz de seguir operando. No hay elemento de planeación para este tipo de mantenimiento. Este tipo de estrategia a veces se conoce como estrategia operación hasta que falle.

Este modelo de mantenimiento es el más común en la pequeña y mediana empresa y se basa en la internación en el caso de avería, manifestada con la reacción de un equipo o instalación, es decir la interrupción de la producción. Adoptar este tipo de mantenimiento supone asumir algunos inconvenientes respecto de la maquinaria entre los que Gómez de León (1998) cita:

- Las averías se producen generalmente de forma imprevista, lo que puede ocasionar trastornos en la producción, que pueden ir desde ligeras pérdidas de tiempo hasta la parada de la producción.
- Las averías, al ser imprevistas, suelen ser graves para el equipo, con lo que su reparación puede ser costosa.
- Por tratarse de averías inesperadas, el fallo podría venir acompañado de algún siniestro, lo que obviamente puede tener consecuencias muy negativas para la seguridad del personal o de las instalaciones.

Para M. Fernández Cabanas, M. García Melero, y otros (1998) algunas ventajas para este mantenimiento es que se puede realizar la eliminación de la avería o de causas. Para el caso de la primera, la reparación se realiza de emergencia, efectuando la sustitución de los elementos averiados. Para el segundo caso, aparte de la sustitución de los elementos defectuosos, consiste en la eliminación de la causa que originó la avería. Otras ventajas que presentan son:

- Máximo aprovechamiento de la reserva de uno de los equipos: se conoce como tal a su tiempo de vida útil remanente.
- No se requiere una elevada capacidad de análisis ni infraestructura técnica o administrativa.

- **Como desventajas presentan:**

- a) Interrupciones impredecibles de la producción que pueden provocar daños y averías en cadena de proporciones desconocidas.
- b) Reducción de la vida útil de equipos e instalaciones.
- c) Baja seguridad en la producción.
- d) Necesidad de un “stock” de repuestos de dimensiones considerables.
- e) Riesgo de fallo de elementos de difícil adquisición con el consecuente tiempo de espera.
- f) Baja calidad del mantenimiento como consecuencia del poco tiempo disponible para realizar las reparaciones.

B. Mantenimiento Preventivo

Según Orcajo, y otros (1998) este tipo de mantenimiento surge debido a la necesidad de remedas inconvenientes del mantenimiento correctivo. A diferencia del anterior, la sustitución de las piezas o partes del sistema que pudieran causar averías se realiza con una cierta periodicidad determinada mediante criterios estadísticos. Este conjunto de actividades que se llevan a cabo en un equipo, instrumento o estructura, tienen el propósito de que opere a su máxima eficiencia, evitando que se produzcan paradas forzadas o imprevistas. Este sistema requiere un alto grado de conocimiento y una organización muy eficiente. Implica la elaboración de un plan de inspecciones para los distintos equipos de la planta, a través de una buena planificación, programación, control y ejecución de actividades a fin de descubrir y corregir deficiencias que posteriormente puedan ser causa de daños más graves.

Una de las ventajas de este tipo de mantenimiento para M. Fernández Cabanas, M. García Melero, y otros (1998) es la importante reducción de las paradas eventuales, obtenida al introducir una cierta periodicidad en la observación y reparación del sistema.

Como desventajas nos menciona las que se derivan de la dificultad que entraña estimar de forma correcta los tiempos necesarios para realizar las intervenciones: si se interrumpe el funcionamiento normal de un sistema y se altera su vida útil de forma innecesaria, su reserva de uso será totalmente desaprovechada, además de producir una acumulación inútil de actividades preventivas que aumentan el gasto y reducen la disponibilidad. Por otro lado, si la programación preventiva se retrasa con respecto a la avería, el mantenimiento correctivo sustituye al preventivo con lo que vuelven a aparecer los inconvenientes citados anteriormente.

C. Mantenimiento Predictivo

Para Cuartas Pérez (2008) este tipo de mantenimiento consiste en efectuar una serie de mediciones o ensayos no destructivos con equipos sofisticados a todas aquellas partes de la maquinaria susceptibles de deterioro, pudiendo con ello anticiparse a la falla catastrófica. La mayoría de estas mediciones se efectúan con el equipo en marcha y sin interrumpir la producción.

Según Gomez y Bello (2013) existen ventajas y desventajas respecto mantenimiento predictivo con respecto a la revisión periódica que se realiza a través de listas de chequeo que indican parámetros y respecto a las características que se establecen, así como también observaciones puntuales. Entre las que se mencionan:

➤ Ventajas

- Da la oportunidad a la empresa de realizar un proceso de producción más continuo puesto que entre revisiones si se generan nuevos cambios se hace una pausa mínima para resolverlos y el proceso siempre será constante y continuo.
- Los equipos y sus repuestos durarán más, pues gracias a revisiones periódicas cumplen su ciclo de vida correspondiente.

- Se genera mayor confiabilidad entre cliente y propietario puesto que al certificar dichas revisiones se obtienen resultados más exactos.
- Se ahorra dinero en daños futuros y predecibles, se corrige el error antes de que suceda y a corto plazo.

➤ **Desventajas**

- Si hay un daño inmediato y necesita reparación pronta se requiere esperar pues las urgencias también son programadas.
- Debe contarse con un personal altamente calificado.
- Se requieren equipos más costosos y actualizados.

Este tipo de mantenimiento es costoso pero su información es valiosa para llevar a cabo un buen programa. Los ensayos más frecuentes según Cuartas Pérez (2008) son:

- Obstrucción: Mediante el análisis de partículas presentes en el aceite se puede determinar dónde está ocurriendo un desgaste excesivo.
- Espesor de paredes: empleado en tanques.
- Vibraciones: Utilizado para saber el estado de los rodamientos y desalineamiento en los equipos.
- Altas temperaturas.

2.2.4. Confiabilidad operacional

La confiabilidad operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, estrategias modernas y metodologías de análisis, para optimizar la gestión, la planeación, ejecución y control de la producción industrial. Además, menciona que para mejorar la confiabilidad operacional se debe involucrar cambios en la cultura de la empresa, generando una organización diferente con un amplio sentido de la productividad y con una visión de los objetivos de negocio. (García Palencia 2013).

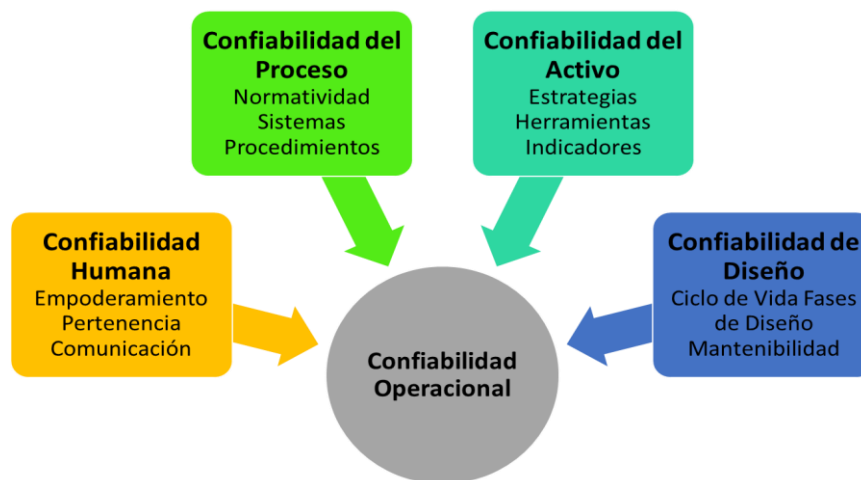


Figura 1. Frentes de la confiabilidad operacional

Fuente: García Palencia (2013)

La confiabilidad operacional es la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. Es importante, puntualizar que, en un programa de optimización de la confiabilidad operacional de un sistema, es necesario el análisis de los siguientes cuatro parámetros operacionales: condición humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad y confiabilidad de los equipos. (Amendola 2006)

2.2.5. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Según Amendola (2011) el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad fue desarrollado en un principio por la industria de la aviación comercial de los Estados Unidos, en cooperación con entidades gubernamentales como la NASA y privadas como la Boeing (constructor de aviones). Desde 1974, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, ha usado el RCM, como la filosofía de mantenimiento de sus sistemas militares aéreos. El éxito del RCM en el sector de la aviación, ha permitido que otros sectores tales como el de generación de energía (plantas nucleares y centrales termoeléctricas), petroleros, químicos, gas, refinación y la industria de manufactura, se interesen en implantar esta filosofía de gestión del mantenimiento, adecuándola a sus necesidades de operaciones.

Un aspecto favorable de la filosofía del RCM, es que la misma promueve el uso de las nuevas tecnologías desarrolladas para el campo del mantenimiento. La aplicación adecuada de las nuevas técnicas de mantenimiento bajo el enfoque del RCM, permiten de forma eficiente, optimizar los procesos de producción y disminuir al máximo los posibles riesgos sobre la seguridad personal y el ambiente, que traen consigo los fallos de los activos en un contexto operacional específico.

Esta unidad tiene la finalidad de servir de guía en la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para los sistemas asociados a plantas industriales, de forma de poder reforzar la Confiabilidad Operacional en el contexto de los objetivos del negocio.

A. Premisas

El RCM se basa en las siguientes premisas:

- Análisis enfocado en funciones.
- Análisis realizado por equipos naturales de trabajo (operaciones, mantenimiento, especialistas técnicos) conducidos por un facilitador, experto en la aplicación de la metodología.

B. Implementación del RCM

Para Gangi, y otros (2012), la metodología propuesta por el RCM parte de un análisis tipo FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), desarrollado en un formato denominado “Hoja de Información RCM”, donde se describe para cada equipo la siguiente información: Función, fallo función, modo de falla, y efecto de la falla.

A partir de la Hoja de Información y utilizando el “Flujograma de implementación RCM” (figura 2), a través de una secuencia lógica de análisis se

obtiene el listado de las tareas de mantenimiento a desarrollar. Para cada Fallo de Función establecido en la Hoja de Información, se recorre el Diagrama de Decisión desde la parte superior izquierda hacia la parte derecha y hacia abajo respondiendo a las preguntas planteadas en dicho diagrama (Moubray, 1997).

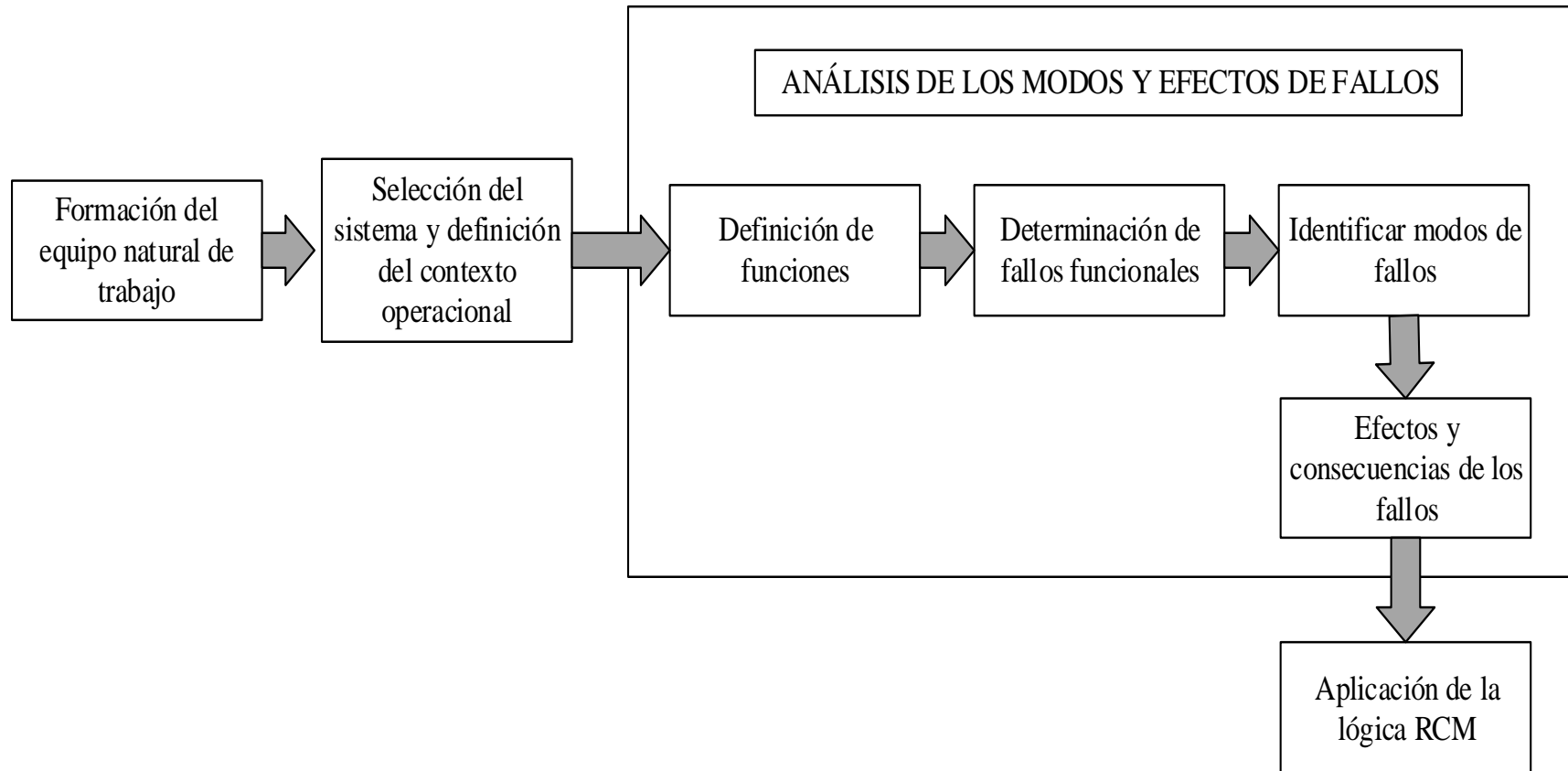


Figura 2. Flujo de implementación RCM
Fuente: (Parra Márquez y Crespor Márquez 2012)

De acuerdo con la norma SAE – JA 1011 editada en agosto de 1999, un programa de RCM debe garantizar que las siguientes siete preguntas básicas sean contestadas satisfactoriamente en la secuencia mostrada:

1. ¿Cuáles son las funciones principales asociadas al activo en su actual contexto operacional? (funciones)
2. ¿De qué manera no se satisfacen sus funciones? (Fallas funcionales)
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? (modos de fallo)
4. ¿Qué sucede cuando ocurren las fallas? (efecto de la falla)
5. ¿De qué manera puede afectar cada tipo de fallas? (consecuencia de las fallas)
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir, o para predecir las fallas? (Tareas probables e intervalos de las tareas)
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (acciones preestablecidas)

El resultado de cada análisis de RCM, es una lista de responsabilidades de mantenimiento que permiten aumentar la efectividad, confiabilidad, disponibilidad y rendimiento operativo del equipo, con un alto nivel de eficacia en costos. El éxito del RCM se debe a que se convierten hoy en día, en una estrategia principal de las empresas de clase mundial.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad asegura que se emprendan las acciones correctas de mantenimiento preventivo o predictivo y eliminan aquellas tareas que no producen ningún impacto en la frecuencia de fallas. Debido al enfoque riguroso para definir funciones, normas, mecanismo de falla, efectos y grado crítico, el sistema del equipo que está bajo revisión se entiende mucho mejor que antes de la revisión. El resultado de cada estudio del MCC del sistema de un equipo es una lista de acciones de mantenimiento, programadas y responsabilidades. Estas, a su vez, dan por resultado una mejor disponibilidad, confiabilidad y rendimiento operativo del equipo y eficacia en costos. Aun cuando el MCC favorece las tácticas del mantenimiento centrado en las condiciones, si la falla no da motivo a una preocupación en cuanto a la seguridad y no tienen un impacto económicamente significativo en la producción, una de las opciones presentadas en el árbol lógico del MCC es operar el equipo hasta que falle (es decir, no hay mantenimiento programado). (Duffuaa, Raouf y Dixon 2012)

Sostienen que el RCM sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con su respectiva frecuencia a los activos más importantes de un contexto operacional. Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de los activos de un determinado contexto operacional, realizado por un equipo natural de trabajo. El esfuerzo desarrollado por el equipo natural permite generar un sistema de gestión de mantenimiento flexible, que se adapta a las necesidades reales de manteniendo de la organización, tomando en cuenta, la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón coste/beneficio. (Parra Marquez y Crespo Marquez 2012)

2.2.6. Análisis de modo y efectos de fallas (AMEF)

El Análisis de modo de falla y efectos es la herramienta básica del RCM. El AMEF es un método que permite establecer los modos de fallas de los componentes de un equipo o sistema, el impacto y frecuencia con que se presentan. (Garcia 2012)

De esta forma se puede clasificar las fallas por orden de importancia, logrando especificar las tareas de mantenimiento para las áreas que están generando un mayor impacto económico, con el fin de mitigarlas o eliminarlas completamente. Son necesarias 5 etapas para el AMEF:

- Definir los equipos a evaluar.
- Identificar las funciones de cada equipo.
- Determinar las fallas funcionales.
- Determinar los modos de fallas.
- Determinar los efectos de falla.

El AMEF está reflejado en la norma UNE 20812, y se basa en hacer un proceso sistemático y documentado de análisis básicamente cualitativo que revisa y estudia en profundidad la fiabilidad de un sistema y de sus subsistemas. Además, que el AMEF considera las averías que pueden producirse en los componentes de un determinado sistema, pero, salvo excepciones a aportar por los que realizan el estudio, no tiene un sí mismo en cuenta la combinación de fallos cuya aparición simultánea puede pasar de ser una avería leve a un fallo catastrófico que impidiera al sistema dejar de cumplir su función. (Gonzales Fernandez 2011)

El AMEF es la herramienta principal del RCM para optimizar la gestión del mantenimiento en una organización determinada ya que ayuda a responder las primeras cinco preguntas básicas del RCM. El AMEF es un método sistemático que permite identificar los problemas antes de que ocurran y puedan afectar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. A partir del análisis realizado por los grupos de trabajo RCM a los distintos activos en su contexto operacional, se obtiene la información necesaria para prevenir las consecuencias y los efectos de los posibles fallos a partir de la selección adecuada de las actividades y mantenimiento. Estas actividades son:

- Definición de funciones.
- Definición de fallos funcionales.
- Definición de modo de fallos.
- Establecer efectos y consecuencias asociadas.

En el anexo 1 se puede observar el formato que permite documentar el análisis de modo y efecto de fallas, el cual será usado en esta investigación, siendo este la Hoja de Información de RCM

2.2.6.1. Procedimiento para la elaboración del AMEF

A. Determinar el proceso o producto a analizar

- **AMEF de diseño (FMAD):** Enumerar que es lo que se espera del diseño del producto, que es lo que quiere y necesita el cliente y cuales con los requerimientos de producción. Así mismo listar el flujo que seguirá el producto a diseñar, comenzando desde el abastecimiento de materia prima, el (los) proceso(s) de producción hasta la utilización del producto por el usuario final. Determinar las áreas que sean más sensibles a posibles fallas.
- **AMEF de procesos (AMEFP):** Listar el flujo del proceso que se esté desarrollando, comenzando desde el abastecimiento de la materia prima, el proceso de transformación hasta la entrega al cliente (proceso siguiente). Determinar las áreas que sean más sensibles a posibles fallas. En el caso de empresas de servicios no hay materias primas, para estos casos se toman en cuenta entradas del proceso.

En este punto es importante:

- Desarrollar listas de entradas, salidas y características / artículos – diagramas de bloque de referencia.
- Evaluar entradas y características de la función requerida para producir la salida.
- Evaluar interfaz entre las funciones para verificar que todos los posibles efectos sean analizados.
- Asumir que las partes se manufacturan de acuerdo con la intención del diseño.

B. Establecer los modos potenciales de falla

Para cada una de las áreas sensibles a fallas determinadas en el punto anterior se deben establecer los modos de fallas posibles. Modo de falla es la manera en que podría presentarse una falla o defecto. Para determinarlas nos cuestionamos ¿De qué forma podría fallar la parte o proceso? (roto, flojo, fracturado, equivocado, deformado, agrietado, mal ensamblado, fugas, mal dimensionado).

C. Determinar el efecto de la falla

Efecto: cuando el modo de falla no se previene ni corrige, el cliente o el consumidor final pueden ser afectados. (Deterioro prematuro, ruidoso, operación errática, claridad insuficiente, paros de línea)

D. Determinar la causa de la falla

Causa: es una deficiencia que se genera en el modo de falla.

Las causas son fuentes de variabilidad asociada con variables de entrada claves.

- Causas relacionadas con el diseño (característica de la parte)
 - ✓ Selección de material

- ✓ Tolerancias/valores objetivos
- ✓ Configuración
- ✓ Componente de modos de falla a nivel de componente
- Causas que no pueden ser entradas de diseño, tales como:
 - ✓ Ambiente, vibración, aspecto térmico
- Mecanismos de falla
 - ✓ Rendimiento, fatiga, corrosión, Obstrucción

E. Describir las condiciones actuales

Anotar los controles actuales que estén dirigidos a prevenir o detectar la causa de la falla.

- Análisis de elementos limitados
 - Revisiones de diseño
 - Prototipo de prueba
 - Prueba acelerada
- ✓ Primera línea de defensa: evitar o eliminar causas de falla.
 - ✓ Segunda línea de defensa: identificar o detectar falla anticipadamente.
 - ✓ Tercera línea de defensa: reducir impactos/consecuencias de falla

F. Determinar el grado de severidad

Para estimar el grado de severidad, se debe de tomar en cuenta el efecto de la falla en el cliente. Se utiliza una escala de 1 a 10: el “1” indica una consecuencia sin efecto. El “10” indica una consecuencia grave.

Tabla 1. Escala para evaluar el grado de la severidad en el AMEF

Índice de Severidad del Fallo (S)		Valores
Escasa	La falla del Equipo podría no causar problemas de seguridad o al medio ambiente del área circundante.	1
	La falla del Equipo no afecta a la especificación del producto o su rendimiento.	
	No hay tiempo de interrupción de la línea productiva.	
Baja	La falla del Equipo podría causar algunos problemas leves de seguridad o al medio ambiente del área circundante.	2-3
	La falla del Equipo afectará levemente la especificación del producto o su rendimiento.	
	El tiempo de interrupción de la línea productiva debido a la falla del Equipo es de menos de 15 minutos.	
Moderada	La falla del Equipo podría causar algunos problemas de seguridad o al medio ambiente del área circundante.	4-5-6
	La falla del Equipo podría causar un volumen moderado de producción fuera de especificación o afectar moderadamente el rendimiento.	
	El tiempo de interrupción de la línea productiva debido a la falla del Equipo es de menos de 15 minutos hasta 1 hora máximo.	
Alta	La falla del Equipo podría causar algunos problemas de seguridad o al medio ambiente del área circundante.	7-8
	La falla del Equipo podría causar un volumen moderado de producción fuera de especificación o afectar moderadamente el rendimiento.	
	El tiempo de interrupción de la línea productiva debido a la falla del Equipo puede ser desde 1 horas hasta 4 horas máximo.	
Muy Alta	La falla del Equipo podría causar serios problemas de seguridad o al medio ambiente del área circundante.	9-10
	La falla del Equipo podría causar un volumen de producción importante fuera de especificación o afectar seriamente el rendimiento.	
	El tiempo de interrupción de la línea productiva debido a la falla del Equipo puede ser de 4 horas o más.	

Fuente: (Moubray 2004)

G. Determinar el grado de ocurrencia

Es necesario estimar el grado de ocurrencia de la causa de la falla potencial. Se utiliza una escala de evaluación del 1 al 10. El “1” indica remota probabilidad de ocurrencia, el “10” indica muy alta probabilidad de ocurrencia.

Tabla 2. Escala para evaluar la ocurrencia en el AMEF

Índice de Ocurrencia (O)		Valores
Escasa	Probabilidad de que ese Modo de Fallo, se produzca por esa causa.	1
	Está establecido Mantenimiento predictivo.	
	Experiencia no concurrente o muy remota.	
Baja	Probabilidad de que ese Modo de Fallo, se produzca por esa causa.	2-3
	Está establecido Mantenimiento predictivo y Auto Control.	
	Experiencia no concurrente o muy remota.	
Mediana	Probabilidad de que ese Modo de Fallo, se produzca por esa causa.	4-5
	Establecido Mantenimiento preventivo y Auto Control no eficaz.	
	Experiencias concurrentes.	
Alta	Probabilidad de que ese Modo de Fallo, se produzca por esa causa.	6-7-8
	No hay establecido Auto Control.	
	Experiencias concurrentes	
Muy Alta	Probabilidad de que ese Modo de Fallo, se produzca por esa causa	9-10
	No hay establecido Auto Control y Auto Control.	
	Experiencias concurrentes.	

Fuente: (Moubray 2004)

H. Determinar el grado de detención

Se estimará la probabilidad de que el modo de falla potencial sea detectado antes de que llegue el cliente. El “1” indicara alta probabilidad de que la falla se pueda detectar. El “10” indica que es importante ser detectada.

Tabla 3. Escala para evaluar la detección en el AMEF

Índice de No Detección (ND)		Valores
Remota	Posibilidad de que el fallo no sea detectado.	1
	Controles están concebidos para detectarlo, pero puede pasar desapercibido.	
	Puede ser reparado sin afectación a la producción.	
Poca	Posibilidad de que el fallo no sea detectado.	2-3
	Controles están concebidos para detectarlo, pero puede pasar desapercibido.	
	Puede ser reparado afectando la producción.	
Mediana	Posibilidad de que el fallo no sea detectado.	4-5
	Existen controles para detectarlo, pero no se aplican.	
	Puede ser reparado afectando la producción.	
Alta	Posibilidad de que el fallo no sea detectado, es posible su detección.	6-7-8
	Controles no están concebidos para detectarlo, pero el defecto puede detectarse.	
	Puede ser reparado afectando la producción.	
Muy Alta	Posibilidad de que el fallo no se detectado, es posible su detección.	9-10
	Controles no están concebidos para detectarlo y con toda seguridad el efecto pasa.	
	Puede ser reparado afectando la producción.	

Fuente: (Moubray 2004)

I. Calcular el número de prioridad de riesgo (NPR)

Es un valor que establece una jerarquización de los problemas a través de la multiplicación de grado de ocurrencia, severidad y detección, este provee la prioridad con la que debe de atacarse cada modo de falla, identificando ítems críticos.

$$\text{NPR} = \text{Grado de ocurrencia} \times \text{Severidad} \times \text{Detección}$$

Prioridad de NPR:

- 500 – 1000 Alto riesgo de falla
- 125 – 499 Riesgo de falla medio
- 1 – 24 Riesgo de falla bajo
- 0 No existe riesgo de falla

Se deben atacar los problemas con NPR alto, así como aquellos que tengan un alto grado de ocurrencia no importando si el NPR es alto o bajo.

J. Acciones recomendadas

Anotar la descripción de las acciones preventivas o correctivas recomendadas, incluyendo responsables de las mismas.

Anotando la fecha compromiso de implantación. Se puede recomendar acciones encaminadas hacia:

- Eliminar o disminuir la ocurrencia de la causa del modo de falla. (modificaciones al diseño o al proceso, implementación de métodos estadísticos, ajuste herramental, etc.)
- Reducir la severidad del modo de falla. (modificaciones en el diseño del producto o proceso)
- Incrementar la probabilidad de detección. (modificaciones en el diseño del producto o proceso para ayudar a la detección)

K. Una vez realizadas las acciones correctivas o preventivas, se recalcula el grado de ocurrencia, severidad, detección y el NPR.

L. Cada vez que haya alguna modificación en el proceso o en el producto se debe actualizar el AMEF.

M. Determinar el proceso o producto a analizar

2.2.6.2.Árbol lógico de Decisión

El árbol lógico de decisión es usado para determinar las tareas de mantenimiento aplicables al equipo, el objetivo de estas tareas es identificar y prevenir la deterioración, restaurar el equipo a condiciones aceptables de operación en la que pueda desempeñar la función para la que fue requerida, a través de; lubricación y servicio, chequeos visuales, inspecciones, pruebas funcionales, monitoreo de la condición, restauración y reemplazo. (Ricky y Mobley 2003).

El árbol lógico de decisión utiliza un grupo secuencial de preguntas binarias (con respuesta sí/no) para clasificar cada falla funcional, el riesgo es que, si se procede con el análisis con información inadecuada o incompleta, puede llevar a la ocurrencia de fallas o a tener tareas innecesarias. (Ricky y Mobley 2003).

Para su elaboración se realiza un diagrama de Árbol de Fallas que es como un árbol genealógico que inicia con una falla y sigue hacia abajo con las causas, cada nivel indica una opción más precisa de falla. El cuestionamiento es en retrospectiva ¿si yo quisiera causar este problema, ¿cómo lo haría? y se responden todas las posibles formas de hacerlo. (Borris 2005).

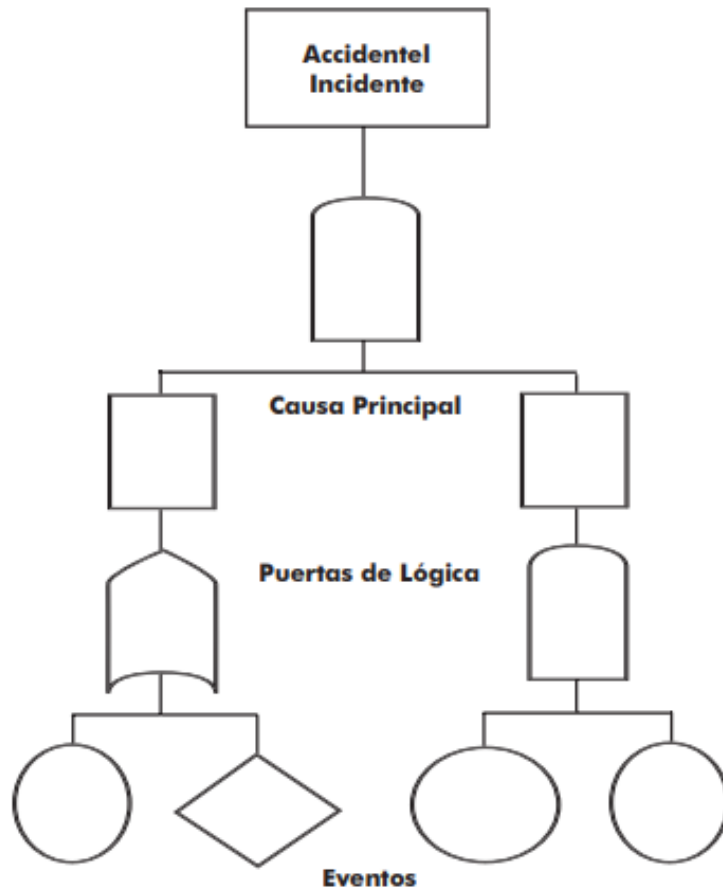


Figura 3. Árbol Lógico de Decisión para el análisis de fallas
Fuente: TDI (2006)

2.2.6.3. Hoja de decisión RCM

La hoja de decisión R.C.M. es una herramienta que se utiliza para registrar las respuestas a las preguntas del diagrama de decisión. También posibilita elegir de manera óptima la actividad de mantenimiento adecuada para cada máquina, y así eludir posibles efectos de cada modo de falla.

Existe una hoja de decisión R.C.M., que resume los criterios más importantes e integra todos los procesos de decisión en una estructura estratégica única, puede ser visto en la figura 4 y se aplica a cada uno de los modos de falla listados en la Hoja de información RCM (ver anexo 1).

Las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión deben ser asentadas en la hoja de decisión mostrada en la figura 4 y en función de dichas respuestas se registra:

- Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará.
- Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- Casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran.

El formato de la hoja de decisión R.C.M. (ver anexo 2), se encuentra dividida en 16 columnas, las cuales se encuentran encabezadas por F (función), FF (falla funcional) y FM (modo de falla), los cuales sirven para identificar los modos de fallo bajo consideración.

.

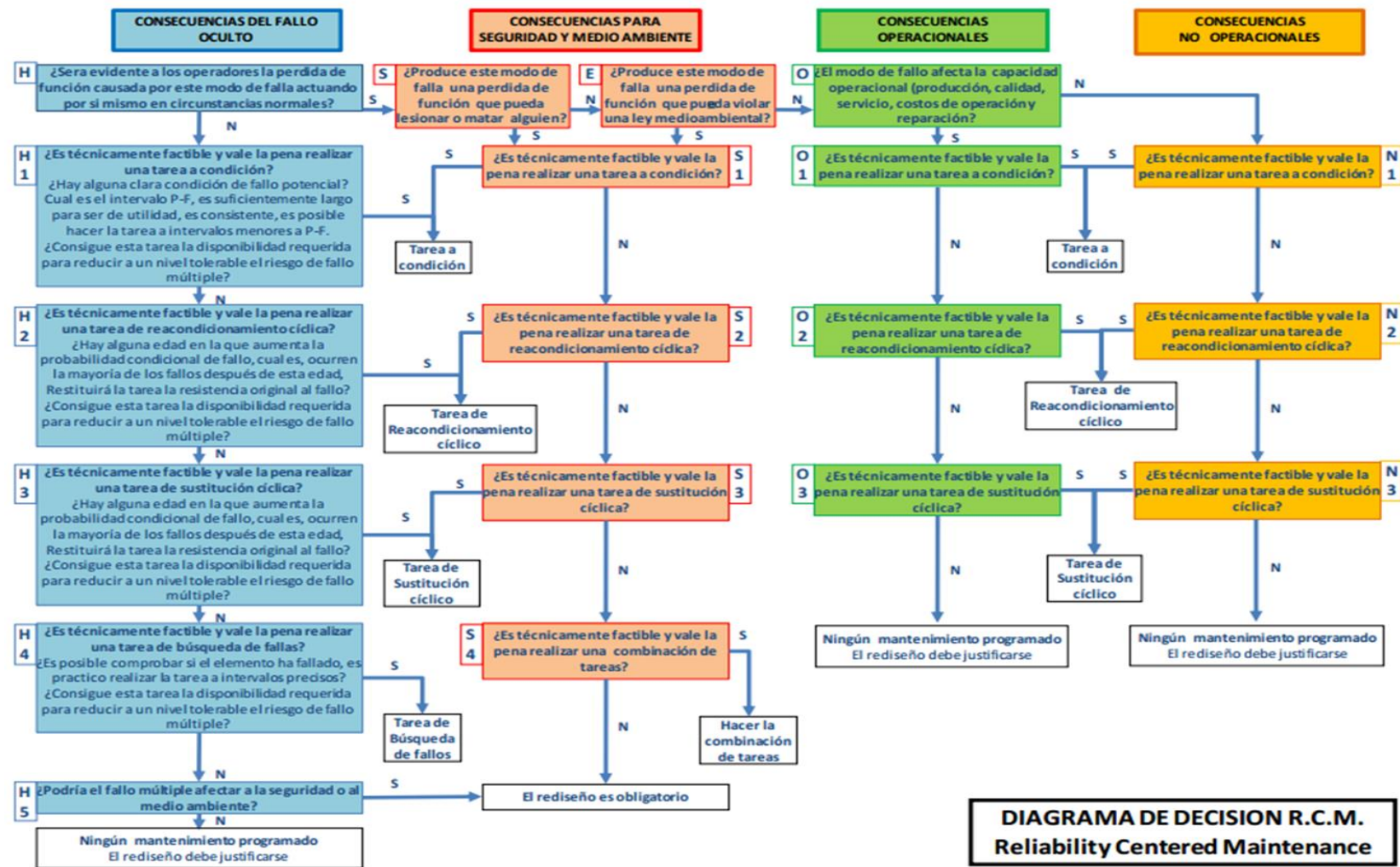


DIAGRAMA DE DECISION R.C.M.
Reliability Centered Maintenance

Figura 4. Diagrama de Decisión RCM
Fuente: Campos Avella (2016)

A partir de la Hoja de Información RCM (anexo 1) y utilizando el Diagrama de Decisión (ver nexos 2), se integra el Hoja de Decisión RCM (figura 4), para cada modo de falla.

La hoja de decisión RCM está dividida en 16 columnas:

1. Información de referencia: Modo de falla F, es el número de función (enlistada) en el FMEA (anexo 1).
2. Información de referencia: Modo de falla FF, es la literal (enlistada) correspondiente a la falla en el FMEA (anexo 1).
3. Información de referencia: Modo de falla FM, es el número de modo de falla (enlistada) en el FMEA (anexo 1).
4. Consecuencias de modo de falla H. Se indica con Sí o No si la falla en evaluación será evidente para el operador del equipo.
5. Consecuencias de modo de falla S. Se indica con Sí o No si la falla en evaluación tendrá consecuencias en la seguridad o medio ambiente.
6. Consecuencias de modo de falla E. Se indica con Sí o No si la falla en evaluación puede violar una ley medio ambiental.
7. Consecuencias de modo de falla O. Se indica con Sí o No si la falla en evaluación puede tener consecuencias operacionales (producción, calidad, servicio, costo de operación o reparación).
8. Tarea proactiva H1/S1/O1/N1. Se registra con Sí o No si se debiera tener una tarea basada en la condición para anticipar el modo de falla en tiempo para evitar sus consecuencias. ¿Hay un indicio claro de falla potencial?, ¿qué es?, ¿cuál es el intervalo P-F?, ¿el intervalo P-F es consistente?, ¿es práctico monitorear antes del intervalo P-F?
9. Tarea proactiva H2/S2/O2/N2 se registra con Sí o No si se debiera tener una tarea para restaurar el activo con una frecuencia determinada para prevenir la falla. ¿Se sabe en qué tiempo de vida del activo hay un incremento rápido en la probabilidad condicional de falla?, ¿en qué parte del equipo?
10. Tarea proactiva H3/S3/O3/N3 se registra con Sí o No si se debiera tener una tarea de cambio programado (sustitución cíclica) para prevenir la falla. ¿Se sabe en qué tiempo de vida del activo hay un incremento rápido en la probabilidad condicional de falla?
11. Pregunta por defecto H4. ¿Es valioso y factible ejecutar una tarea de búsqueda de falla?
12. Pregunta por defecto H5. ¿Puede una falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?
13. Pregunta por defecto S4. ¿Es factible y valioso realizar una combinación de tareas?
14. Tarea seleccionada. Después de que la consecuencia de la falla se ha catalogado se deben establecer las tareas de preventivo adecuadas. Se describe la tarea a realizar de acuerdo al análisis. La tarea debe ser descrita de forma tan precisa en la hoja de trabajo RCM como lo será en el documento que tendrá el ejecutor de la tarea. (J. Moubray 1999)
15. Frecuencia. Se documenta la frecuencia de ejecución de la tarea. Los intervalos de frecuencia se registran en la columna "intervalo inicial", la decisión se basa en lo siguiente:

- Las tareas basadas en la condición están mandadas por el intervalo P-F. El intervalo P-F es un intervalo entre la ocurrencia de una falla potencial y su decaimiento en una falla funcional.

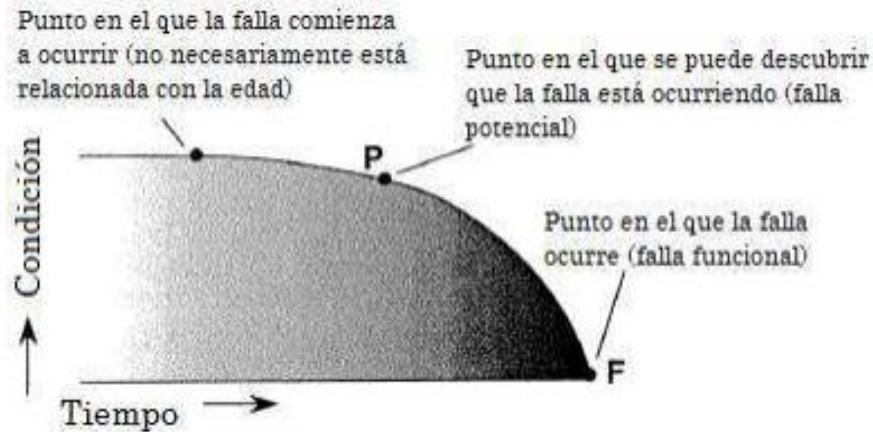


Figura 5. Curva falla potencial - funcional

Fuente: J. Moubray (1999)

16. Responsable. Se documenta el área responsable de realizar la tarea. Las tareas podrían ser asignadas a técnicos de mantenimiento, operadores, contratistas, inspectores de seguridad o técnicos de laboratorio. En todos los casos, las tareas son adecuadas cuando agregan valor y son técnicamente factibles. La descripción de la tarea deber estar relacionada directamente al modo de falla en cuestión, no debe incorporar una combinación de tareas, ya que esto usualmente significa dos o más tipos de falla. (J. Moubray 2004)

Al seleccionar las tareas aplicables y efectivas para los modos de falla de alta prioridad, el conocimiento de todo el equipo es aplicado para determinar las tareas que eliminarán o nos advertirán acerca de una falla, se realizan reevaluaciones de los modos de falla que se pensó que no tenían impacto y finalmente se compara el plan anterior con el nuevo.

En definitiva, la hoja de decisión RCM muestra no solo qué acción se ha seleccionado para tratar cada modo de falla. Sino que también muestra porqué se ha seleccionado. Esta información es valiosa si en algún momento se presenta la necesidad de cambiar cualquier tarea de mantenimiento.

2.2.7. Análisis de criticidad

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. El análisis de criticidad permite así mismo identificar las áreas sobre las cuales se tendrá una mayor atención del mantenimiento en función del proceso que se realiza. (García 2012)

La información recolectada en un estudio de criticidad puede ser usada para:

- Priorizar ordenes de trabajo de producción y mantenimiento.
- Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos.
- Definir necesidades de mantenimiento basado en condición.
- Priorizar proyectos de inversión.
- Diseñar políticas de mantenimiento.
- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.

Los pasos para la aplicación del análisis de criticidad son:

- Identificación de los equipos a estudiar.
- Definición del alcance y objetivo del estudio.
- Selección del personal a entrevistar.
- Informar al personal sobre la importancia del estudio.
- Recolección y verificación de datos.
- Establecimiento de la lista de jerarquizada de los equipos.

La condición ideal es disponer de información estadística de los equipos a evaluar que sea precisa, lo cual permite cálculos exactos y absolutos. Sin embargo, desde el punto de vista práctico cuando se dispone de una data histórica de excelente calidad, se debe recoger la información utilizando encuestas, teniendo en cuenta que el análisis de criticidad permite trabajar en rangos, es decir, establecer cuál sería la condición más favorable, como también la condición menos favorable para cada uno de los criterios a evaluar. La información requerida para el análisis de criticidad siempre está relacionada con la frecuencia, los efectos y consecuencias de las fallas, donde se destaca la seguridad y el respeto por el ambiente.

Según Woodhouse (1994), la criticidad se evalúa mediante la ecuación:

$$CRITICIDAD = FRECUENCIA DE FALLA * CONSECUENCIA$$

Donde:

Consecuencia= (Impacto operacional x flexibilidad operacional) + Costo de mantenimiento + impacto a seguridad ambiental e higiene.

Tabla 4. Criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo

Frecuencia de Fallas:		Costo de Mantenimiento:	
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	Mayor o igual a 20 000 \$	2
Promedio 1 - 2 fallas/ año	3	Inferior a 20 000 \$	1
Buena 0.5 - 1 fallas/año	2	Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH):	
Excelente menos de 0.5 falla/año	1		
Impacto Operacional:		Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH):	
Pérdida de todo el despacho	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7	Afecta el ambiente/instalaciones	7
Impacta en niveles de inventario o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
No genera ningpun efecto significativo sobre operaciones y producción	1	Provoca daños menores (ambiente-seguridad)	3
Flexibilidad Operacional:		No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	
No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4		1
Hay opción de repuesto compartido/almacen	2		
Función de repuesto disponible	1		

Fuente: Parra Márquez y Crespo Márquez (2012)

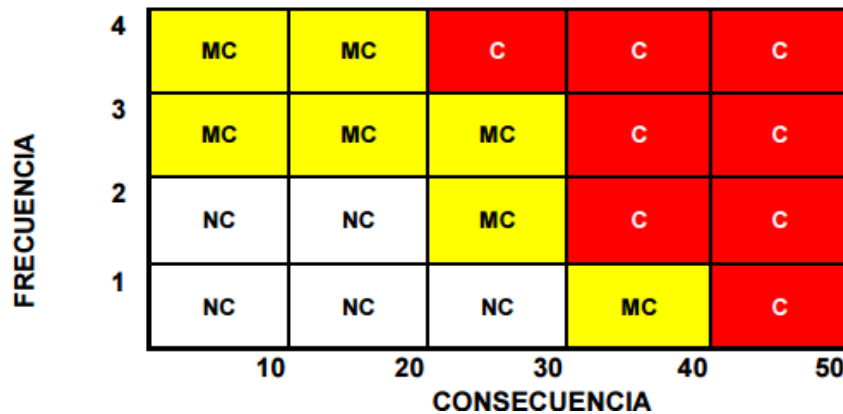


Figura 6. Matriz de criticidad

Fuente: Ramírez Quintero (2014)

2.2.8. Sistema de Gestión de Mantenimiento

Un sistema de gestión de mantenimiento es un sistema de administración de las conservaciones o mantenencias que deban efectuarse a la infraestructura para asegurar que cumple con el nivel de servicio deseado durante su vida útil de diseño. (Canedo R. 2014)

Para Becerra (2011) es necesario gestionar correctamente las necesidades y/o prioridades de la función de Mantenimiento, para lograr los efectos adecuados, a través de la mejora en cuanto a eficacia y eficiencia de procesos con lo cual alcanzar la Excelencia Operativa, cuyo fundamento básico se refiere a ofrecer servicios a un precio competitivo mediante el equilibrio entre la calidad y la funcionalidad, siendo la idea principal brindar el Mejor Costo Total.

Es por eso que se establece la Gestión del Mantenimiento como parámetro de referencia para evaluar, a través, de la supervisión de: la planificación, ejecución y control, el conjunto de actividades propias de la función, que permiten el uso efectivo y eficaz de los recursos con que cuenta la Organización, para alcanzar los objetivos que satisfacen los requerimientos de los diferentes grupos de interés, cuyo objetivo básico consiste en incrementar la disponibilidad de los SP (activos), partiendo de la ejecución de los mismos, mediante las mejoras incrementales a bajo costo, para ser competitivo, logrando que funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto de operación.

La Gestión del Mantenimiento se orienta a la búsqueda de metas comunes que deben ser desarrolladas y entendidas con el fin de reducir las restricciones, cuya consecución será el éxito de la Empresa, y por ende del Negocio. Hoy, esta meta común, se basa en la existencia de la conformidad de la calidad de los procesos y la aceptación de los resultados obtenidos, todo bajo el concepto de la Excelencia en la Organización.

2.2.9. Indicadores de productividad

2.2.9.1. Actividad de mantenimiento

Expresada como el porcentaje dado por la relación entre horas-hombre de mantenimiento, divididas por el total de horas hombre en la producción.

$$\text{Actividad de mantenimiento} = \frac{\text{horas - hombre de mantenimiento}}{\text{horas hombre en la producción}}$$

2.2.9.2. Porcentaje de tiempo de parada

Determinado por la relación entre el total de tiempo de parada por concepto de mantenimiento, sobre el total de tiempo dedicado a producción.

$$\% \text{ de tiempo de parada} = \frac{\text{tiempo de parada por mantenimiento}}{\text{tiempo total de producción}}$$

2.2.9.3. Disponibilidad del equipo

Determinada como porcentaje de horas disponibles del equipo para producir, sobre el total de tiempo dispuesto para producción.

$$\text{Disponibilidad del equipo} = \frac{\text{horas disponibles del equipo}}{\text{tiempo total de producción}}$$

2.2.10. Indicadores de mantenimiento

Son parámetros cuantitativos de control que permiten determinar el comportamiento y la efectividad del sistema de mantenimiento de un sistema productivo, estos parámetros son absolutos o relativos. (García Palencia 2013)

2.2.10.1. Confiabilidad

Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un periodo determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.

La confiabilidad de una unidad productiva es la garantía o probabilidad de que producirá el producto requerido por sus clientes, se caracteriza por el tiempo promedio entre fallas (TPEF).

$$\text{CONFIABILIDAD} = \text{TPEF} = \frac{\sum \text{HROP}}{\text{NTFALLAS}}$$

TPEF: tiempo promedio entre fallas

HROP: Horas de operación

NTFALLAS: Número total de fallas

2.2.10.2. Mantenibilidad

La mantenibilidad es la probabilidad que un equipo que fallo pueda ser reparado dentro de un periodo dado de tiempo, se caracteriza por el tiempo promedio para reparar (TPPR).

El tiempo promedio para reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. La mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnósticos, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación

depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.

$$TPPR = \frac{\text{tiempo de averías}}{\text{número de averías}}$$

$$\text{tasa de reparación } (\mu) = \frac{1}{TPPR}$$

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

2.2.10.3. Disponibilidad

La disponibilidad es una función de la confiabilidad y la mantenibilidad, entre otras palabras con qué frecuencia un equipo fallará y que tanto tiempo tomará regresar al equipo a sus condiciones normales de operación.

La disponibilidad permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para el cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPEF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{TPEF}{TPEF + TPPR}$$

TPEF: tiempo promedio entre fallas

TPPR: tiempo promedio para reparar

$$TPPR = \frac{\text{tiempo de averías}}{\text{numero de averías}}$$

2.2.11. Principio de Pareto

La teoría de Pareto resulta de una observación según la que el 20% de las causas producen el 80% de los efectos. Dicho de otra forma, en el mundo de los negocios, el 20% de los clientes son responsables del 80% del volumen de negocios. Así, identificando este 20%, que corresponde a los clientes más importantes, las empresas les pueden dedicar más atención y con esto ganar tiempo y dinero. (Delers 2016)

Una segunda aplicación, utilizada en especial por Joseph Juran, es el control y la gestión de la calidad en la cadena de producción. Si el 20% de los defectos causan el 80% de los problemas, entonces a la empresa le interesa esforzarse para arreglar los defectos en cuestión con tal de mejorar la calidad. Hay otras aplicaciones del mismo tipo que son igualmente válidas.

El 20% del tiempo de ajuste de las máquinas arregla el 80% de los problemas.
El 20% de la cadena de producción produce el 80% del producto final.

El principio de Pareto es una herramienta gráfica que muestra los datos categorizados en orden descendente con base en la frecuencia de ocurrencia. Un gráfico de Pareto muestra la barra más alta a la izquierda lo que permite observar la oportunidad más significativa. (Gupta y Sri 2015)

La gráfica de Pareto muestra que la tendencia normal es tomar en cuenta la mala actitud del agente de servicio o crear una fuerza de trabajo para atacar los problemas con el producto; sin embargo, el análisis de Pareto permite enfocar los recursos limitados con mayor prioridad para trabajar en el tiempo de espera y las demoras para procesar los créditos.

En el diagrama de Pareto, las respuestas categorizadas se trazan en orden descendente de acuerdo con sus frecuencias y se combinan con la línea de porcentaje acumulado en la misma gráfica. El diagrama permite identificar situaciones en las que se da el principio de Pareto. (Levine, Krehbiel y Berenson 2006)

2.2.12. Terminología

- **Defecto:** Desperfecto en un componente o sistema que puede causar que el componente o sistema falle en desempeñar las funciones requeridas.
- **Error:** Acción humana que produce un resultado incorrecto.
- **Falla:** Manifestación física o funcional de un defecto. Terminación de la capacidad del equipo para realizar la función requerida.
- **Inspección:** El proceso de medir, examinar, probar, calibrar o detectar de alguna otra forma cualquier desviación con respecto a las especificaciones.
- **Parada:** Situación de un ítem cuando no está en operación porque no se necesita o porque no se encuentra en condición de utilización.
- **Reparación:** Es el restablecimiento o restauración de un equipo a una combinación aceptable mediante la renovación, reemplazo o reparación general de piezas dañadas o desgastadas.

III. RESULTADOS

3.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA MAQUINARIA DE LA EMPRESA

Para el desarrollo de este punto, se describió en primer lugar la situación actual de las máquinas, y posteriormente se realizó un diagnóstico de las fallas en la maquinaria respecto a las actividades que realizan con ayuda del Gerente General de la empresa y con los datos en cuanto a maquinaria, costos y número de fallas que se registraron en el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016, con el fin de conocer cuáles son los problemas existentes en cada máquina para luego determinar la de mayor criticidad y plantear mejoras.

Para realizar el diagnóstico, se describió la maquinaria que utiliza la empresa para el proyecto que viene realizando en la actualidad. También se indicó el número de fallas que se registraron por máquina y el costo de reparación en cada una de ellas, la relación de los costos de repuestos y mano de obra, el tiempo de inoperatividad, y el tiempo de reparación en el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016. Finalmente se realizó un análisis de la cantidad de fallas por máquina en cuanto a tiempo de reparación e implicancia económica.

3.1.1. Diagnóstico de la Situación Actual de las máquinas

Los resultados obtenidos de los datos de la situación actual de las máquinas están referidos a las fallas y costos en las que incurren. En primer lugar, se describió a la empresa, sus aspectos generales, organigrama estructural, y se describió: cómo se encuentra organizada, misión y visión, con la ayuda del Gerente General de la empresa, y posteriormente se procedió a mostrar el diagrama del proceso de ejecución de la obra que se encuentra desarrollando en la actualidad.

3.1.1.1. La Empresa

A. Aspectos generales

La empresa HYDRO PATAPO S.A.C., es una empresa cuyo servicio se enfoca en el desarrollo de proyectos de energía renovables, la cual cuenta con 2 proyectos de Minicentrales hidroeléctricas en la cuenca del río Chancay, región Lambayeque (Perú), uno en ejecución de una potencia instalada de 1 mega watt y otro en desarrollo de 0,4 mega watt.

Fue creada en febrero de 2014 de sociedad de derecho peruana, con el apoyo de profesionales capacitados que han demostrado altas competencias, trabajando siempre con operatividad excelente en el cumplimiento de la normativa de ejecución; en la correcta elección de materiales y equipos, para cumplir con cada uno de sus clientes.

Ubicada en la ciudad de Chiclayo, la empresa HYDRO PATAPO S.A.C. se dedica a brindar servicios de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, en el departamento de Lambayeque. HYDRO PATAPO S.A.C., nace como el

resultado de la apuesta de un grupo de inversores peruanos y españoles, decididos a invertir en Energía en el Perú.

B. Organigrama Estructural

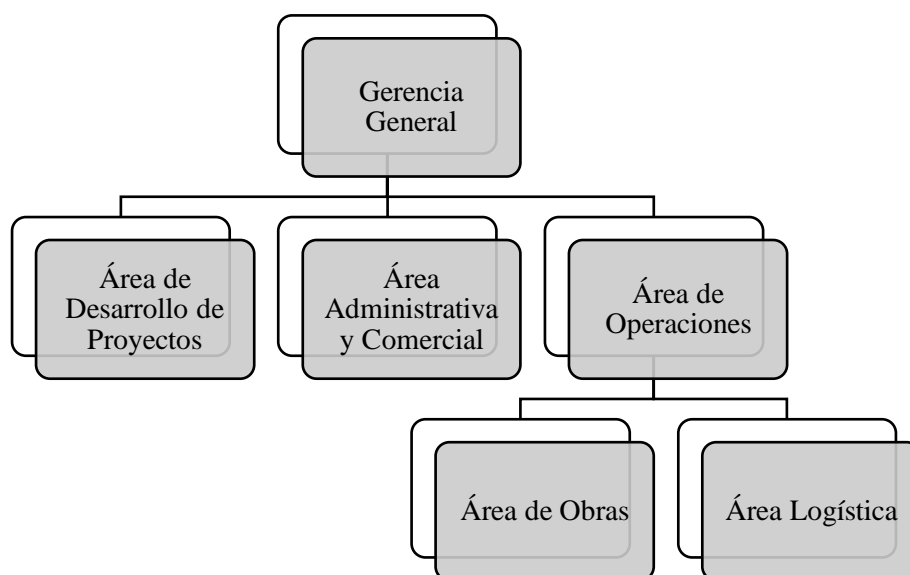


Figura 7. Organigrama de la empresa

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

C. Organización de HYDRO PATAPO S.A.C.

Con el objetivo de ensamblar y coordinar los recursos humanos, financieros y físicos, necesarios para lograr las metas y actividades que incluyan atraer a gente a la organización, HYDRO PATAPO S.A.C. presenta a continuación la agrupación de tareas en unidades de trabajo para dirigir y distribuir los recursos y crear condiciones para que las personas y los recursos funcionen para alcanzar los objetivos.

- Gerencia General
- Área de Desarrollo de Proyectos
- Área Administrativa y Comercial
- Área de Operaciones
- Área de Obras
- Área Logística

D. Misión

Contribuir a mejorar la calidad de vida de la población de Lambayeque, brindando servicios que ayuden a preservar el medio ambiente.

E. Visión

Ser una Organización eficiente, rentable, sólida, entre las más importantes del sector, con recursos humanos altamente capacitados que trabajen en equipo, actuando con permanente esfuerzo para lograr un crecimiento sostenible y brindar servicios de calidad orientados a la satisfacción del cliente.

3.1.1.2. Área de Operaciones

A. Operaciones

El área de operaciones de la empresa HYDRO PATACO S.A.C., se encuentra conformada de la siguiente manera:

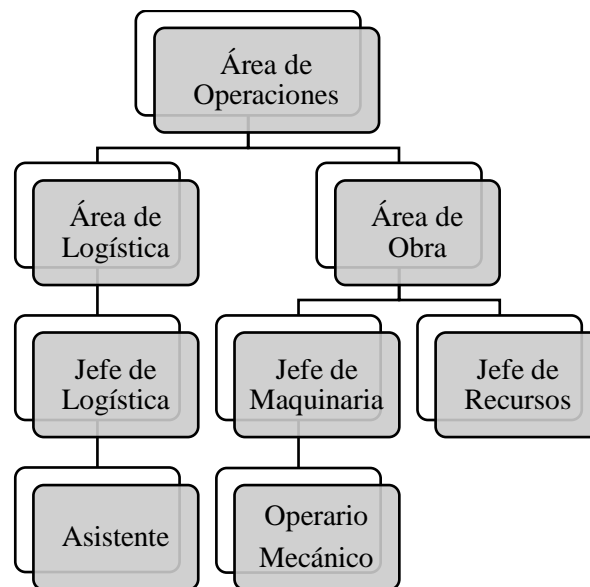


Figura 8. Organigrama del Área de Operaciones de la empresa

Fuente: EMPRESA HYDRO PATACO S.A.C.

El área de operaciones es la parte funcional que se encarga de la parte operativa de la empresa cuya finalidad es encontrar ventajas competitivas para la empresa mediante un buen servicio.

Dentro del Área de Operaciones; en el Área de Obra, la empresa cuenta con 10 operarios que hacen uso de la maquinaria pesada, de los cuales 3 de ellos cuentan con formación superior técnica para reparar alguna eventualidad que se presenten en las máquinas. Los 7 operarios restantes cuentan con secundaria completa obteniendo sus conocimientos de su experiencia laboral.



Figura 9. Aguas descargadas del embalse Tinajones al canal Taymi

Fuente: HYDRO PATAPO S.A.C. 2014



Figura 10. Área de Proyecto desde el canal hasta el reservorio

Fuente: HYDRO PATAPO S.A.C. 2014

En la actualidad HYDRO PATAPO S.A.C., implementa un mantenimiento correctivo puesto que las acciones que se toman son para reparar las fallas y arreglar las máquinas; son para solucionar el problema en el momento. Este tipo de programa no es el adecuado para este tipo de empresa, puesto que se necesitan; herramientas necesarias para poder realizarlo, lo que conlleva a que

no se tenga un historial veraz ni completo de las fallas que se vienen presentado en cada una de las máquinas, y no se tiene a precisión el número de fallas recurrentes, y por lo cual, no se puede hallar las causas de su ocurrencia y así poder encontrar soluciones y evitar que estas se sigan presentado. En la actualidad, la empresa cuenta con escaso personal capacitado para resolver las fallas que se presentan en las máquinas, ni menos aún con un programa de mantenimiento, lo que es necesario para este tipo de empresa que desarrolla proyectos de construcción de gran magnitud.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso de ejecución de la obra:

PROCESO: EJECUCIÓN DE OBRA

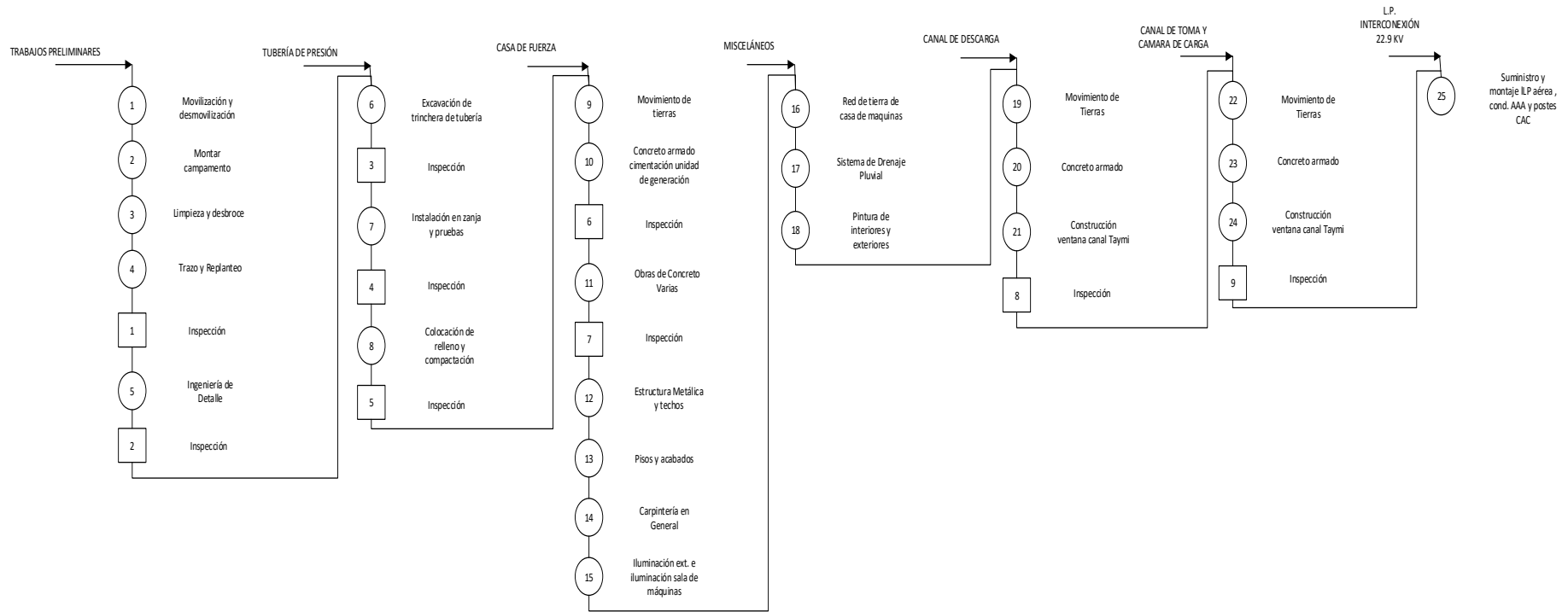


Figura 11. Diagrama del Proceso de Ejecución de la Obra
Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

B. Máquinas

Con frecuencia, se presentan fallas en las máquinas que obligan al operario a parar con el trabajo a realizar por varios días, lo que generan pérdidas económicas las cuales están repercutiendo directamente con el incumplimiento de las fechas establecidas para la terminación de las actividades de la obra.

A continuación, se muestra una tabla con las máquinas que presentan fallas en la empresa.

Tabla 5. Máquinas de la empresa HYDRO PATAPO S.A.C. a julio 2016

Máquinas	Marca	Modelo	Año de fabricación	Año de adquisición	Precio de adquisición (dólares)	Cantidad	N° de máquinas
Excavadora Hidráulica	Caterpillar	320	2009	2013	250 000	1	1
Cortadora de concreto	Honda	Q450 13 HP	2013	2014	1 060,61	1	1
Martillo Hidráulico	Bosch	GSH 27	2013	2014	1 818,18	4	4
Compactadora	Kormax	7 HP	2013	2014	1 515,15	3	3
Cargador frontal	Volvo	L150G	2010	2013	180 000	1	1

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

- **Excavadora:** Máquina fácil de maniobrar, pero con la potencia suficiente para abordar trabajos exigentes que se presenta en el proceso productivo. Debido al esfuerzo realizado, su capacidad de levantamiento tiende a reducir con el tiempo, esto dependerá del cuidado del motor.



Figura 12. Máquina Excavadora Hidráulica Caterpillar 320

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

- **Cortadora de concreto:** Equipo de trabajo que se utiliza para cortar pavimentos mediante el movimiento rotatorio del disco abrasivo.



Figura 13. Máquina Cortadora de Concreto Honda Q450 13HP

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

- **Martillo hidráulico:** Equipo de fácil manejo y poco peso, esto ayudará a la maniobrabilidad del mismo el cual permite romper con materiales duros.



Figura 14. Máquina Martillo Hidráulico Bosch GSH 27
Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

- **Compactadora:** La utilización de este tipo de equipo es para poder llevar a cabo la compactación del material de relleno. Es el medio mecánico que le imprime energía de compactación al suelo. La compactación es una de las operaciones más delicadas e importantes en la construcción, por lo tanto, es necesario contar con el equipo adecuado, según los materiales que se van a trabajar para obtener resultados satisfactorios.



Figura 15. Máquina Compactadora Kormax 7HP
Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

- **Cargador frontal:** Equipo encargado de cargar o acarrear materiales. Provisto de dos ruedas, su bastidor es articulado por una cadena, su tren es fijo el cual sirve como un contrapeso que ayuda a soportar de mejor manera la carga.



Figura 16. Máquina Cargador Frontal Volvo
Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

3.1.2. DIAGNÓSTICO DE LAS FALLAS EN LA MAQUINARIA EN EL PROCESO PRODUCTIVO

Se realizó un diagnóstico para identificar las fallas ocurridas durante el proceso productivo que ocasionan paradas y desfavorecen en tiempo y costos el ritmo de producción.

Para realizar el diagnóstico se hizo uso de la data histórica de fallas desde febrero de 2014 a julio de 2016. Las máquinas analizadas en este diagnóstico fueron: excavadora, cortadora de concreto, martillo hidráulico, compactadora y cargador frontal. Los costos de las reparaciones de las mismas al presentar fallas ascienden a 60 000 dólares anuales.

Tabla 6. Número de Fallas por máquinas del año 2014

NÚMERO DE FALLAS – 2014												
Máquinas	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
EXCAVADORA	1	2	4	3	2	4	2	3	3	2	2	28
CORTADORA DE CONCRETO	1	1	0	2	0	1	1	1	0	2	0	9
MARTILLOS HIDRÁULICOS	2	2	3	3	3	0	3	3	2	2	3	26
COMPACTADORAS	1	4	3	5	5	3	7	3	5	5	4	45
CARGADOR FRONTAL	1	2	2	1	2	1	3	1	2	2	2	19

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 7. Costo de Reparación por máquinas del año 2014

COSTOS DE REPARACIÓN – 2014												
Máquinas	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL (dólares)
EXCAVADORA	211,00	701,00	1 743,00	912,00	701,00	1 743,00	701,00	2 732,00	1 532,00	701,00	701,00	12 378,00
CORTADORA DE CONCRETO	231,00	100,00	0	331,00	0	100,00	231,00	100,00	0	331,00	0	1 424,00
MARTILLOS HIDRÁULICOS	121,21	121,21	181,82	181,82	181,82	0	181,82	181,82	121,21	121,21	181,82	1 575,76
COMPACTADORAS	350,00	750,00	422,73	1 100,00	763,64	400,00	813,64	736,36	786,36	1 100,00	750,00	7 972,73
CARGADOR FRONTAL	175,76	2 206,76	1 806,76	175,76	1 806,76	175,76	3 837,76	175,76	1 806,76	3 406,76	1 806,76	17 381,33
TOTAL												40 731,82

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 8. Número de Fallas por máquinas del año 2015

NÚMERO DE FALLAS - 2015													
Máquinas	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
EXCAVADORA	4	2	2	4	2	2	3	2	2	4	3	3	33
CORTADORA DE CONCRETO	1	1	1	0	2	0	1	1	1	0	2	0	10
MARTILLOS HIDRÁULICOS	1	4	1	3	0	3	2	3	1	4	1	2	25
COMPACTADORAS	4	3	6	3	3	5	2	5	3	3	2	4	43
CARGADOR FRONTAL	1	3	1	2	1	2	1	2	1	2	2	3	21

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 9. Costo de Reparación por máquinas del año 2015

COSTOS DE REPARACIÓN – 2015													
Máquinas	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL (dólares)
EXCAVADORA	1 743,00	701,00	701,00	3 563,00	701,00	701,00	1 532,00	701,00	701,00	1 743,00	2 732,00	20 732,00	36 251,00
CORTADORA DE CONCRETO	100,00	231,00	100,00	0	331,00	0	100,00	231,00	100,00	0	331,00	0	1 524,00
MARTILLOS HIDRÁULICOS	60,61	242,42	60,61	181,82	0	181,82	121,21	181,82	60,61	242,42	60,61	121,21	1 515,15
COMPACTADORAS	750,00	422,73	1 113,64	400,00	422,73	427,27	386,36	450,00	377,27	400,00	363,64	100,00	5 613,64
CARGADOR FRONTAL	175,76	3 837,76	175,76	1 806,76	175,76	1 806,76	175,76	1 806,76	175,76	1 806,76	2 206,76	5 037,76	19 188,09
TOTAL													64 091,88

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 10. Número de Fallas por máquinas del año 2016

NÚMERO DE FALLAS – 2016								
Máquinas	E	F	M	A	M	J	J	TOTAL
EXCAVADORA	4	3	3	2	2	4	2	20
CORTADORA DE CONCRETO	0	1	1	2	0	1	1	6
MARTILLOS HIDRÁULICOS	2	2	3	2	1	3	1	14
COMPACTADORAS	5	3	3	2	3	5	2	23
CARGADOR FRONTAL	1	2	1	2	3	2	1	12

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 11. Costo de Reparación por máquinas del año 2016

Máquinas	E	F	M	A	M	J	J	TOTAL
EXCAVADORA	1 743,00	932,00	932,00	1 301,00	701,00	1 402,00	701,00	7 712,00
CORTADORA DE CONCRETO	0	231,00	100,00	331,00	0	231,00	100,00	993,00
MARTILLOS HIDRÁULICOS	121,21	121,21	181,82	121,21	60,61	181,82	60,61	848,48
COMPACTADORAS	786,36	400,00	400,00	72,73	422,73	763,64	386,36	3 231,82
CARGADOR FRONTAL	175,76	2 206,76	175,76	1 806,76	1 982,52	1 806,76	175,76	8 330,06
TOTAL								21 115,36

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

A. Excavadora

En las siguientes figuras, se mostrarán los gráficos tanto de las fallas por mes en el periodo febrero 2014 – julio 2016 que presenta la máquina excavadora, así como también el gráfico de costos en reparación tanto en repuestos como en mano de obra. En el anexo 4, se muestra en detalle los datos de los gráficos mencionados.

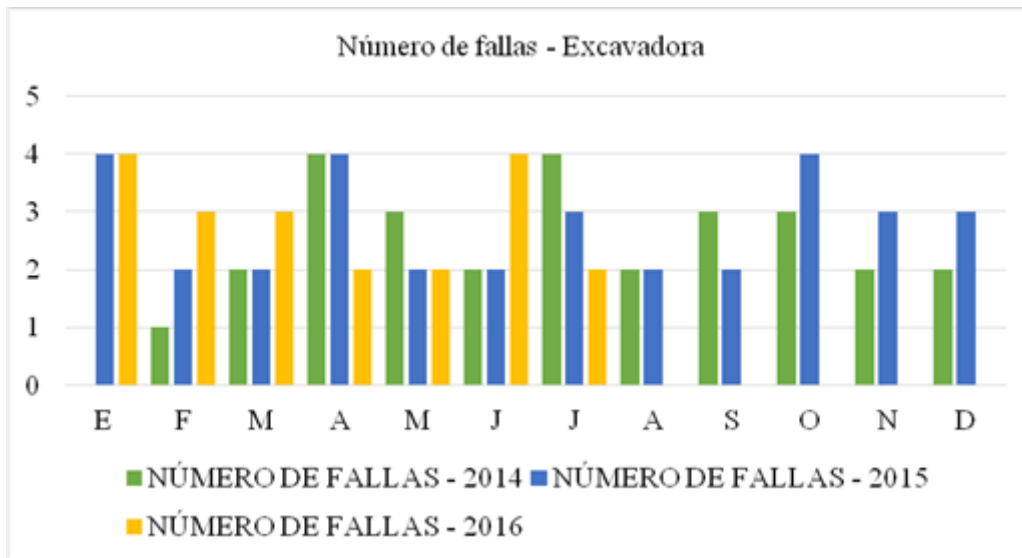


Figura 17. Número de fallas de máquina excavadora periodo 2014-2016

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Como se aprecia en la figura anterior, en el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016, la máquina excavadora viene presentando un total de 81 fallas, presentándose, en sitios como mangueras, bomba hidráulica, uñas, filtros y baterías.

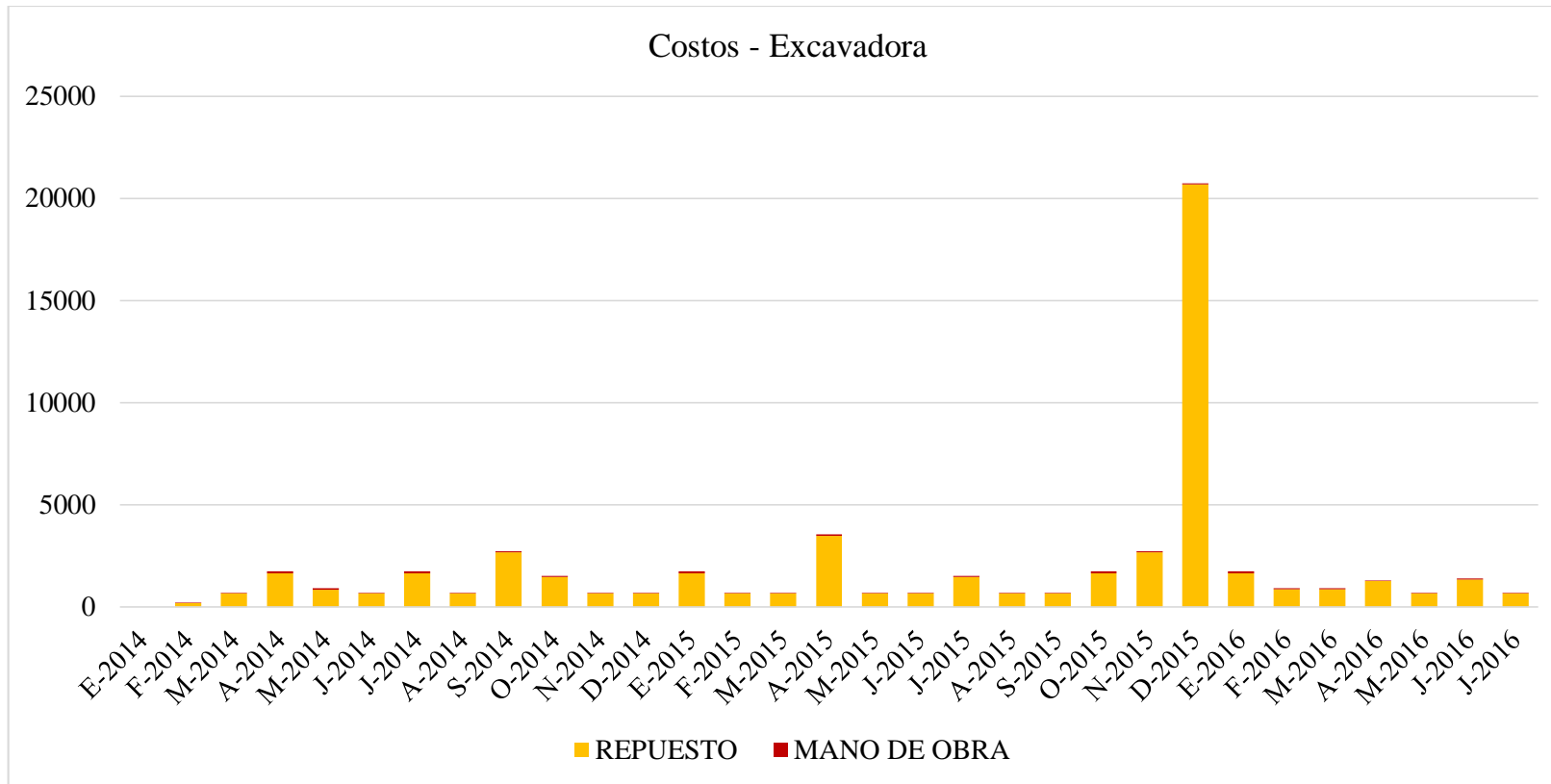


Figura 18. Relación de costos de repuestos y mano de obra de máquina excavadora periodo 2014-2016
Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

B. Cortadora de concreto

En las siguientes figuras, se mostrarán los gráficos tanto de las fallas por mes en el periodo febrero 2014 – julio 2016 que presenta la máquina cortadora de concreto, así como también el gráfico de costos en reparación tanto en repuestos como en mano de obra. En el anexo 4, se muestra en detalle los datos de los gráficos mencionados.

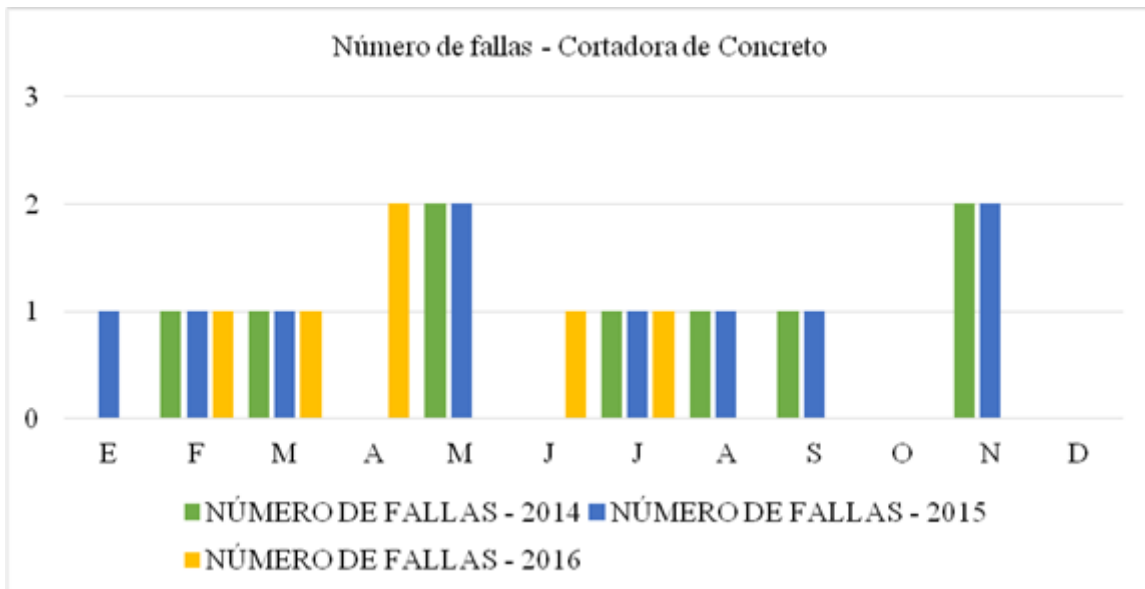


Figura 19. Número de fallas de máquina cortadora de concreto periodo 2014-2016
Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Como se aprecia en la figura anterior, en el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016, la máquina cortadora de concreto viene presentando un total de 25 fallas, siendo las causas más comunes rotura de disco y Obstrucción de filtros.

En la siguiente figura, no se presenta como gasto adicional el costo de la mano de obra, puesto que la reparación de las fallas, debido a su relevancia, es reparada por los mismos operarios que trabajan en obra y a los cuales tienen ya asignada una remuneración por el trabajo que realizan.

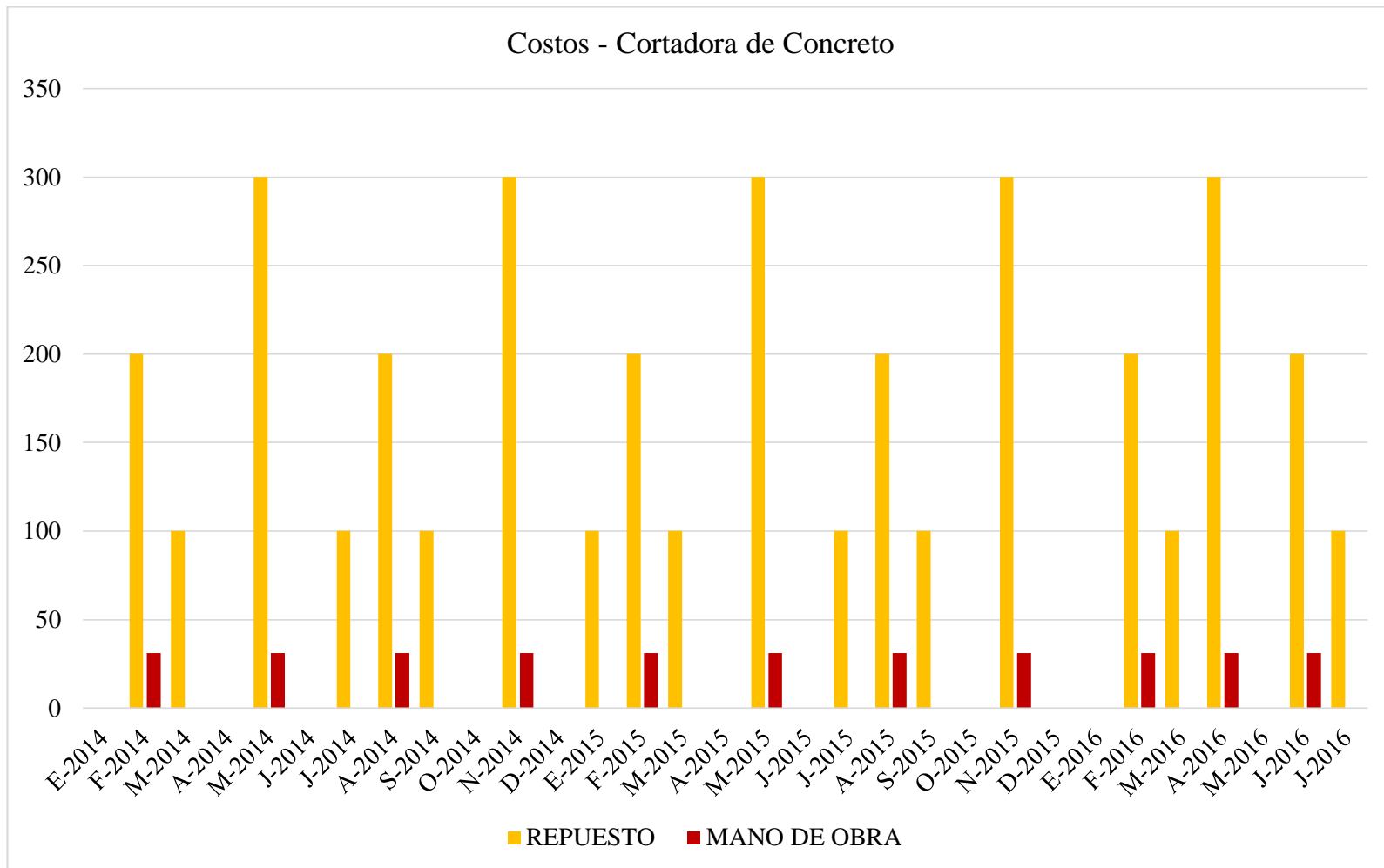


Figura 20. Relación de costos de repuestos y mano de obra de máquina cortadora de concreto periodo 2014-2016
 Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

C. Martillo hidráulico

En las siguientes figuras, se mostrarán los gráficos tanto de las fallas por mes en el periodo febrero 2014 – julio 2016 que presenta la máquina martillo hidráulico, así como también el gráfico de costos en reparación tanto en repuestos como en mano de obra. En anexo 4, se muestra en detalle los datos de los gráficos mencionados.

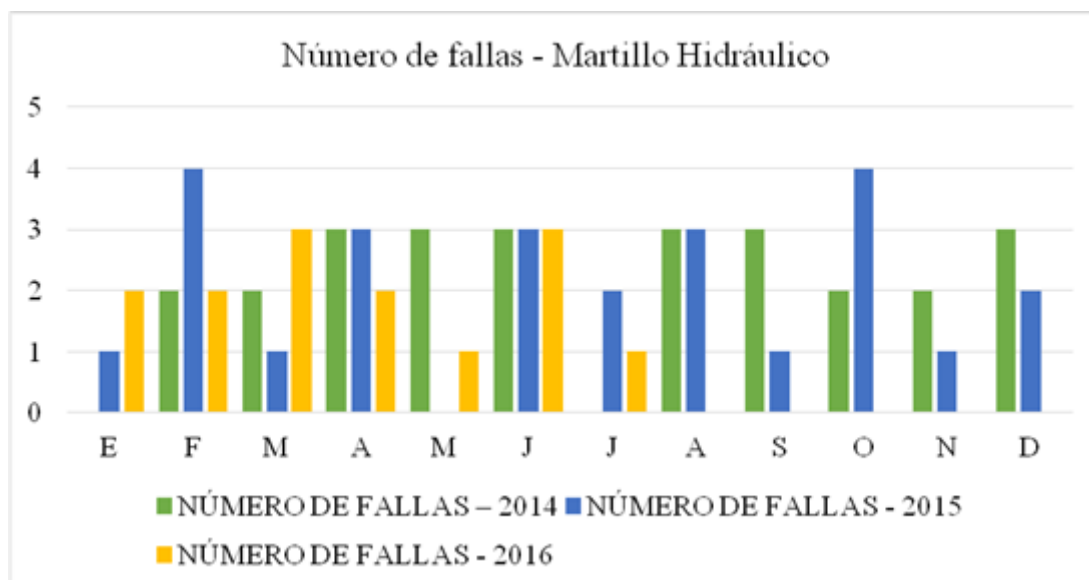


Figura 21. Número de fallas de máquina martillo demoledor periodo 2014- 2016

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Como se aprecia en la figura anterior en el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016, la máquina martillo hidráulico viene presentando un total de 65 fallas.

En la figura a continuación, también se puede apreciar que no se presenta como gasto adicional el costo de la mano de obra, puesto que la reparación de las fallas, por su relevancia, es reparada por los mismos operarios que trabajan en obra y a los cuales tienen ya asignada una remuneración por el trabajo que realizan.

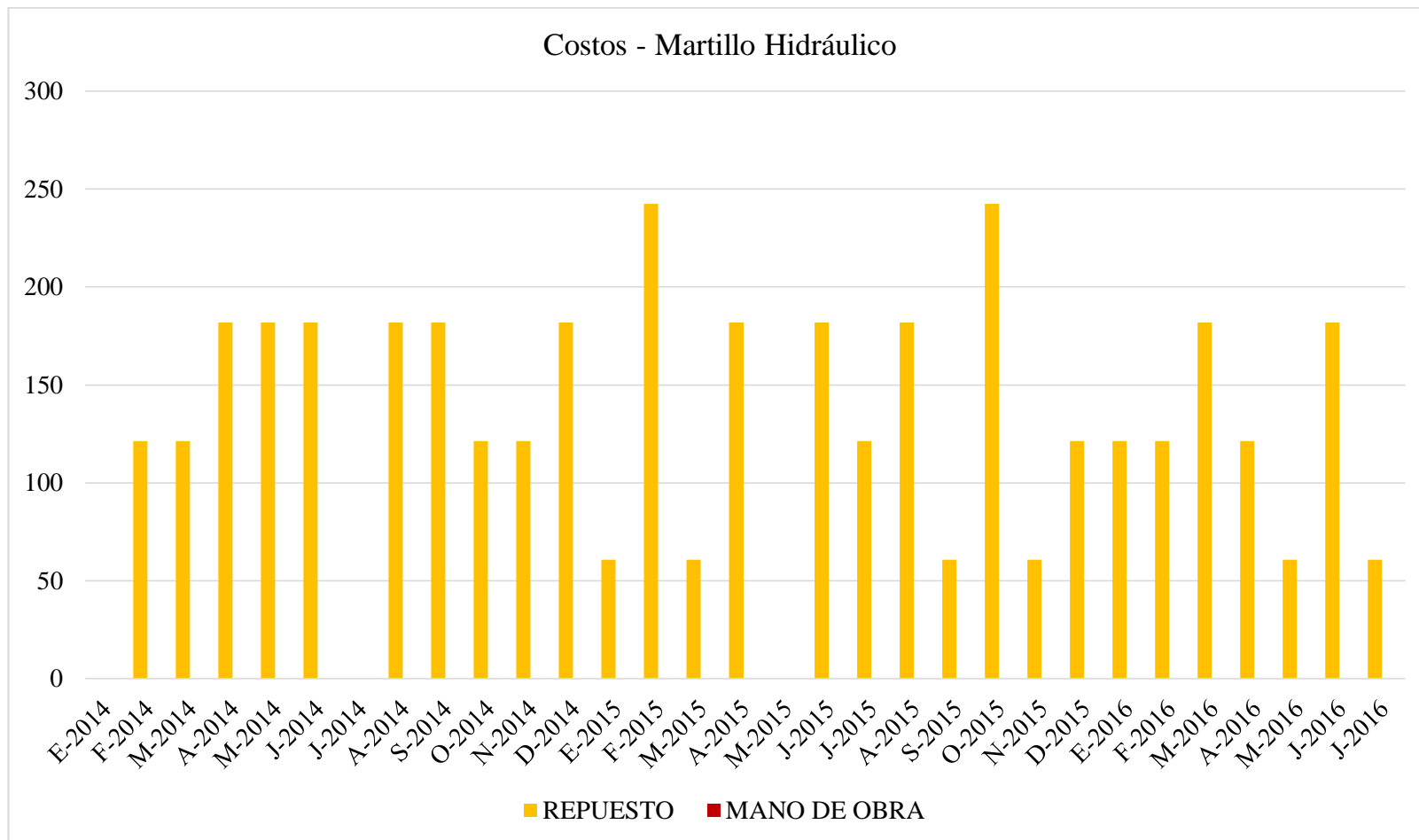


Figura 22. Relación de costos de repuestos y mano de obra de martillo demoledor periodo 2014-2016
 Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

D. Compactadora

En las siguientes figuras, se mostrarán los gráficos tanto de las fallas por mes en el periodo febrero 2014 – julio 2016 que presenta la máquina compactadora, así como también el gráfico de costos en reparación tanto en repuestos como en mano de obra. En anexo 4, se muestra en detalle los datos de los gráficos mencionados.

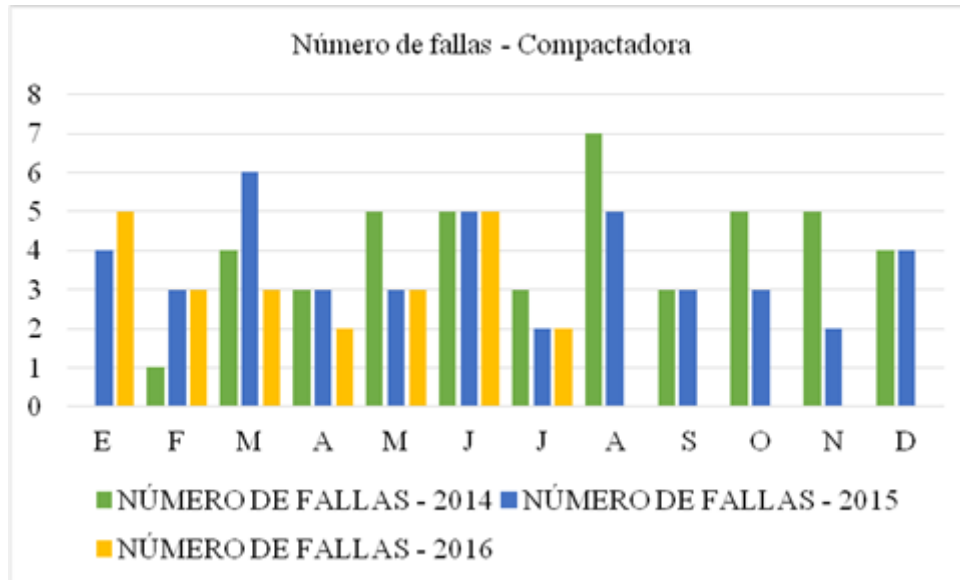


Figura 23. Número de fallas de máquina compactadora 2014-2016

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Como se aprecia en la figura anterior, en el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016, la máquina compactadora viene presentando un total de 111 fallas, siendo las causas más comunes el Obstrucción en la faja, bujías y filtro.

En la figura a continuación, también se puede apreciar que no se presenta como gasto adicional el costo de la mano de obra, puesto que la reparación de las fallas, por su relevancia, es reparada por los mismos operarios que trabajan en obra y a los cuales tienen ya asignada una remuneración por el trabajo que realizan.

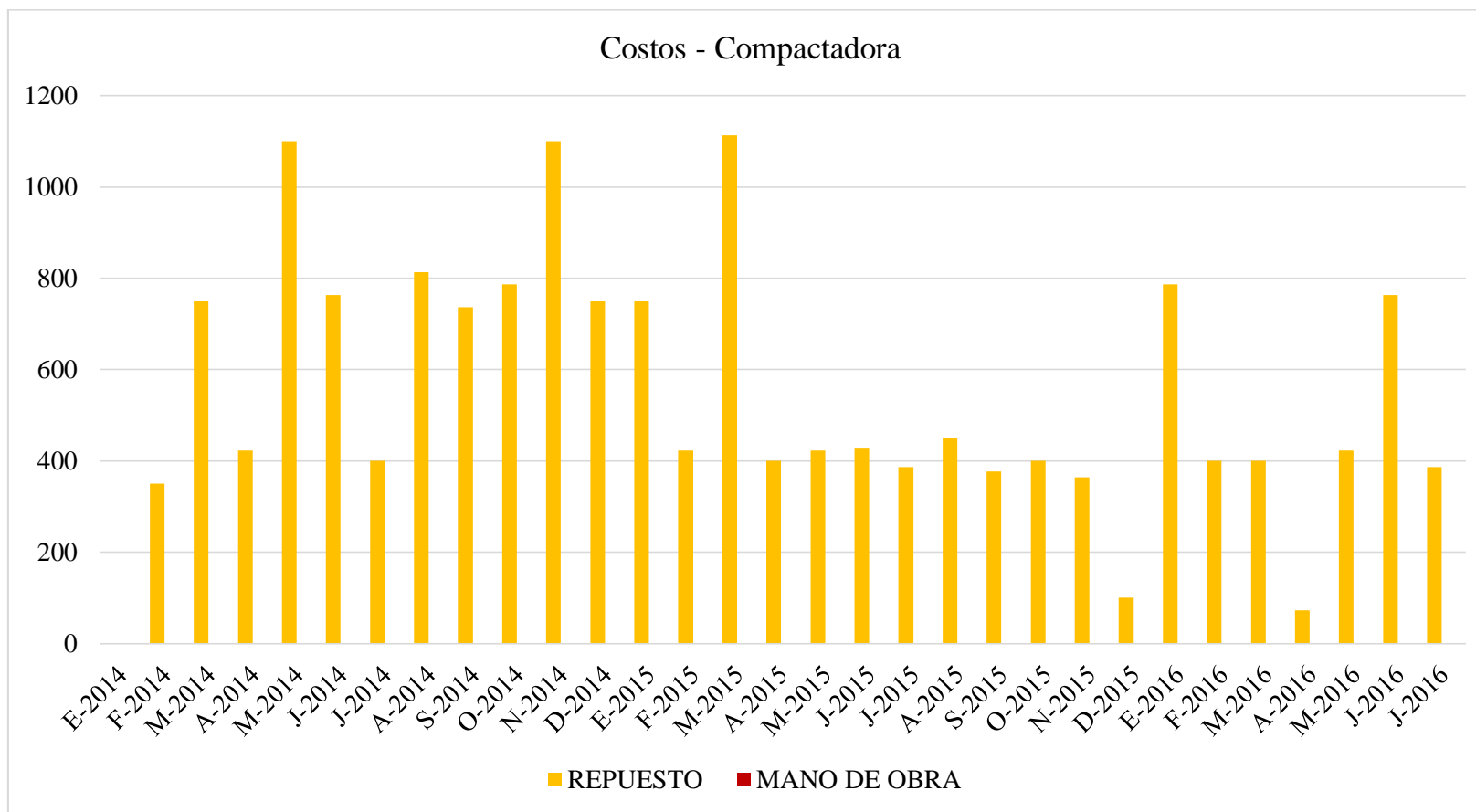


Figura 24. Relación de costos de repuestos y mano de obra de compactadora periodo 2014-2016

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

E. Cargador frontal

En las siguientes figuras, se mostrarán los gráficos tanto de las fallas por mes en el periodo febrero 2014 – julio 2016 que presenta la máquina; cargador frontal, así como también el gráfico de costos en reparación tanto en repuestos como en mano de obra. En anexo 4, se muestra en detalle los datos de los gráficos mencionados.

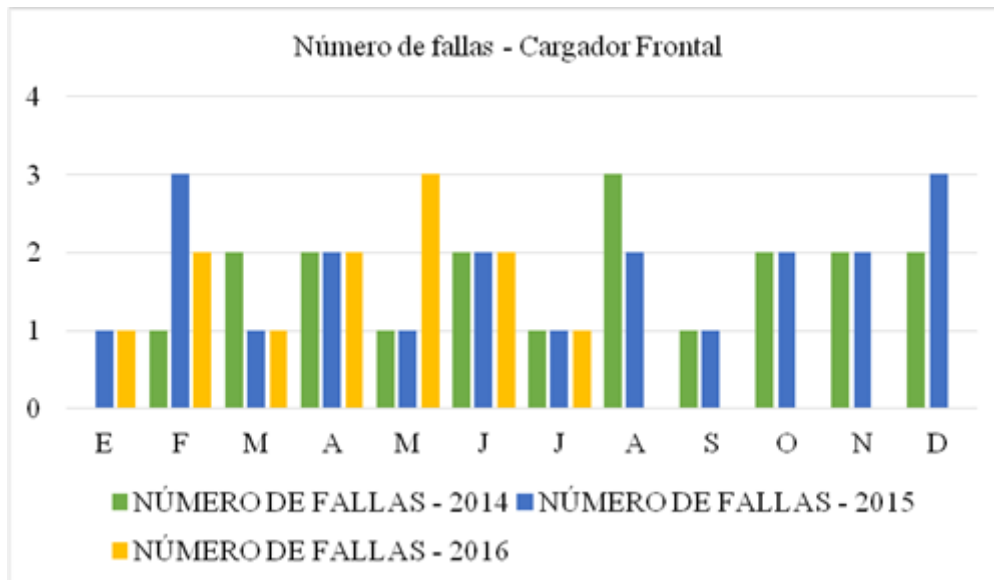


Figura 25. Número de fallas de máquina cargador frontal 2014-2016

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Como se aprecia en la figura anterior, en el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016, el cargador frontal viene presentando un total de 52 fallas, presentándose las causas más comunes en las uñas y bomba hidráulica.

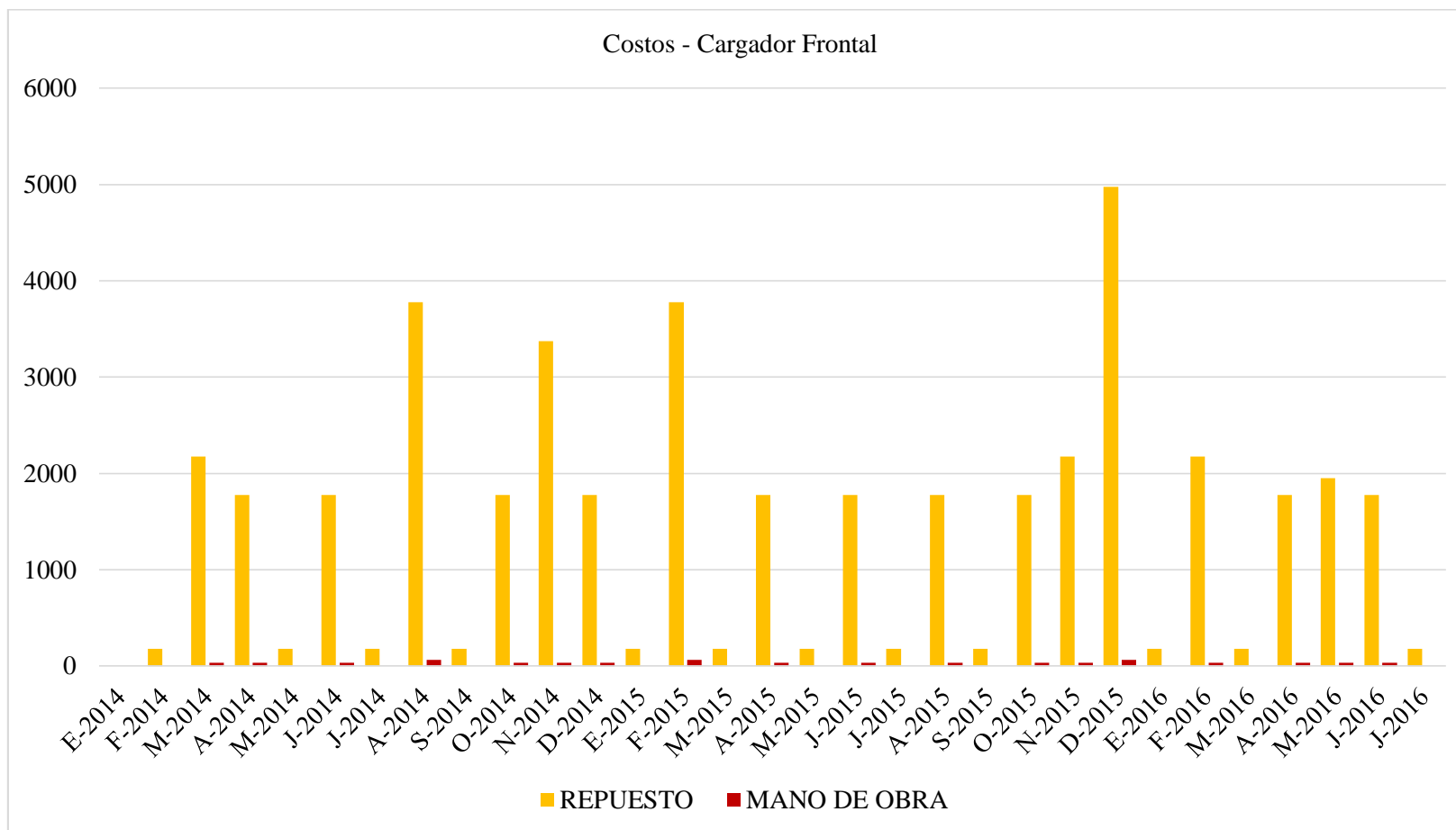


Figura 26. Relación de costos de repuestos y mano de obra de cargador frontal 2014-2016

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 12. Tiempo de inoperatividad de las máquinas 2014

Máquinas	Tiempo que debería trabajar al año (h)	Tiempo de reparación de máquinas (h)	Tiempo real total que trabajan (h)
Excavadora	2 208	135	2 073
Cortadora de Concreto	2 208	27	2 181
Martillo Hidráulico	8 832	78	8 754
Compactadora	6 624	148	6 476
Cargador Frontal	2 208	159	2 049

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 13. Tiempo de inoperatividad de las máquinas 2015

Máquinas	Tiempo que debería trabajar al año (h)	Tiempo de reparación de máquinas (h)	Tiempo real total que trabajan (h)
Excavadora	2 416	202	2 214
Cortadora de Concreto	2 416	30	2 386
Martillo Hidráulico	9 664	75	9 589
Compactadora	7 248	143	7 105
Cargador Frontal	2 416	167	2 249

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 14. Tiempo de inoperatividad de las máquinas 2016

Máquinas	Tiempo que debería trabajar al año (h)	Tiempo de reparación de máquinas (h)	Tiempo real total que trabajan (h)
Excavadora	1 400	64	1 336
Cortadora de Concreto	1 400	18	1 382
Martillo Hidráulico	5 600	42	5 558
Compactadora	4 200	79	4 121
Cargador Frontal	1 400	87	1 313

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

3.1.2.1. Análisis de la cantidad de fallas

La cantidad de fallas se clasificó por máquina en el proceso de producción. Los datos de las fallas se obtuvieron de un registro de incidencias que proporcionó la empresa, en donde se detallan las fallas entre el periodo febrero 2014 – julio 2016 (ver anexo 4), que presentan las máquinas del área de producción.

Tabla 15. Fallas periodo febrero 2014 a julio de 2016

Máquinas	N° de Fallas			
	2014	2015	2016	TOTAL
EXCAVADORA	28	33	20	81
CORTADORA DE CONCRETO	9	10	6	25
MARTILLOS HIDRÁULICOS	26	25	14	65
COMPACTADORAS	45	43	23	111
CARGADOR FRONTAL	19	21	12	52
TOTAL	127	132	75	334

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

A continuación, se elaborará un cuadro resumen detallando el tiempo perdido en horas por falla de cada máquina, procedente de las tablas del anexo 4, donde se puede observar el tiempo de reparación total de fallas en las máquinas.

Tabla 16. Tiempo de reparación total de fallas periodo febrero 2014 a julio 2016

Máquinas	Tiempo para reparación - TRR (h)			
	2014	2015	2016	TOTAL
EXCAVADORA	135	202	64	401
CORTADORA DE CONCRETO	27	30	18	75
MARTILLOS HIDRÁULICOS	78	75	42	195
COMPACTADORAS	148	143	79	370
CARGADOR FRONTAL	159	167	87	413
TOTAL	547	617	290	1 454

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

3.1.2.2. Implicancia económica

A continuación, se muestra un cuadro resumen de los tiempos perdidos generados por cada falla para cada máquina, y la implicancia económica generada por dicho activo en el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016.

Tabla 17. Tiempo para reparar máquina y su implicancia económica periodo febrero 2014 a julio 2016

Máquinas	Tipo de falla	Nº de fallas	Tiempo unitario para reparar falla (h)	Tiempo total para reparar falla (h)	Pérdida unitaria por fallas (dólares)	Pérdida total por fallas (dólares)
EXCAVADORA	Cavitación en la Bomba hidráulica	3	48	144	2 031,00	6 093,00
	Obstrucción de filtros	30	3	90	470,00	14 100,00
	Obstrucción de Baterías	31	3	93	231,00	7 161,00
	Uñas rotas	9	5	45	831,00	7 479,00
	Rotura de Manguera	7	3	21	211,00	1 477,00
	Desgaste de Cadenas	1	8	8	20 031,00	20 031,00
CORTADORA DE CONCRETO	Rotura de Disco	11	3	33	231,00	2 541,00
	Obstrucción de Filtros	14	3	42	100,00	1 400,00
MARTILLOS HIDRÁULICOS	Quiebre de Punta	65	3	195	60,61	3 939,39
COMPACTADORAS	Rotura de Faja	37	4	148	36,36	1 345,45
	Obstrucción de Filtros	43	3	129	350,00	15 050,00
	Obstrucción de Bujías	31	3	93	13,64	422,73
CARGADOR FRONTAL	Cavitación en la Bomba hidráulica	5	48	240	2 031,00	10 155,00
	Obstrucción de filtros	31	3	93	175,76	5 448,48
	Uñas rotas	14	5	70	1 631,00	22 834,00
	Obstrucción de llantas	2	5	10	3 231,00	6 462,00
TOTAL		334	150	1 454	31 665,36	125 939,06

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Como se puede observar, después de analizar la cantidad de fallas y horas de producción detenidas por dichas fallas en el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016, HYDRO PATAPO S.A.C., las pérdidas por fallas sumaron un total de 125 939,06 dólares.

3.1.2.3. Análisis de los indicadores

La empresa al no contar con un sistema de mantenimiento tampoco cuenta con indicadores de gestión para el mismo, es por esto que se desconoce el tiempo de inoperatividad que se incurre por las fallas que se presentan en las máquinas. A continuación, se mencionan los siguientes indicadores de confiabilidad, los cuales se generarán para medir y controlar el impacto que producen las fallas en la empresa.

A. Análisis de los tiempos

➤ Tiempo total programado para producir

A continuación, se ha desarrollado la siguiente tabla, detallando la cantidad de días que tiene cada mes, y a su vez descontándoles los días no laborables como los domingos y feriados, dando como resultado el tiempo en horas programado para producir durante el periodo de febrero 2014 a julio de 2016.

Jornada laboral: lunes a sábado, 1 turno por día, 8 horas por turno, total: 8 horas al día.

Feridos:

- 2014: 17 y 18 de abril, 1 de mayo, 24 de junio, 28 y 29 de julio, 30 de agosto, 8 de octubre, 1 de noviembre, 8 y 25 de diciembre
- 2015: 1 de enero, 2 y 3 de abril, 1 de mayo, 24 y 29 de junio, 28 y 29 de julio, 8 de octubre, 8 y 25 de diciembre.
- 2016: 1 de enero, 24 y 25 de marzo, 24 y 29 de junio, 28 y 29 de julio.

Tabla 18. Tiempo laborable total periodo febrero 2014 a julio 2016

Meses	Días del mes	Feriados	Domingos	Días Laborales total	Tiempo total programado para producir (h)
Enero	31	2	9	51	408
Febrero	28/29	0	12	73	584
Marzo	31	2	13	78	624
Abril	30	4	12	74	592
Mayo	31	2	14	77	616
Junio	30	5	13	72	576
Julio	31	6	13	74	592
Agosto	31	1	10	51	408
Septiembre	30	0	8	52	416
Octubre	31	2	8	52	416
Noviembre	30	1	10	49	392
Diciembre	31	4	8	50	400
TOTAL					6 024

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tiempo bruto = total de días laborables * 8 horas por día = 6 024 horas

Por tanto, HYDRO PATAPO S.A.C., durante el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016, el tiempo total programado para producir ha sido de 6 024 horas.

➤ **TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN (TTO)**

Debido al proceso productivo que desarrolla la empresa, todas las máquinas deben estar operativas y, por lo tanto, toda la misma cantidad de tiempo en el proceso.

El tiempo total de operación, resulta del tiempo total programado para producir, menos el tiempo que tardan para reparar una máquina cuando falla.

A continuación, se presenta a tabla del tiempo total de operación en horas, es decir el tiempo que realmente las máquinas han estado operando durante el periodo analizado.

Tabla 19. Tiempo total de operación (TTO) periodo febrero 2014 a julio 2016

TIPO DE MÁQUINA	TIEMPO TOTAL PROGRAMADO PARA PRODUCIR (horas)	TIEMPO PARA RESTAURAR TTR (horas)	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN TTO (horas)
EXCAVADORA	6 024	401	5 623
CORTADORA DE CONCRETO	6 024	75	5 949
MARTILLOS HIDRÁULICOS	24 096	195	23 901
COMPACTADORAS	18 072	370	17 702
CARGADOR FRONTAL	6 024	413	5 611
TOTAL			58 786

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 20. Tiempo total de operación (TTO) para cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016

MÁQUINAS	TIPO DE FALLA	TIEMPO TOTAL PROGRAMADO PARA PRODUCIR (horas)			TIEMPO PARA RESTAURAR TTR (horas)			TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN TTO (horas)		
		2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
EXCAVADORA	Cavitación en la Bomba hidráulica	2 208	2 416	1 400	48	96	0	2 160	2 320	1 400
	Obstrucción de filtros				30	36	24	2 178	2 380	1 376
	Obstrucción de Baterías				30	36	27	2 178	2 380	1 373
	Uñas rotas				15	20	10	2 193	2 396	1 390
	Rotura de Manguera				12	6	3	2 196	2 410	1 397
	Desgaste de Cadenas				0	8	0	2 208	2 408	1 400
CORTADORA DE CONCRETO	Rotura de Disco	2 208	2 416	1 400	12	12	9	2 196	2 404	1 391
	Obstrucción de Filtros				15	18	9	2 193	2 398	1 391
MARTILLOS HIDRÁULICOS	Quiebre de Punta	8 832	9 664	5 600	78	75	42	8 754	9 589	5 558
COMPACTADORAS	Rotura de Faja	6 624	7 248	4 200	52	56	40	6 572	7 192	4 160
	Obstrucción de Filtros				63	42	24	6 561	7 206	4 176
	Obstrucción de Bujías				33	45	15	6 591	7 203	4 185
CARGADOR FRONTAL	Cavitación en la Bomba hidráulica	2 208	2 416	1 400	96	96	48	2 112	2 320	1 352
	Obstrucción de filtros				33	36	24	2 175	2 380	1 376
	Uñas rotas				25	30	15	2 183	2 386	1 385
	Obstrucción de llantas				5	5	0	2 203	2 411	1 400

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

➤ **TIEMPO MEDIO PARA RESTAURAR (MTTR)**

Es el tiempo promedio para restaurar la función de un equipo, maquinaria, línea o proceso de una falla funcional. Esta incluye tiempo para analizar y diagnosticar la falla, tiempo para conseguir el repuesto, tiempo de planeación y ejecución de la

reparación. El tiempo medio para restaurar, es un indicador de eficiencia de mantenibilidad.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo para restaurar por máquina}}{\text{Número de fallas totales por máquina}}$$

En la siguiente tabla, se detalla el tiempo para reparar y el número de fallas totales para cada máquina, obtenidas de las tablas de análisis de fallos, los que se emplearán para hallar el Tiempo medio para restaurar (MTTR).

Tabla 21. Tiempo medio para restaurar (MTTR) periodo febrero 2014 a julio 2016

TIPO DE MÁQUINA	TIEMPO PARA RESTAURAR TTR (horas)	Número de fallas por máquina	Tiempo medio para restaurar MTTR (horas)
EXCAVADORA	401	81	4,95
CORTADORA DE CONCRETO	75	25	3,00
MARTILLOS HIDRÁULICOS	195	65	3,00
COMPACTADORAS	370	111	3,33
CARGADOR FRONTAL	413	52	7,94
TOTAL			22,23

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 22. Tiempo medio para restaurar (MTTR) para cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016

MÁQUINAS	TIPO DE FALLA	TIEMPO PARA RESTAURAR TTR (horas)			NÚMERO DE FALLAS			TIEMPO MEDIO PARA RESTAURAR MTTR (horas)		
		2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
EXCAVADORA	Cavitación en la Bomba hidráulica	48	96	0	1	2	0	48	48	0
	Obstrucción de filtros	30	36	24	10	12	8	3	3	3
	Obstrucción de Baterías	30	36	27	10	12	9	3	3	3
	Uñas rotas	15	20	10	3	4	2	5	5	5
	Rotura de Manguera	12	6	3	4	2	1	3	3	3
	Desgaste de Cadenas	0	8	0	0	1	0	0	8	0
CORTADORA DE CONCRETO	Rotura de Disco	12	12	9	4	4	3	3	3	3
	Obstrucción de Filtros	15	18	9	5	6	3	3	3	3
MARTILLOS HIDRÁULICOS	Quiebre de Punta	78	75	42	26	25	14	3	3	3
COMPACTADORAS	Rotura de Faja	52	56	40	13	14	10	4	4	4
	Obstrucción de Filtros	63	42	24	21	14	8	3	3	3
	Obstrucción de Bujías	33	45	15	11	15	5	3	3	3
CARGADOR FRONTAL	Cavitación en la Bomba hidráulica	96	96	48	2	2	1	48	48	48
	Obstrucción de filtros	33	36	24	11	12	8	3	3	3
	Uñas rotas	25	30	15	5	6	3	5	5	5
	Obstrucción de llantas	5	5	0	1	1	0	5	5	0

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

➤ **TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA (MTBF)**

Es el tiempo promedio que un equipo, máquina, línea o planta cumple su función sin interrupción debido a una falla funcional. El MTBF es un indicador de confiabilidad.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación por máquina}}{\text{Número de fallas totales por máquina}}$$

A continuación, en la siguiente tabla, se detalla el tiempo total de operación, obtenido anteriormente, y el número de fallas totales para cada máquina, los que se emplearán para hallar el Tiempo Medio entre falla.

Tabla 23. Tiempo medio entre falla (MTBF) periodo febrero 2014 a julio 2016

TIPO DE MÁQUINA	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN TTO (horas)	Número de fallas por máquina	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA MTBF (horas)
EXCAVADORA	5 623	81	69,42
CORTADORA DE CONCRETO	5 949	25	237,96
MARTILLOS HIDRÁULICOS	23 901	65	367,71
COMPACTADORAS	17 702	111	159,48
CARGADOR FRONTAL	5 611	52	107,90
TOTAL			942,47

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 24. Tiempo medio entre falla (MTBF) para cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016

MÁQUINAS	TIPO DE FALLA	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN TTO (horas)			NÚMERO DE FALLAS			TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA MTBF (horas)		
		2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
EXCAVADORA	Cavitación en la Bomba hidráulica	2 160	2 320	1 400	1	2	0	2 160,00	1 160,00	0
	Obstrucción de filtros	2 178	2 380	1 376	10	12	8	217,80	198,33	172,00
	Obstrucción de Baterías	2 178	2 380	1 373	10	12	9	217,80	198,33	152,56
	Uñas rotas	2 193	2 396	1 390	3	4	2	731,00	599,00	695,00
	Rotura de Manguera	2 196	2 410	1 397	4	2	1	549,00	1 205,00	1 397,00
	Desgaste de Cadenas	2 208	2 408	1 400	0	1	0	0	2 408,00	0
CORTADORA DE CONCRETO	Rotura de Disco	2 196	2 404	1 382	4	4	3	549,00	601,00	460,67
	Obstrucción de Filtros	2 193	2 398	1 391	5	6	3	438,60	399,67	463,67
MARTILLOS HIDRÁULICOS	Quiebre de Punta	8 754	9 589	5 558	26	25	14	336,69	383,56	397,00
COMPACTADORAS	Rotura de Faja	6 572	7 192	4 160	13	14	10	505,54	513,71	416,00
	Obstrucción de Filtros	6 561	7 206	4 176	21	14	8	312,43	514,71	522,00
	Obstrucción de Bujías	6 591	7 203	4 185	11	15	5	599,18	480,20	837,00
CARGADOR FRONTAL	Cavitación en la Bomba hidráulica	2 112	2 320	1 352	2	2	1	1 056,00	1 160,00	1 352,00
	Obstrucción de filtros	2 175	2 380	1 376	11	12	8	197,73	198,33	172,00
	Uñas rotas	2 183	2 386	1 385	5	6	3	436,60	397,67	461,67
	Obstrucción de llantas	2 203	2 411	1 400	1	1	0	2 203,00	2 411,00	0

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

3.1.2.4. Indicadores de mantenimiento en las máquinas

Antes de poner en marcha un plan de mantenimiento, se debe tener en cuenta los indicadores de mantenimiento los cuales determinarán el porcentaje de confiabilidad por cada máquina analizada en el diagnóstico de la empresa.

A. Confiabilidad

Es la probabilidad de que un equipo o un sistema, cumpla su misión (función principal) bajo condiciones determinadas, en un periodo determinado. La confiabilidad es por tanto el complemento de la probabilidad de falla, el tiempo medio entre fallas (MTBF) caracteriza la fiabilidad de la máquina.

$$CONFIABILIDAD = \frac{TTO}{TTPP}$$

TTO= Tiempo total de operación

TTPP= Tiempo Total Programado para Producir

Tabla 25. Confiabilidad de las máquinas de la empresa periodo febrero 2014 a julio 2016

TIPO DE MÁQUINA	TIEMPO TOTAL PROGRAMADO PARA PRODUCIR (horas)	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN TTO (horas)	CONFIABILIDAD
EXCAVADORA	6 024	5 623	93,34%
CORTADORA DE CONCRETO	6 024	5 949	98,75%
MARTILLOS HIDRÁULICOS	24 096	23 901	99,19%
COMPACTADORAS	18 072	17 702	97,95%
CARGADOR FRONTAL	6 024	5 611	93,14%

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 26. Confiabilidad por cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016

MÁQUINAS	TIPO DE FALLA	TIEMPO TOTAL PROGRAMADO PARA PRODUCIR (horas)			TIEMPO TOTAL DE OPERACION TIO (horas)			CONFIABILIDAD		
		2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
EXCAVADORA	Cavitación en la Bomba hidráulica	2208	2416	1400	2160	2320	1400	97,83%	96,03%	100,00%
	Obstrucción de filtros				2178	2380	1376	98,64%	98,51%	98,29%
	Obstrucción de Baterías				2178	2380	1373	98,64%	98,51%	98,07%
	Uñas rotas				2193	2396	1390	99,32%	99,17%	99,29%
	Rotura de Manguera				2196	2410	1397	99,46%	99,79%	99,79%
	Desgaste de Cadenas				2208	2408	1400	100,00%	99,67%	100,00%
CORTADORA DE CONCRETO	Rotura de Disco	2208	2416	1400	2196	2404	1382	99,46%	99,50%	98,71%
	Obstrucción de Filtros				2193	2398	1391	99,32%	99,29%	99,36%
MARTILLOS HIDRÁULICOS	Quiebre de Punta	8832	9664	5600	8754	9589	5558	99,12%	99,22%	99,29%
COMPACTADORAS	Rotura de Faja	6624	7248	4200	6572	7192	4160	99,21%	99,23%	99,05%
	Obstrucción de Filtros				6561	7206	4176	99,05%	99,42%	99,43%
	Obstrucción de Bujías				6591	7203	4185	99,50%	99,38%	99,64%
CARGADOR FRONTAL	Cavitación en la Bomba hidráulica	2208	2416	1400	2112	2320	1352	95,65%	96,03%	96,57%
	Obstrucción de filtros				2175	2380	1376	98,51%	98,51%	98,29%
	Uñas rotas				2183	2386	1385	98,87%	98,76%	98,93%
	Obstrucción de llantas				2203	2411	1400	99,77%	99,79%	100,00%

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAFOS S.A.C.

En la tabla anterior se muestra la confiabilidad de las máquinas, la cual nos indicará cuanta seguridad se tiene que la máquina funcione de acuerdo con sus funciones establecidas.

B. Mantenibilidad

Definida como la probabilidad de que un equipo en estado de fallo pueda ser reparado a una condición específica en un periodo de tiempo dado y usando unos recursos determinados, por lo tanto, el tiempo promedio para reparar (TPPR o MTTR) caracteriza la mantenibilidad del equipo.

$$TPPR = \frac{\text{tiempo de averías}}{\text{numero de averías}}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo para restaurar por máquina}}{\text{Número de fallas totales por máquina}}$$

Tabla 27. Mantenibilidad de las máquinas de la empresa periodo febrero 2014 a julio 2016

TIPO DE MÁQUINA	TIEMPO PARA RESTAURAR TTR (horas)	NÚMERO DE FALLAS	MANTENIBILIDAD MTTR (horas)
EXCAVADORA	401	81	4,95
CORTADORA DE CONCRETO	75	25	3,00
MARTILLOS HIDRÁULICOS	195	65	3,00
COMPACTADORAS	370	111	3,33
CARGADOR FRONTAL	413	52	7,94

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 28. Mantenibilidad por cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016

MÁQUINAS	TIPO DE FALLA	TIEMPO PARA RESTAURAR TTR (horas)			NÚMERO DE FALLAS			MANTENIBILIDAD MTTR (horas)		
		2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
EXCAVADORA	Cavitación en la Bomba hidráulica	48	96	0	1	2	0	48	48	0
	Obstrucción de filtros	30	36	24	10	12	8	3	3	3
	Obstrucción de Baterías	30	36	27	10	12	9	3	3	3
	Uñas rotas	15	20	10	3	4	2	5	5	5
	Rotura de Manguera	12	6	3	4	2	1	3	3	3
	Desgaste de Cadenas	0	8	0	0	1	0	0	8	0
CORTADORA DE CONCRETO	Rotura de Disco	12	12	9	4	4	3	3	3	3
	Obstrucción de Filtros	15	18	9	5	6	3	3	3	3
MARTILLOS HIDRÁULICOS	Quiebre de Punta	78	75	42	26	25	14	3	3	3
COMPACTADORAS	Rotura de Faja	52	56	40	13	14	10	4	4	4
	Obstrucción de Filtros	63	42	24	21	14	8	3	3	3
	Obstrucción de Bujías	33	45	15	11	15	5	3	3	3
CARGADOR FRONTAL	Cavitación en la Bomba hidráulica	96	96	48	2	2	1	48	48	48
	Obstrucción de filtros	33	36	24	11	12	8	3	3	3
	Uñas rotas	25	30	15	5	6	3	5	5	5
	Obstrucción de llantas	5	5	0	1	1	0	5	5	0

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

En la tabla anterior se puede evidenciar la mantenibilidad de las operaciones de acuerdo a su falla, es decir el tiempo que tarda en promedio para que el equipo vuelva a sus condiciones operativas, como se puede observar, la máquina que presenta menor tiempo de reparación son los martillos hidráulicos y la cortadora de concreto, puesto que se emplean 3 horas para que vuelva funcionar correctamente al reparar la falla de quiebre de punta (martillos hidráulicos), y rotura de disco y obstrucción de filtros (cortadora de concreto).

C. Disponibilidad

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función principal para la cual fue destinado.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{TPEF}{TPEF + TPPR}$$

TPEF: tiempo promedio entre fallas

TPPR: tiempo promedio para reparar

$$TPPR = \frac{\text{tiempo de averías}}{\text{numero de averías}}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

MTBF: tiempo medio entre fallas

MTTR: tiempo medio para reparar

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación por máquina}}{\text{Número de fallas totales por máquina}}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo para restaurar por máquina}}{\text{Número de fallas totales por máquina}}$$

Tabla 29. Disponibilidad de las máquinas de la empresa periodo febrero 2014 a julio 2016

TIPO DE MÁQUINA	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA MTBF (horas)	TIEMPO MEDIO PARA RESTAURAR MTTR (horas)	DISPONIBILIDAD
EXCAVADORA	69,42	4,95	93,34%
CORTADORA DE CONCRETO	237,96	3,00	98,75%
MARTILLOS HIDRÁULICOS	367,71	3,00	99,19%
COMPACTADORAS	159,48	3,33	97,95%
CARGADOR FRONTAL	107,90	7.94	93,14%

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 30. Disponibilidad por cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016

MÁQUINAS	TIPO DE FALLA	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS MIBF (horas)			TIEMPO MEDIO PARA REPARAR MTIR (horas)			DISPONIBILIDAD		
		2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
EXCAVADORA	Cavitación en la Bomba hidráulica	2160,00	1160,00	0,00	48	48	0	97,83%	96,03%	0,00%
	Obstrucción de filtros	217,80	198,33	172,00	3	3	3	98,64%	98,51%	98,29%
	Obstrucción de Baterías	217,80	198,33	152,56	3	3	3	98,64%	98,51%	98,07%
	Uñas rotas	731,00	599,00	695,00	5	5	5	99,32%	99,17%	99,29%
	Rotura de Manguera	549,00	1205,00	1397,00	3	3	3	99,46%	99,75%	99,79%
	Desgaste de Cadenas	0,00	2408,00	0,00	0	8	0	0,00%	99,67%	0,00%
CORTADORA DE CONCRETO	Rotura de Disco	549,00	601,00	460,67	3	3	6	99,46%	99,50%	98,71%
	Obstrucción de Filtros	438,60	399,67	463,67	3	3	3	99,32%	99,25%	99,36%
MARTILLOS HIDRAULICOS	Quiebre de Punta	336,69	383,56	397,00	3	3	3	99,12%	99,22%	99,25%
COMPACTADORAS	Rotura de Faja	505,54	513,71	416,00	4	4	4	99,21%	99,23%	99,05%
	Obstrucción de Filtros	312,43	514,71	522,00	3	3	3	99,05%	99,42%	99,43%
	Obstrucción de Bujías	599,18	480,20	837,00	3	3	3	99,50%	99,38%	99,64%
CARGADOR FRONTAL	Cavitación en la Bomba hidráulica	1056,00	1160,00	1352,00	48	48	48	95,65%	96,03%	96,57%
	Obstrucción de filtros	197,73	198,33	172,00	3	3	3	98,51%	98,51%	98,29%
	Uñas rotas	436,60	397,67	461,67	5	5	5	98,87%	98,76%	98,93%
	Obstrucción de llantas	2203,00	2411,00	0,00	5	5	0	99,77%	99,79%	0,00%

Fuente: EMPRESA HYDROPATAFOS, S.A.C.

En la tabla presentada anteriormente, se puede apreciar la disponibilidad la cual es hallada por medio del tiempo promedio entre fallas; el cual, calcula el tiempo que pasa para que vuelva a ocurrir una falla, así como también se usa el tiempo promedio para reparar; el cual, es el tiempo que se emplea para reparar y volver a sus condiciones de funcionamiento. Mediante estos dos cálculos se halla la disponibilidad, para saber la probabilidad de que una máquina estará disponible para el momento en el que se tenga que producir.

3.1.2.5. Análisis de los indicadores de mantenimiento

A continuación, se presentan los siguientes gráficos en donde se representan la variación de los indicadores de mantenimiento de cada máquina en el periodo de febrero 2014 a julio 2016.

A. Confiabilidad

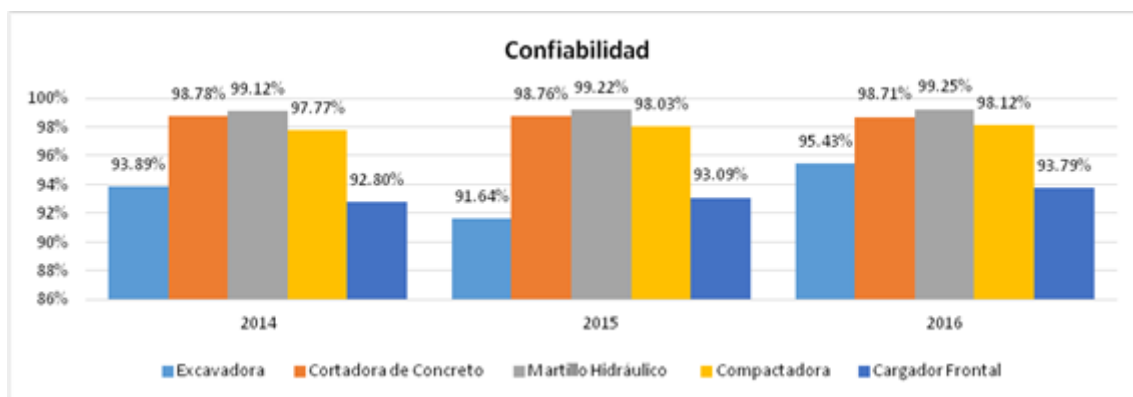


Figura 27. Variación del indicador de mantenimiento confiabilidad en el periodo de febrero 2014 a julio 2016.

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

En el gráfico se puede apreciar el comportamiento del indicador, en donde se puede apreciar que el porcentaje de confiabilidad del tiempo analizado en el cual la máquina que se encuentra con mayor disponibilidad para trabajar es el martillo hidráulico, el cual cuenta con probabilidad de operar sin fallas durante el periodo estipulado, siendo la menos confiable el cargador frontal.

B. Mantenibilidad

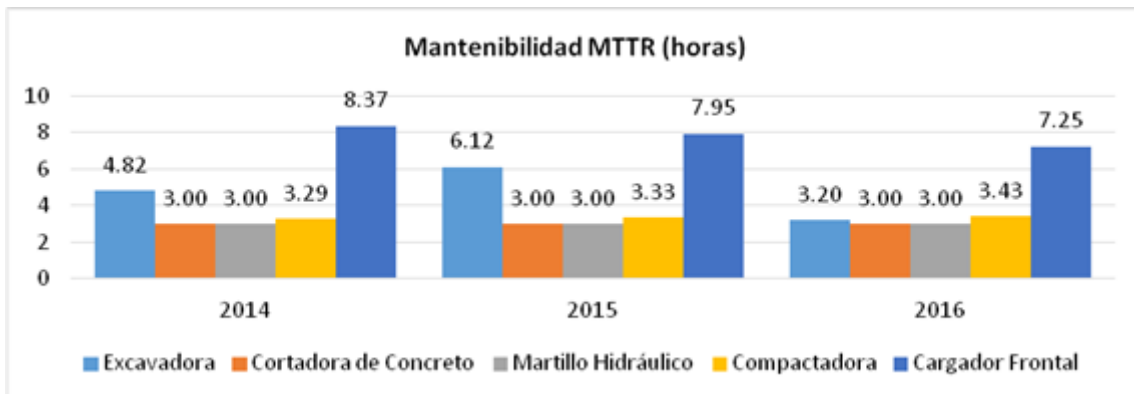


Figura 28. Variación del indicador de mantenimiento mantenibilidad en el periodo de febrero 2014 a julio 2016.

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

En el gráfico se puede apreciar el comportamiento del indicador mantenibilidad respecto a las máquinas que presentan fallas en la empresa, en donde se puede apreciar que tanto la máquina cortadora de concreto y martillo hidráulico cuentan con una probabilidad uniforme de poder ejecutar una actividad determinada de mantenimiento en un transcurso de 3 horas cada una, siendo la de mayor duración para ejecutar un mantenimiento es la máquina cargador frontal.

C. Disponibilidad

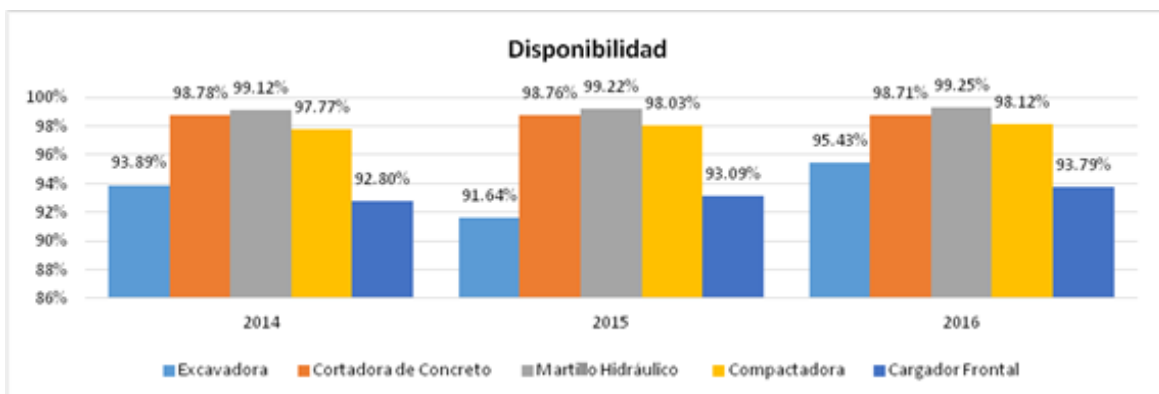


Figura 29. Variación del indicador de mantenimiento disponibilidad en el periodo de febrero 2014 a julio 2016.

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

En el gráfico se puede apreciar el comportamiento del indicador disponibilidad respecto a las máquinas que presentan fallas en la empresa, en donde se puede

apreciar que el porcentaje de disponibilidad en el cual la máquina está disponible para trabajar es del 99,25% para la máquina martillo hidráulico, siendo la de menos disponibilidad la máquina excavadora con un porcentaje de 91,64% de probabilidad de que pueda operar sin fallas durante el periodo estipulado.

3.1.2.6. Actividad de mantenimiento

Expresada como el porcentaje dado por la relación entre horas-hombre de mantenimiento, divididas por el total de horas hombre de la planta.

$$\text{Actividad de mantenimiento} = \frac{\text{horas - hombre de mantenimiento}}{\text{horas - hombre de la producción}}$$

Tabla 31. Actividad de mantenimiento por cada máquina periodo febrero 2014 a julio 2016

TIPO DE MÁQUINA	Horas - Hombre de mantenimiento	Horas - Hombre de la producción	Actividad de mantenimiento
EXCAVADORA	401	5 623	7,13%
CORTADORA DE CONCRETO	75	5 949	1,26%
MARTILLOS HIDRÁULICOS	195	23 901	0,82%
COMPACTADORAS	370	17 702	2,09%
CARGADOR FRONTAL	413	5 611	7,36%

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Según la tabla anterior, la actividad de mantenimiento que más tiempo tarda es el cargador frontal y la excavadora, es decir que estas fallas, son las que más tiempo le toma a la empresa para que sea solucionada, así como la de menor actividad es el martillo hidráulico.

3.1.2.7. Porcentaje de tiempo de parada

Determinado por la relación entre el total de tiempo de parada por concepto de mantenimiento, sobre el total de tiempo dedicado a producción.

$$\% \text{ de tiempo de parada} = \frac{\text{tiempo de parada por mantenimiento}}{\text{tiempo total de producción}}$$

Tabla 32. Porcentaje de tiempo de parada por máquina periodo febrero 2014 a julio 2016

TIPO DE MÁQUINA	Tiempo de parada por mantenimiento (horas)	Tiempo total de producción (horas)	Porcentaje de tiempo de parada
EXCAVADORA	401	5 623	7,13%
CORTADORA DE CONCRETO	75	5 949	1,26%
MARTILLOS HIDRÁULICOS	195	23 901	0,82%
COMPACTADORAS	370	17 702	2,09%
CARGADOR FRONTAL	413	5 611	7,36%

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

En la tabla anterior, se puede apreciar que el mayor porcentaje de tiempo de parada por mantenimiento lo tienen dos máquinas las cuales son: la excavadora y el cargador frontal. La máquina excavadora cuenta con un tiempo de parada por mantenimiento de 401 horas, mientras que la máquina: cargador frontal unas 413 horas de tiempo de parada por tiempo de mantenimiento. Estas fallas, al tener un porcentaje mayor respecto de las máquinas cortadoras de concreto, martillos hidráulicos y compactadoras, son las que más tiempo le toma a la empresa darles mantenimiento, obteniendo así un mayor porcentaje de tiempo de parada perjudicando de producción de las mismas. Los resultados del porcentaje de tiempo de parada en cuanto a orden son los mismos que la actividad de mantenimiento, puesto que la actividad de mantenimiento comienza junto con el tiempo de parada y terminan de la misma manera.

3.1.2.8. Porcentaje de decremento de producción

El porcentaje de decremento de producción se encuentra dado por la relación entre las horas-hombre de mantenimiento usadas y las horas hombre de producción, que son las horas ejecutadas.

$$\% \text{ decremento de producción} = \frac{\text{horas} - \text{hombre de mantenimiento}}{\text{horas hombre de producción}}$$

Tabla 33. Porcentaje de decremento de producción por máquina periodo febrero 2014 a julio 2016

TIPO DE MÁQUINA	Horas - Hombre de mantenimiento	Horas - Hombre de la producción	% Tiempo de parada
EXCAVADORA	401	5 623	7,13%
CORTADORA DE CONCRETO	75	5 949	1,26%
MARTILLOS HIDRÁULICOS	195	23 901	0,82%
COMPACTADORAS	370	17 702	2,09%
CARGADOR FRONTAL	413	5 611	7,36%

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

En esta tabla, al igual la tabla 32, los resultados son los mismos, puesto que es el porcentaje de tiempo que las máquinas están paradas, demuestran que la producción decreció.

Con el objetivo de conocer cuál es el estado actual de la empresa en cuanto al mantenimiento, se da importancia al número de interrupciones que, a la duración de las mismas, es por esto que se valora más la cantidad presente interrumpida que el número de operarios interrumpidos.

En lo que concierne a la aplicación de criterios principales que se deben implementar al momento de realizar un programa de mantenimiento preventivo, se presenta el siguiente diagnóstico que nos servirá como base para la generación de los indicadores.

3.2. DETERMINAR LOS PUNTOS CRÍTICOS DE LAS FALLAS EN LAS MÁQUINAS

Para la realización de este punto, se realizó un diagrama de Pareto con el fin de determinar cuál es la máquina más crítica respecto a los costos de reparación que se incurren en las máquinas que presentan fallas.

3.2.1. Diagrama de Pareto y determinación de la máquina crítica

En el siguiente Diagrama de Pareto se ha tomado en cuenta los costos de reparación que enfrenta la empresa al presentarse una falla en el periodo febrero 2014 a julio 2016, los cuales fueron procesados con el software IBM - SPSS¹ (ver anexo 3), herramienta de control que sirvió para procesamiento de los datos. Se toma en cuenta para la realización de este punto las siguientes máquinas:

¹ Statistical Package for the Social Sciences, software de análisis estadístico que presenta las funciones principales necesarias para realizar el proceso analítico de principio a fin.

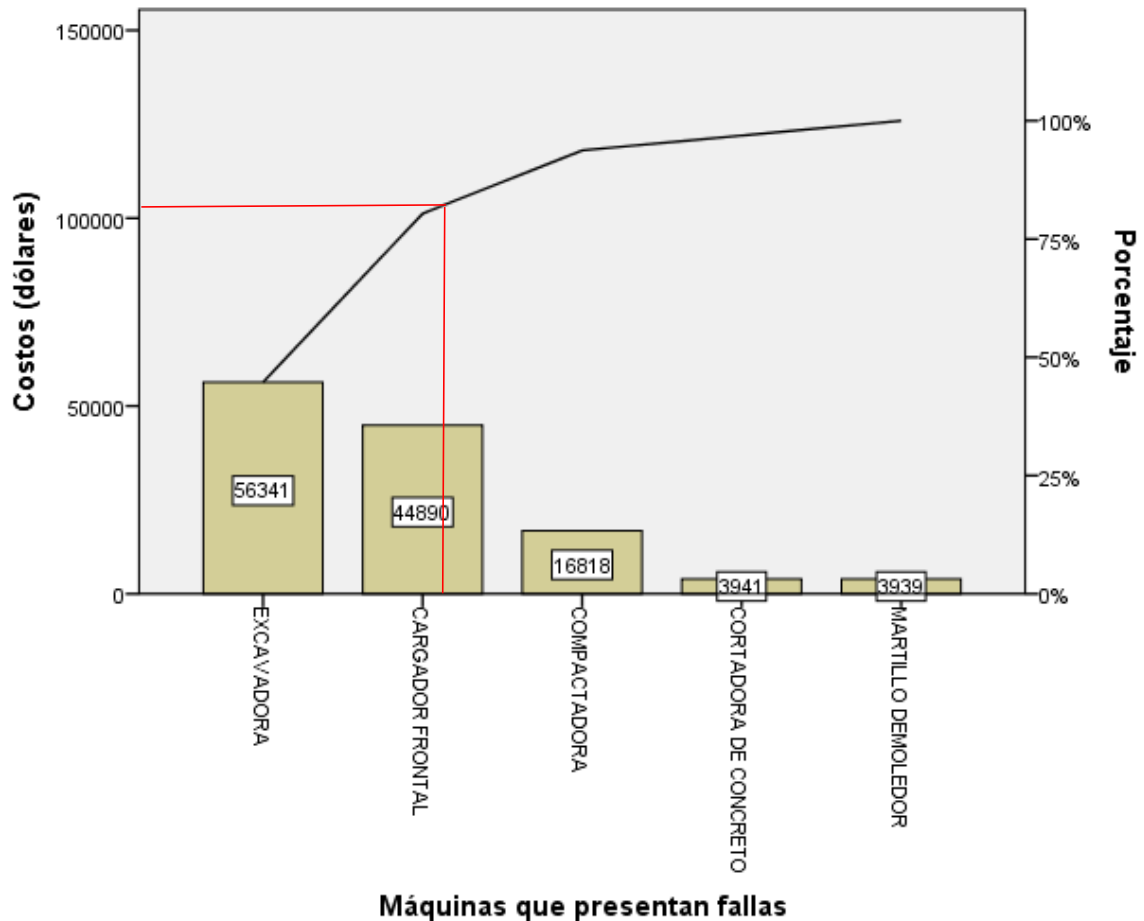


Figura 30. Diagrama de Pareto del Tiempo de inoperatividad de las máquinas
 Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Por el principio de Pareto, se puede expresar de la figura anterior que de acuerdo a los costos de reparación de las fallas que se presentan en las máquinas de la empresa, las máquinas con mayores tiempos son: excavadora y cargador frontal. En estas máquinas se encuentran los siguientes problemas:

- Obstrucción en los filtros, en las uñas y en las cadenas.
- Fallas en la bomba hidráulica y baterías.
- Falta de herramientas para el mantenimiento.
- Personal poco capacitado.
- Falta de seguimiento en prácticas operativas.
- Falta de procedimientos de trabajo.

Si se eliminan las causas que lo provocan (que corresponde al 20%), desaparecería la mayor parte de los defectos o problemas por eso se requiere solucionarlos. Si se eliminan o reducen el número de horas de inoperatividad en las máquinas podrá obtener una mejor eficiencia en el servicio brindado.

Tal y como se puede apreciar, el mayor número de porcentaje lo toma la máquina excavadora, determinándola, así como el proceso crítico por mejorar.

3.3. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN RCM

Para el desarrollo de este punto, se hizo la propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM, el cual es necesario puesto que presenta un conjunto de actividades coordinadas que dirigen y controlan el proceso de mantenimiento. En primer lugar, se realizó el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para la empresa. Posteriormente, se ejecutó la metodología RCM para desarrollar la planificación del programa de mantenimiento. Finalmente se elaboró un análisis de modo de falla y efectos (AMFE).

3.3.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Para el desarrollo del sistema de gestión, se elaborarán los procedimientos que conduzcan dicho proceso basado en la metodología de RCM, que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siete preguntas mostradas en la siguiente figura.

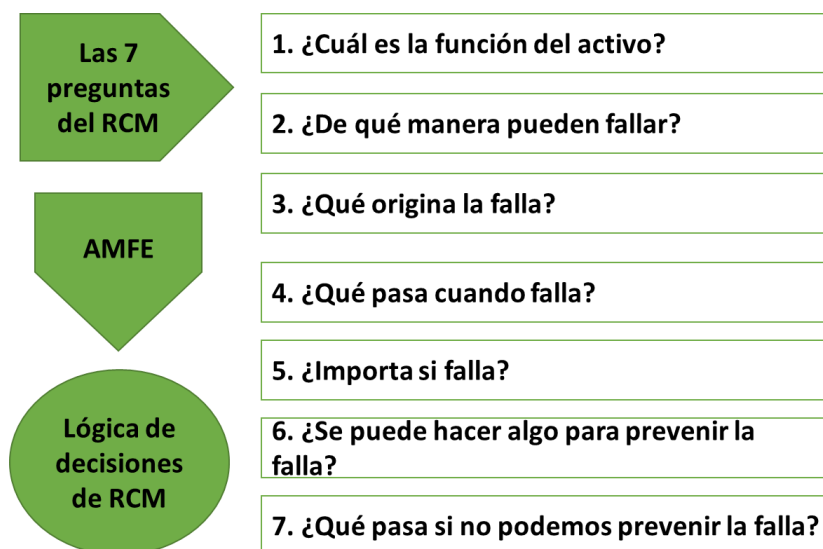


Figura 31. Las siete preguntas del RCM

Fuente: Moubray (2011)

El éxito del proceso de implantación del RCM en la empresa dependerá básicamente del trabajo del equipo de RCM, el cual se encargará de responder las siete preguntas básicas del RCM. Las herramientas claves para la aplicación del RCM son:

- AMFE: (Análisis de los Modos de Falla y Efecto) Herramienta fundamental que utiliza el RCM para responder las siete preguntas básicas. Esta herramienta que permite identificar los efectos o consecuencias de los

modos de fallos de cada activo en su contexto operacional. A partir de esta técnica se obtienen las respuestas a las preguntas 1, 2, 3, 4 y 5.

- **Árbol lógico de decisión:** Herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del RCM. A partir del árbol de decisión se obtienen las respuestas a las preguntas 6 y 7.

A) **DISEÑO**

Para el desarrollo del sistema, de lo expuesto en el punto 3.1, se demostró la situación actual de la empresa, y lo expuesto nos servirá de base para el diseño del sistema.

Determinadas las condiciones operativas actuales de mantenimiento en la empresa HYDRO PATAPO S.A.C., las cuales no se ajustan a la realidad operacional de la empresa, se buscará aplicar una propuesta de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Preventivo basado en RCM. El sistema mencionado se puede observar en el (anexo 5).

Es así que, dentro de este nuevo sistema de gestión de mantenimiento preventivo, tiene que reestructurarse una serie de elementos que se realizan en el actual mantenimiento; el cual es del tipo correctivo, tanto de carácter administrativo como operativo, los cuales se mencionan a continuación.

a. **Se estableció la política y los objetivos del sistema de mantenimiento.**

Para realizar el diseño del Sistema de Gestión de Mantenimiento, se inició con la creación de una política de mantenimiento y la definición de objetivos, los cuales se encuentra orientados a la responsabilidad de ejecutar las actividades de mantenimiento cumpliendo con las normas legales vigentes y de la organización (ver anexo 5).

b. **Elaboración de Actividades.**

Se elaboró una lista de actividades de mantenimiento preventivo (ver anexo 5), para cada una de las máquinas con las que cuenta la empresa, mediante la ayuda de manuales para los mismos y por recomendaciones del Jefe de Obra de la empresa.

Las actividades se dividieron en dos instancias:

✓ En primera instancia en dos grupos:

- **Actividades de responsabilidad del operario:** las cuales constan de actividades simples como limpieza y lubricación.
- **Actividades de responsabilidad del personal de mantenimiento:** estas actividades necesitan un conocimiento más avanzado de mantenimiento, por lo que no sería prudente encargar dichas actividades a los operarios que no se encuentran por el momento capacitados para realizarlas.

✓ En segunda instancia se dividieron las tareas según su tiempo de repetición.

- Actividades anuales: principalmente formadas por cambios de cadenas o llantas de las maquinarias o tareas complejas que necesitan una gran cantidad de horas para su realización.
- Actividades semestrales: conformadas en su mayoría por revisiones de partes de difícil acceso como los motores de las máquinas.
- Actividades mensuales: de mayor facilidad y que no requieren mucho tiempo del personal de mantenimiento.
- Actividades diarias y semanales: se reparten entre los operarios de cada máquina y el personal de mantenimiento, son actividades que no pasan los 40 minutos para su desarrollo.

c. Elaboración del Manual de Mantenimiento Preventivo y su procedimiento.

Se procedió a la elaboración del manual de mantenimiento con el fin de determinar las actividades a realizar dentro de empresa para la realización del mantenimiento preventivo (ver anexo 5).

d. Elaboración de las actividades de comunicación interna y capacitación.

Se sabe que muchas fallas se podrían evitar si el personal encargado de manipular la maquinaria conociera en profundidad su estructura y funcionamiento, para así poder monitorear el estado en el que se encuentra el personal de trabajo. Para la elaboración de las actividades de comunicación interna y capacitación, se realizó un cronograma de las actividades (ver anexo 5).

B) LANZAMIENTO

Una vez diseñada la propuesta del sistema, antes de su implementación, se deberá dar a conocer a todo el personal de mantenimiento y el personal en general, mediante charlas de capacitación y concientización, las cuales se realizarán durante antes y durante la implementación del sistema. El cronograma de actividades se puede apreciar en el anexo 5.

3.3.2. METODOLOGÍA DEL RCM

3.3.2.1. PLANIFICACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Las consideraciones necesarias para la planificación correcta del mantenimiento y de acuerdo con la justificación anteriormente descrita, se la realiza mediante la herramienta de la calidad 5W y 1H, de tal forma que se siguen los siguientes lineamientos.

i. WHAT - ¿QUÉ SE HA ESTADO HACIENDO?

La estrategia de mantenimiento que se ha estado realizando, es un mantenimiento correctivo, por lo cual el operario espera a que la maquinaria falle para poder solucionar los problemas que esta presenta, lo cual implica desmontar el sistema mecánico, el sistema hidráulico y finalmente el sistema

eléctrico; hasta encontrar la causa de la falla de la maquinaria, este proceso se lo realiza en este orden debido a que el encargado de mantenimiento posee mayor conocimiento de la parte mecánica de la maquinaria, pero poca experiencia en el sistema eléctrico, además cabe recalcar que en la maquinaria el sistema que más falla es el sistema mecánico.

- ii. **WHO – ¿QUIÉN LO ESTÁ HACIENDO?**
Las personas que realizan el mantenimiento en la maquinaria son o el operario y el técnico al que se lo contrata cuando el operario de mantenimiento no puede arreglar la falla. El operario de mantenimiento es una persona de gran experiencia la adquirió de trabajos anteriores, pero posee escaso conocimiento del sistema eléctrico, por lo que es necesario contratar a personas externas para cubrir estas falencias que se, de tal manera que se puedan cumplir con los objetivos planteados.
- iii. **WHEN - ¿CUÁNDO SE HARÁ?**
El plan de mantenimiento propuesto se realiza por condición a las horas de uso de la maquinaria, por lo cual, para una buena ejecución del mismo, la máquina debe tener un controlador de horas, para saber cuándo el personal de mantenimiento debe realizar las acciones correctivas pertinentes. Se debe evitar el mantenimiento correctivo, se debe prevenir y planificar un mantenimiento preventivo para que esto no suceda.
- iv. **WHY - ¿POR QUÉ DEBE HACERSE?**
HYDRO PATAPO S.A.C., al ser una empresa privada debe implementar una nueva estrategia de mantenimiento para mantener prestigio, pero para esto debe evitar paros imprevistos en la maquinaria, ya que esto le puede ocasionar el incremento en los costos de producción.
- v. **WHERE - ¿DÓNDE DEBERÍA HACERSE?**
Todas las actividades de mantenimiento se deben realizar en el lugar de trabajo de la empresa, ya que esta cuenta, con la infraestructura necesaria, y debe contar con un almacén con herramientas, y repuestos necesarios para una buena ejecución de mantenimiento.
- vi. **HOW - ¿CÓMO DEBERÍA HACERSE?**
La estrategia de mantenimiento que se va utilizar es un mantenimiento preventivo basado en el RCM, por lo tanto, se debe tratar de cumplir con los requerimientos y los objetivos planteados. Esta estrategia sirve como base para la propuesta de la implementación de futuros programas de mantenimiento, puesto que en la presente investigación lo que se va hacer es determinar la máquina más crítica, y en esta máquina se definen métodos para reducir paros imprevistos y aumentar su disponibilidad, lo cual se registra en un formato para mantenimiento que permite administrar de mejor manera la documentación de la maquinaria.
- vii. **ACTIVIDADES PARA REALIZAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO**
El plan de mantenimiento a desarrollar es un proceso analítico y sistemático, por lo que se desplegarán varias alternativas para tratar de implementar un sistema de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad, puesto que, por

petición del gerente de la empresa, la máquina primordial en la construcción de los proyectos tenga disponibilidad total y trabaje como originalmente vino de fábrica, esto se realizará mediante:

- Elaboración del registro de mantenimiento.
- Inventario de la maquinaria operativa y su codificación.
- Priorización de la maquinaria.
- Diagrama de Pareto para la identificación de subsistema problemáticos.
- El método AMFE (Análisis Modal de Falla y Efecto), para analizar fallas potenciales y brindar las posibles soluciones.
- Mantenimiento preventivo a tiempo variable, debido a las condiciones de trabajo de la maquinaria.

A. ELABORACIÓN DEL REGISTRO DE MANTENIMIENTO

Es un documento utilizado para registrar reportes diarios de las actividades realizadas por el personal de mantenimiento, en las cuales se registra el historial de averías de cada una de las máquinas y/o equipos, facilitando el control para próximos mantenimientos, puesto que reduce y optimiza los tiempos y costos del mismo (ver anexo 5).

Es una herramienta muy importante para el mantenimiento preventivo, puesto que permite conocer las máquinas que más problemas dan en el transcurso del tiempo, y a partir de ello establecer una estrategia para eliminar dichas fallas.

El formato no solo servirá para registrar las actividades diarias de mantenimiento, sino también cuando existan paros imprevistos o para la planificación de mantenimientos futuros, el jefe de mantenimiento debe utilizar este documento y hacerlo parte de su trabajo diario junto con sus colaboradores.

B. INVENTARIO DE LA MAQUINARIA OPERATIVA Y SU CODIFICACIÓN

La maquinaria de la empresa se describió de manera más amplia en el punto 3.1.1.2., de la presente investigación, a continuación, se resume la maquinaria que opera actualmente en la empresa con su código asignado.

Tabla 34. Codificación maquinaria operativa

MÁQUINAS	MODELO	MARCA	CÓDIGO
Excavadora	320	Caterpillar	EX1
Cortadora de concreto	Q450 13HP	Honda	CC1
Martillo Hidráulico	GSH 27	Bosch	MH1
Compactadora	7 HP	Kormax	MC1
Cargador frontal	L150G	Volvo	CF1

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

C. PRIORIZACIÓN DE LA MAQUINARIA

Para la elaboración del plan de mantenimiento es indispensable realizar el proceso de priorización de la maquinaria existente en la empresa HYDRO PATAPO S.A.C., con el fin de conocer cuál es la máquina más importante, su influencia con respecto a los diferentes procesos en el desarrollo de proyectos, y así poner todo el esfuerzo y conocimientos en la elaboración del plan preventivo para dicha máquina.

En el proceso de priorización intervienen varias máquinas que fueron identificadas para cada proceso en puntos anteriores. En la priorización de la maquinaria es necesario analizar varios criterios y factores que intervienen como:

- Importancia de la maquinaria.
- Horas de trabajo de la maquinaria.
- Mantenimiento de la maquinaria.
- Seguridad de la maquinaria en el proceso.

Estos criterios y factores son tomados después de realizar un sondeo y posterior análisis con el personal que opera y realiza el mantenimiento de las máquinas, puesto que su opinión es muy importante por la experiencia que conlleva su trabajo.

a) IMPORTANCIA DE LA MAQUINARIA

En este análisis se busca relacionar la maquinaria entre sí en las diferentes líneas de procesos que intervienen en la construcción de carreteras e identificar su importancia por proceso. Para esto se incluye la siguiente tabla, en la que se indica el índice de importancia.

Tabla 35. Importancia de la maquinaria en el proceso

BAJA	MEDIA	ALTA
0,5	1	2
Menos importante en el proceso.	Igual de importante en el proceso.	Muy importante en el proceso.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en las tablas siguientes, se muestra el análisis de importancia de la maquinaria en el proceso:

Tabla 36. Priorización para la apertura de camino/carretera según la importancia

MÁQUINAS	Excavadora	Cortadora de concreto	Martillo Hidráulico	Compactadora	Cargador frontal	TOTAL FILA
Excavadora		1	1	1	2	5
Cortadora de concreto	1		0,5	0,5	1	3
Martillo Hidráulico	1	1		0,5	0,5	3
Compactadora	0,5	0,5	0,5		0,5	2
Cargador frontal	2	1	0,5	0,5		4

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

b) HORAS DE TRABAJO DE LA MAQUINARIA

Para el análisis de la maquinaria con respecto a las horas de trabajo hay que realizar un estimado del tiempo de operación semanal, en una jornada de 8 horas diarias, sin embargo, se debe tener en cuenta que el proceso es de forma lineal y secuencial, por lo que la maquinaria trabaja en una misma semana.

Para la priorización de la maquinaria según las horas de trabajo se incluyen las siguientes tablas, en las que indica los rangos de prioridad y las horas de trabajo de la maquinaria respectivamente.

Tabla 37. Rango horas de trabajo

BAJA	MEDIA	ALTA
0,5	1	2
Menos de 10 000 horas al año.	Entre 10 001 y 20 000 horas al año.	Más de 20 000 horas al año.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Horas de trabajo de la maquinaria

MÁQUINAS	HORAS DE TRABAJO	HORAS NO TRABAJADAS	HORAS DE TRABAJO REAL	PESO POR AÑO
Excavadora	6 024	401	5 623	0,5
Cortadora de concreto	6 024	75	5 949	0,5
Martillo Hidráulico	24 096	195	23 901	2
Compactadora	18 072	370	17 702	1
Cargador frontal	6 024	413	5 611	0,5

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

c) MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA

En el análisis de la priorización de la maquinaria con respecto al criterio del mantenimiento se requiere utilizar las horas de paro que se realiza para hacer el trabajo de dichas máquinas, basado en la experiencia del personal. Además, uno de los factores influyentes es la frecuencia de uso de cada máquina. Para esto se incluyen a continuación los rangos de prioridad y las horas de paro de la maquinaria respectivamente.

Tabla 39. Frecuencia de paro

BAJA	MEDIA	ALTA
0,5	1	2
Menos frecuente. Menor a 100 horas.	Igual de frecuente. Entre 100 a 400 horas.	Muy frecuente. Mayor a 400 horas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Mantenimiento de la maquinaria según la frecuencia de horas de paro

MÁQUINAS	HORAS NO TRABAJADAS	PESO POR AÑO
Excavadora	401	2
Cortadora de concreto	75	0,5
Martillo Hidráulico	195	1
Compactadora	370	1
Cargador frontal	413	2

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

d) SEGURIDAD DE LA MAQUINARIA EN EL PROCESO

En el análisis con respecto al criterio de la seguridad de la maquinaria conlleva el hecho de identificar los índices de riesgo para el personal tanto de operadores como para el personal de mantenimiento.

Para este caso se incluyen las siguientes tablas, en las que indica los rangos de seguridad y la influencia en cada máquina.

Tabla 41. Rangos de Seguridad

NULA	CONSIDERABLE	GRAVE
0,5	1	2
No presenta riesgo para el personal.	Riesgo moderado para el personal.	Presenta riesgo para el personal.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Seguridad de la maquinaria en el proceso

MÁQUINAS	RANGOS DE SEGURIDAD	PESO POR AÑO
Excavadora	Grave	2
Cortadora de concreto	Considerable	1
Martillo Hidráulico	Considerable	1
Compactadora	Considerable	1
Cargador frontal	Grave	2

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

D. IDENTIFICACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS

Es necesario realizar un análisis de todas las máquinas, mediante la relación existente con el número de fallas que se producen en estas, usando el diagrama de Pareto, después de lo cual se podrá identificar cual es el subsistema que produce la mayoría de los problemas en esta máquina. A continuación, en la siguiente tabla, se muestra el número de fallas totales entre los años 2014 y 2016.

Tabla 43. Número de fallas totales periodo 2014-2015

MÁQUINAS	NÚMERO DE FALLAS -2014	NÚMERO DE FALLAS -2015	NÚMERO DE FALLAS -2016
Excavadora	28	33	20
Cortadora de concreto	9	10	6
Martillo Hidráulico	26	25	14
Compactadora	45	43	23
Cargador frontal	19	21	12

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

E. PRINCIPIO DE PARETO PARA LAS MÁQUINAS

Pareto es un método gráfico de análisis que permite afirmar que en todo grupo de factores que contribuyen a un mismo efecto, unos pocos son responsables de la mayor parte de dicho efecto. Se expone que el 80% de los problemas suscitados en la máquina es ocasionado por el 20% de los subsistemas.

El resultado de los pasos a), b), c) d) de los puntos anteriores, determinaron que los puntos críticos; mediante la metodología nombrada, el mayor número de puntos lo toman las máquinas: excavadora (10 puntos) y cargador frontal (8 puntos), determinándolas como los procesos críticos y como subsistema a mejorar.

F. IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y COMPONENTES DEL SUBSISTEMA

Una vez identificado el subsistema, es necesario determinar sus elementos que lo componen, para establecer fallas producidas comúnmente, a continuación, se muestran los elementos más importantes de la máquina.

Tabla 44. Elementos y defectos de la máquina

MÁQUINA	PARTE DEFECTUOSA	DEFECTO
Excavadora	Motor, brazo y cucharón	Rotura de manguera
		Obstrucción de uñas
		Obstrucción de filtros
		Obstrucción de baterías

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

G. FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS Y COMPONENTES DEL SUBSISTEMA

Una vez conocidos los elementos de la máquina se requiere detallar las funciones que cumplen dentro de ella, de manera específica. A continuación, se muestra este requerimiento.

Tabla 45. Componentes y funciones

ELEMENTO	FUNCIÓN
Manguera	Conducen el aceite hidráulico a grandes presiones desde las válvulas a los cilindros o los motores de traslación.
Filtros	Retener partículas extrañas del fluido hidráulico y mantener limpio el sistema hidráulico.
Baterías	Proporcionan energía al motor.
Uñas	Son los elementos que permiten realizar la excavación.

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

H. CODIFICACIÓN DEL SISTEMA, SUBSISTEMA Y COMPONENTES Y/O ELEMENTOS

Para el desarrollo de la estrategia de mantenimiento es indispensable codificar al sistema, los subsistemas y demás componentes tratando de que sea comprensible y de fácil de la siguiente manera: XX-YY-ZZ, en donde:

XX= Siglas del Sistema

YY= Siglas del subsistema

ZZ: Sigla sdel Componente

3.3.3. ÁRBOL DE DECISIÓN

Previamente al desarrollo de las hojas de información y de decisiones, se presentan los siguientes árboles de falla de las dos máquinas críticas, los cuales darán mayor información sobre las causas de las fallas de los activos fijos en la empresa HYDRO PATAPO S.A.C., cuya realización permitirá elaborar el AMEF.

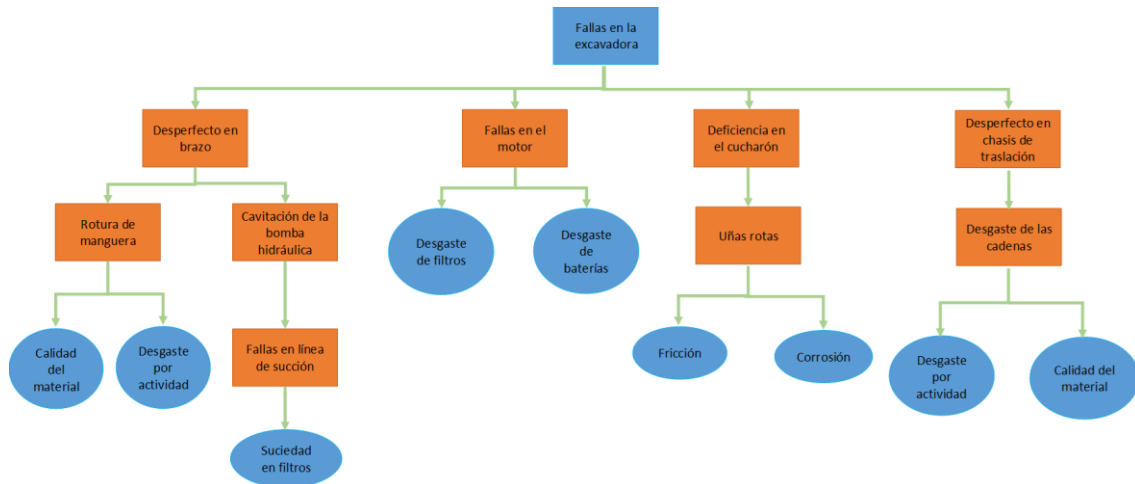


Figura 32. Árbol de decisión de máquina excavadora

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

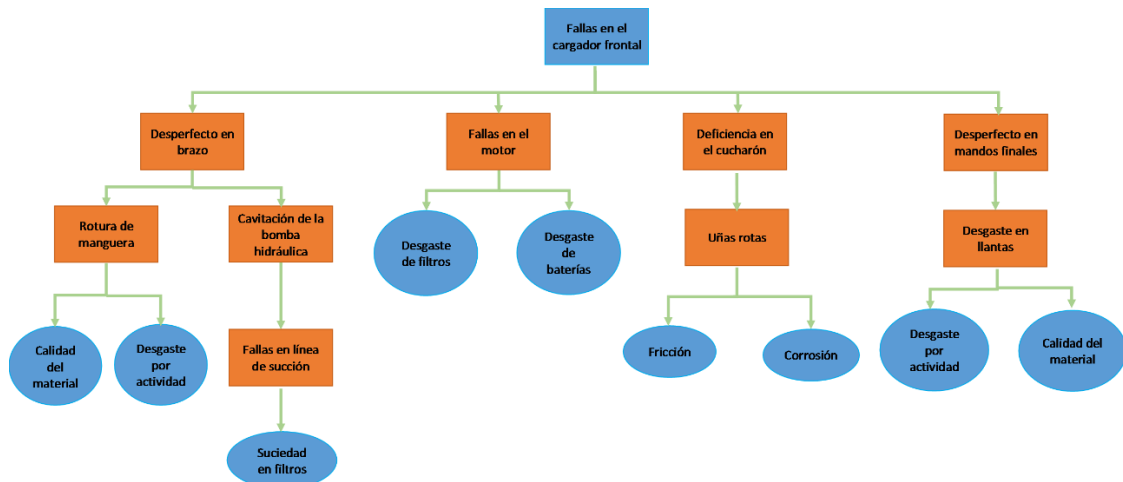


Figura 33. Árbol de decisión de máquina cargador frontal

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

3.3.4. ANÁLISIS DE MODO DE FALLA Y EFECTOS (AMFE)

En los siguientes cuadros se expone el desarrollo del AMFE de las máquinas a las cuales se implementará un mantenimiento preventivo.

A. HOJA DE INFORMACIÓN

Posteriormente se realiza el desarrollo de la hoja de decisiones. Se realizará la referencia de información para poder establecer las tareas expuestas mediante las hojas de información, las cuales se obtienen del desdoblamiento de las causas y modos de falla obtenido en el AMFE.

A continuación, se muestra el desarrollo de las Hojas de Información de las dos máquinas críticas.

Tabla 46. Hoja de Información de la máquina excavadora

HOJA DE TRABAJO AMEF		ÁREA: Operaciones				
		EQUIPO: Excavadora				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO FALLA		
1	Se emplea habitualmente para abrir surcos destinados al pasaje de tuberías, cables, drenajes, etc. así como también para excavar cimientos o rampas en solares.	A	Desperfecto en brazo	1	Rotura de manguera	La rotura de manguera hace que la máquina disminuya la actividad asignada.
				2	Cavitación de la bomba hidráulica	Ocasiona que el motor trabaje en vacío y no haya transmisión de movimiento.
		B	Fallas en el motor	1	Desgaste de filtros	Al no cambiar los filtros, estos se ensucian dificultando la actividad de la máquina.
				2	Desgaste de baterías	Por el mismo uso las baterías se desgastan, provocando que la máquina se detenga.
		C	Deficiencia en el cucharón	1	Uñas rotas	Dificulta el movimiento de remover el área de trabajo.
		D	Desperfecto en chasis de traslación	1	Desgaste de las cadenas	La corrosión de las cadenas hace que estas se deterioren no permitiendo el traslado.

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 47. Hoja de Información de la máquina cargador frontal

HOJA DE TRABAJO AMEF		ÁREA: Operaciones		
		EQUIPO: Cargador Frontal		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO FALLA	
1 Se emplea para abrir carga, acarrear y eventualmente excavar.	A Desperfecto en brazo	1 Rotura de manguera	La rotura de manguera hace que la máquina disminuya la actividad asignada.	
		2 Fallas en línea de succión	Ocasiona que el motor trabaje en vacío y no haya transmisión de movimiento.	
	B Fallas en el motor	1 Desgaste de filtros	Al no cambiar los filtros, estos se ensucian dificultando la actividad de la máquina.	
		2 Desgaste de baterías	Por el mismo uso las baterías se desgastan, provocando que la máquina se detenga.	
	C Deficiencia en el cucharón	1 Uñas rotas	Dificulta el movimiento de remover el área de trabajo.	
	D Desperfecto en mandos finales	1 Desgaste en llantas	El desgaste de las llantas, por su actividad en suelos áridos ocasiona que se detenga.	

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Mediante el desarrollo de las hojas de información de las máquinas críticas: excavadora y cargador frontal, se puede determinar la referencia de la información para implementar las tareas propuestas de las hojas de información de las tablas anteriores.

B. HOJA DE DECISIONES

En esta etapa del análisis, se integran las consecuencias y las tareas, y donde se responden a las tres últimas preguntas de la metodología del RCM ¿Importa si falla?, ¿Se puede hacer algo para prevenir la falla?, ¿Qué pasa si no podemos prevenir la falla?

Tabla 48. Hoja de Decisión de la máquina Excavadora

HOJA DE DECISIÓN RCM							ÁREA: Operaciones						Acción a falta de	Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
Evaluación de las consecuencias							EQUIPO: Excavadora									
Referencia de Información			H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
F	FF	FM					O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
1	A	1	S	N	N	S	S							Limpieza e inspección de las mangueras	3 meses	Mecánico Técnico
1	A	2	S	N	N	S	S	N	S					Al no hacer mantenimiento se deteriora la bomba hidráulica	anual	Mecánico Técnico
1	B	1	S	N	N	S	S	N	S					Cambio de filtros	3 meses	Mecánico Técnico
1	B	2	S	N	N	S	S	N	S					Cambio de baterías	3 meses	Mecánico Técnico
1	C	1	S	N	N	S	S							Revisión y/o cambio uñas	4 meses	Mecánico Técnico
1	D	1	S	N	N	S	S							Inspección, limpieza y lubricación de las cadenas	3 meses	Mecánico Técnico

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Tabla 49. Hoja de Decisión de la máquina Cargador Frontal

HOJA DE DECISIÓN RCM							ÁREA: Operaciones						Acción a falta de	Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
							EQUIPO: Cargador Frontal									
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de						
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
1	A	1	S	N	N	S	S						Limpieza e inspección de las mangueras	3 meses	Mecánico Técnico	
1	A	2	S	N	N	S	S	N	S				Al no hacer mantenimiento se deteriora la bomba hidráulica	anual	Mecánico Técnico	
1	B	1	S	N	N	S	S	N	S				Cambio de filtros	3 meses	Mecánico Técnico	
1	B	2	S	N	N	S	S	N	S				Cambio de baterías	3 meses	Mecánico Técnico	
1	C	1	S	N	N	S	S						Revisión y/o cambio uñas	4 meses	Mecánico Técnico	
1	D	1	S	N	N	S	S						Inspección y/o cambio de las cadenas	anual	Mecánico Técnico	

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Mediante la aplicación de la Hoja de Decisiones a las máquinas críticas: excavadora y cargador frontal, se puede establecer respuestas a las preguntas formuladas en el Diagrama de árbol de decisiones y en función a estas respuestas se puede registrar:

- La rutina de mantenimiento que se va a realizar, la frecuencia y el responsable de la ejecución. También se pueden calcular factores característicos de la vida útil del equipo.
- Determinación de las fallas críticas que justifiquen un rediseño de tareas, las cuales deben ser derivadas al responsable del área para su aprobación, ejecución y control.

3.4. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA PROPUESTA

Para el desarrollo de la investigación, con respecto a la implementación de la propuesta; lo expuesto anteriormente, nos va a permitir generar información que será de suma importancia para la empresa. La información proveniente de los usuarios de cada proceso, a través de sus percepciones y de sus conocimientos respectivamente, ayudó a detectar las ineficiencias de la empresa dando la posibilidad de tomar decisiones en cuanto a fallas en el servicio de mantenimiento. Puesto que no se debe dejar de lado el costo de la inversión que implica el desarrollo e implementación de la propuesta del sistema de gestión para el proceso de mantenimiento que se propone, a continuación, se muestra el costo de implementación de la misma.

3.4.1. Costos del sistema de mantenimiento RCM

Para analizar la presente propuesta, se debe tener en cuenta los costos en lo que la empresa debe cubrir para poner en marcha el sistema de gestión de mantenimiento preventivo. Para realizarlo, se debe determinar los costos de implementación y ejecución de la propuesta del sistema, así como también los costos de los materiales necesarios para el mantenimiento en sí. En la siguiente tabla se presenta esta información a detalle.

Tabla 50. Costos de capacitación para la implementación de la propuesta

Descripción	Precio (dólares)	Cantidad	Subtotal (dólares)
Capacitación en RCM para su aplicación (comunicación interna)	30	4	120
Documentos de implementación y seguimiento del Sistema de Gestión de Mantenimiento Preventivo	30	8	240
Material de escritorio			30
Capacitación en cursos técnicos	450	5	2 250
Sueldo de operarios a los cuales se les capacitará (Jefe de Mantenimiento, operarios de mantenimiento, 10 operarios)	10	4	40
	5	4	20
	1,3	4	5,2
	1,3	4	5,2
	1,3	4	5,2
	1,3	4	5,2
	1,3	4	5,2
	1,3	4	5,2
	1,3	4	5,2
	1,3	4	5,2
	1,3	4	5,2
Capacitador	600	4	2 400
Viáticos capacitador	18	4	72
TOTAL			5 224

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

En la tabla anterior se muestran los costos de capacitación de la implementación de Sistema de Gestión de Mantenimiento Preventivo. La capacitación para su aplicación se realizará igualmente para cada persona. La empresa cuenta con 10 operarios encargados de la maquinaria a parte del jefe de mantenimiento y el operario de mantenimiento.

- **Capacitación en RCM para su aplicación:** Referida a la introducción e implementación de la metodología RCM en la empresa. Estas serán brindas por el Jefe de Mantenimiento
- **Documentos de implementación y seguimiento del Sistema de Gestión de Mantenimiento Preventivo:** Capacitación en cuanto a los documentos elaborados para el desarrollo del sistema y su aplicación.

- **Material de escritorio:** Referido a la adquisición de cuadernos lapiceros, fotocopias, etc., para realizar las capacitaciones.
- **Sueldo de operarios a los cuales se les capacitará:** Al ser capacitaciones en horario de trabajo se toman como costos de dichas capacitaciones los sueldos por hora que se les pagan a los trabajadores de la empresa.
- **Capacitador:** Persona externa a la empresa con conocimientos en cuanto a la metodología RCM., contratado para enseñar cómo realizar tareas / operaciones y cambios requeridos para que los activos de la empresa cumplan sus funciones bajo el RCM. Las capacitaciones estarán relacionadas a procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo, interpretación de manuales e instructivos de equipos, detección y análisis de fallas mecánicas, generación, transporte y distribución de energía eléctrica, y al uso y reparación de máquinas eléctricas. Cabe resaltar que los precios fueron bridados por la institución SENATI, quienes ofrecen capacitaciones en mantenimiento.

Las capacitaciones a los operarios serán brindadas por el Jefe de Mantenimiento quien es el que obtendrá la capacitación de primera mano.

De esta manera obtenemos los costos totales de capacitación en mantenimiento es de 5 224 dólares.

Tabla 51. Costos de ejecución del Sistema de Gestión de Mantenimiento

Descripción	Precio (dólares)	Cantidad	Subtotal (dólares)
Archivador para registros de mantenimiento	10	2	20
Materiales de oficina			150
Impresión de formatos a utilizar para ejecutar el mantenimiento			30
Papel bond A4	4	15	60
TOTAL			260

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

En la tabla anterior se muestra el costo de la ejecución del Sistema de Gestión de Mantenimiento, este costo incluye los archivadores para registros, se consideraron 2 archivadores porque el procedimiento de Mantenimiento Preventivo consta de 2 registros (Registro de Mantenimiento y Reporte de Mantenimiento Preventivo), luego materiales de oficina empleados para llenar dichos registros (lápices,

lapiceros, borradores, etc.), la impresión de los formatos para el control y las resmas de hojas bond que se emplearan. Así tenemos que el costo de ejecución de 260 dólares.

Tabla 52. Costos de los repuestos para mantenimiento

Máquina	Repuesto	Precio por Unidad (dólares)	Unidades	Precio Total (dólares)	Cantidades	Precio Total (dólares)
EXCAVADORA	Uñas	100	8	800	4	3200
	Bomba hidráulica	2000	1	2000	1	2000
	Baterías	100	2	200	4	800
	Filtro de petróleo	78,33	6	469,98	4	1879,92
	Filtro de hidrolina	78,33	6	469,98	4	1879,92
	Filtro de aire (primario)	78,33	6	469,98	4	1879,92
	Filtro de aire (secundario)	78,33	6	469,98	4	1879,92
	Filtro de aceite	78,33	6	469,98	4	1879,92
	Barril de aceite	90,00	1	90	3	270
CORTADORA DE CONCRETO	Disco	200	1	200	4	800
	Filtro de petróleo	100	1	100	4	400
MARTILLO HIDRAULICO	Cambio de punta	60,61	1	60,61	4	242,44
COMPACTADORA	Cambio de Faja	18,18	2	36,36	3	109,08
	Cambio de Bujía	13,64	1	13,64	3	40,92
	Filtro de petróleo	70	5	350	3	1050
	Filtro de aire (primario)	70	5	350	3	1050
	Filtro de aire (secundario)	70	5	350	3	1050
	Filtro de aceite	70	5	350	3	1050
CARGADOR FRONTAL	Filtro de petróleo	35,15	5	175,75	4	703
	Filtro de aceite	35,15	5	175,75	4	703
	Filtro de aire (primario)	35,15	5	175,75	4	703
	Filtro de aire (secundario)	35,15	5	175,75	4	703
	Uñas	100	16	1600	4	6400
	Bomba Hidráulica	2000	1	2000	1	2000
	Cambio de Baterías	100	2	200	4	800
	Cambio de Llantas	800	4	3200	1	3200
TOTAL				1495351		3667404

Fuente: EMPRESA HYDROPATAFOS S.A.C.

La tabla anterior nos muestra los costos anuales de repuestos para el mantenimiento de las máquinas con la implementación de sistema propuesto. Tanto el precio, unidades y cantidades, se obtienen de los datos brindados por la empresa según las actividades a realizar y de las actividades de mantenimiento RCM propuesto estipuladas en el anexo 5.

Así tenemos que el costo anual de los repuestos para el mantenimiento es de 36 674,04 dólares.

El costo total, incluyendo la capacitación para el manteniendo, la ejecución del mantenimiento y los repuestos para el mantenimiento se calcula sumando el total de las tablas 50,51 y 52 de la siguiente manera.

Tabla 53. Costos totales de la implementación del Sistema

Costos del SGM (dólares)	
Costos de capacitación	5 224
Costos de ejecución	260
Costos de los repuestos	36 674,04
TOTAL	42 158,04

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

El costo total de la implementación del sistema es de **42 158,04** dólares anuales.

El tiempo de 127 horas anuales (ver anexo 5), corresponde al tiempo en aplicar las actividades de mantenimiento RCM, si se compara con el tiempo de parada en el periodo de febrero de 2014 a julio de 2016 el cual fue de 1 454 horas, teniendo como promedio anual un total de 617 horas correspondientes al año 2015, demostrando que se disminuirá en 490 horas al año.

Tabla 54. Comparación mantenimiento actual y mantenimiento del sistema RCM

	Pérdida de oportunidad (dólares)	Tiempo en actividades de reparación y/o mantenimiento (horas)
En el periodo febrero 2014 - julio 2016	125 939,06	1454
Con el sistema RCM anual	42 158,04	127
Promedio de mantenimiento anual	64 091,88	617

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

En la tabla anterior se muestra la comparación entre el mantenimiento aplicado en el periodo febrero 2014 a julio 2016, el mantenimiento con el sistema RCM y el promedio de mantenimiento anual que se realiza en la empresa; así se muestra que la pérdida de oportunidad anual fue de 64 091,88 dólares para el año 2015 mientras que, aplicando el mantenimiento RCM sería de 42 158,04 dólares, además el tiempo de actividades en reparación y/o mantenimiento fue de 617 horas, mientras que aplicando el mantenimiento RCM se reduciría a 127 horas.

3.4.2. Análisis costo-beneficio de la propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM

La propuesta de implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento para la empresa HYDRO PATAPO S.A.C., se realizó debido a que la empresa no cuenta con un programa de mantenimiento preventivo. El beneficio que se dará es minimizar el número de paradas no deseadas por fallas en la maquinaria de la empresa, lo cual mejorará el funcionamiento de las mismas, mostrando un ahorro de tiempo para la realización de las actividades del proceso de construcción de proyectos. Así tenemos que el beneficio/costo es:

$$\frac{\textit{beneficio}}{\textit{costo}} = \frac{64\ 091,88}{42\ 158,04}$$

$$\frac{\textit{beneficio}}{\textit{costo}} = 1,52$$

Lo cual nos indica que por cada dólar que se invierte en el sistema de mantenimiento RCM, el beneficio será de 1,52 dólares.

Además, con la propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM se podrá minimizar el porcentaje de fallas que además disminuirá la pérdida de oportunidad, el decremento de producción.

- **Otros beneficios no cuantificables son:**

Se espera que la propuesta de implementación del sistema de mantenimiento preventivo genere otro tipo de beneficios, los cuales no se podrían medir en términos monetarios como son los siguientes.

- Incremento de la satisfacción del cliente interno pues los operarios se encontrarán con una maquinaria en mejor estado para realizar su trabajo.
- Reducción de tiempos de interrupción por mantenimiento correctivo.
- El personal de mantenimiento podrá contar con información técnica más exacta y detallada del historial de cada mantenimiento para cada equipo.
- Incrementar el tiempo de vida de la maquinaria.

IV. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados del diagnóstico de la situación actual de la empresa HYDRO PATAPO S.A.C, se determinó que la empresa no cuenta con área de mantenimiento y que existen máquinas que en el proceso de ejecución de obra, vienen presentando fallas siendo las máquinas críticas: excavadora y cargador frontal, las cuales vienen presentando fallas como Obstrucción en las baterías, filtros, baterías, bomba hidráulica, cadenas (excavadora) y en las llantas (cargador frontal), las cuales generan un costo a la empresa.
- Realizado el diagnóstico de la situación actual del análisis de la cantidad de fallas de las máquina que con las que cuenta la empresa, se puede observar un total de 334 fallas ocurridas equivalentes a 1454 horas, destacando las máquinas críticas del proceso: excavadora con un tiempo de inoperatividad de 401 y cargador frontal con 413 de inoperatividad (tiempo utilizado en reparación) en el periodo febrero 2014 a julio 2016, representado el 0,25% y 0,42% respectivamente del porcentaje de tiempo de parada, significando para la empresa un costo de 56 341 dólares para la máquina excavadora y 44 899,48 dólares para el cargador frontal. Respecto a los costos incurridos en reparaciones, se determinó como máquinas críticas, también a la excavadora y cargador frontal.
- Utilizando la metodología del RCM y el diagrama de Pareto, se determinó las máquinas críticas de la empresa, permitiendo determinar su tiempo de inoperatividad y los costos que surgen de los mismos. La metodología RCM, se apoya en sus herramientas, tales como el Árbol de fallas, Análisis de falla y efectos (AMFE), Hoja de información preventiva e intervalos de tiempos de programación para el análisis de las 2 máquinas críticas lo que permitió realizar la propuesta de incorporar un área de Mantenimiento cuyo responsable pueda desarrollar un Sistema de Gestión de Mantenimiento Preventivo basado en el RCM. En este sistema se propone el desarrollo de un procedimiento de mantenimiento preventivo, así como capacitaciones y cronograma de ejecución de las actividades para el sistema, con lo que espera una mejor ejecución de los procesos, mayor control y mejor funcionamiento al menor costo posible.
- Finalmente, en el análisis Costo-Beneficio se estima que con la aplicación del Sistema de Gestión de mantenimiento Preventivo basado en RCM, se reducirá la frecuencia de fallas, reduciendo: a) costos de manteniendo correctivo que se realiza actualmente en la empresa e inoperatividad del personal, lo cual repercutirá positivamente en una reducción de 62,27% de los costos de mantenimiento, que en la parte monetaria representa una disminución en 21 933,84 dólares, brindando 1,52 dólares por cada dólar invertido, y b) tiempo de actividades en reparación y/o mantenimiento el cual fue de 617 horas, mientras que aplicando la metodología RCM este se reducirá en 127 horas representado el 20,58% del tiempo de inoperatividad.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amendola, Luis José. *Gestión de Proyectos de Activos Industriales*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2006.
- Azoy Capote, Andy. «Método para el cálculo de indicadores de mantenimiento.» *Ingeniería Agrícola*, 2014: 45-49.
- Borris, S. (2005). *Total Productive Maintenance*. McGraw Hill.
- Campos Avella, Ph.D. Juan Carlos. *Energía Eficiente*. 2016. <http://www.e2energiaeficiente.com/mantenimiento-centrado-en-la-eficiencia-energetica-nueva-gestion-organizacional-para-reducir-costos-de-mantenimiento-y-de-energia/> (último acceso: 6 de Octubre de 2016).
- Canedo R., Rodrigo. «Sistema de Gestión de Mantenimiento.» http://www.icao.int/SAM/Documents/2014-ALACPA11/DIA%201%20-%204_SGM%20Actualizacion%2015%20AP.pdf, 2014.
- Delers, Antoine. *El principio de Pareto: Mejore la productividad y el éxito de su negocio con la regla 80/20*. 50MINUTOS.es, 2016.
- Duffuaa, Salih O., A. Raouf, y Campbell John Dixon. *Sistema de mantenimiento planeación y control*. Mexico: Limusa Wiley, 2012.
- García Palencia, Oliverio. *Gestión Moderna del Mantenimiento - EBOOK*. Ediciones de la u, 2013.
- Garcia, Oliverio. *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial*. Colombia: Ediciones de la U, 2012.
- Gonzales Fernandez, Francisco. *Mantenimiento industrial avanzado*. Madrid: FC Editorial, 2011.
- Gupta, Praveen, y Arvin Sri. *Seis Sigma sin Estadística: Enfoque en la búsqueda de las mejoras inmediatas*. Accelper Consulting, 2015.
- Levine, David M., Timothy C. Krehbiel, y Mark L. Berenson. *Estadística para administración*. Pearson Education, 2006.
- Moubray, J. (1999). *Reliability-Centred Maintenance*. Reed Elsevier Group.
- Moubray, John. *Mantenimiento centrado en la confiabilidad (edición en español)*. Reino unido: Aldon Ltd, 2004.
- Parra Márquez, Carlos Alberto, y Adolfo Crespo Márquez. *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada a la Gestión de Activos*. Sevilla: INGEMAN, 2012.
- Parra Marquez, Carlos Alberto, y Adolfo Crespo Marquez. *Ingeniería del Mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*. Ingeman, 2012.

- Perú, Ministerio de Salud del. «Minsa.» 2015. <http://www.minsa.gob.pe/dgsp/observatorio/documentos/herramientas/AMFE.xls> (último acceso: 6 de Octubre de 2016).
- Ramírez Quintero, Ing Msc. José Manuel. «Críticidad y FMEA.» <http://jacekleszczynski.com/>. 1 de Noviembre de 2014. <http://jacekleszczynski.com/images/5147/Criticidad.pdf> (último acceso: 16 de Octubre de 2016).
- Ricky, S., & Mobley, R. K. (2003). President and CEO of Integrated Systems Inc. Industrial machinery repair best maintenance practices pocket guide. New York: Butterworth Heinemann.
- TDI. *El Análisis de Fallas con Diagramas de Árbol*. Informe, Texas: TDI/DWC, 2006.
- Uzcátegui-Gutiérrez, Jessica Yajaira, Andrónico Valera-Cárdenas, y Juan Isidro Díaz-García. «Aplicación de herramientas de clase mundial para la gestión de mantenimiento en empresas cementeras basado en la metodología MCC.» *Revista Universidad Francisco de Paula Santander*, 2016: 77-88.
- Woodhouse, Jhon. *Criticality Analysis Revisited*. Newbury, England: The Woodhouse Partnership Limited, 1994.

VI. ANEXOS

Anexo 1. Formato de Hoja de Información de RCM para el análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

HOJA DE TRABAJO AMEF		AREA:				
		EQUIPO:				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFEECTO FALLA
1		A		1		
				2		
				3		

Fuente: Parra Márquez y Crespo Márquez (2012)

Anexo 2. Hoja de Decisión RCM

HOJA DE DECISIÓN RCM										ÁREA:					
										EQUIPO:					
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3						
							O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						

Fuente: (Moubray 2004)

Anexo 3. Utilización del software IBM-SPSS

Para el desarrollo del diagrama de Pareto se utilizó el software IBM-SPSS, herramienta que sirve para el control del procesamiento de datos.

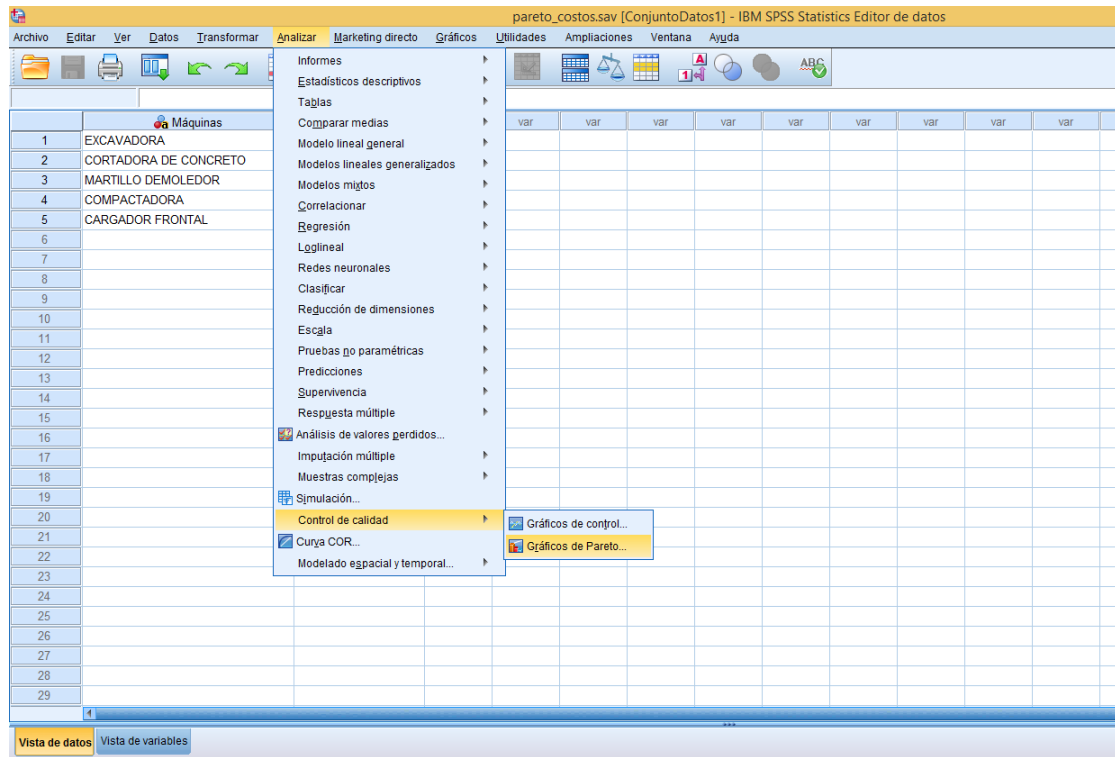
Paso 1. Se determinó las variables a analizar (nombre y tipo).

	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	Máquinas	Cadena	27	0		Ninguno	Ninguno	25	Izquierda	Nominal	Entrada
2	Costos	Numérico	40	0		Ninguno	Ninguno	15	Derecha	Nominal	Entrada
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											

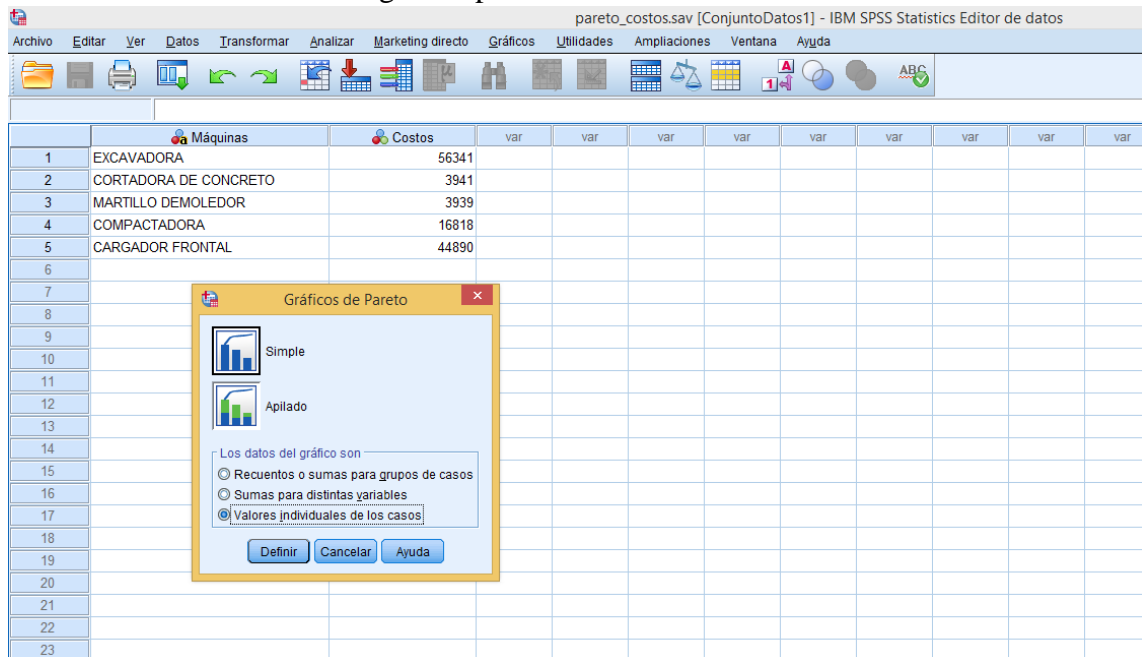
Paso 2. Se determinó los datos (nombre y cantidad).

	Máquinas	Costos	var	var	var	var	var	var	var	var
1	EXCAVADORA	56341								
2	CORTADORA DE CONCRETO	3941								
3	MARTILLO DEMOLEDOR	3939								
4	COMPACTADORA	16818								
5	CARGADOR FRONTAL	44890								
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										

Paso 3. Se realizó el análisis utilizando el Gráfico de Pareto



Paso 4. Para el análisis se eligió la opción: *Valores individuales de los casos.*



Paso 5. Se definió los valores de las variables.

The screenshot shows the IBM SPSS Statistics Editor de datos interface. The main window displays a data table with the following content:

	Máquinas	Costos	var	var	var	var	var	var	var	var
1	EXCAVADORA	56341								
2	CORTADORA DE CONCRETO	3941								
3	MARTILLO DEMOLEDOR	3939								
4	COMPACTADORA	16818								
5	CARGADOR FRONTAL	44890								

Overlaid on the data table is the 'Definir Pareto simple: Valores de los casos individuales' dialog box. The 'Valores:' field contains 'Costos'. The 'Etiquetas de categorías' section has 'Variable:' selected. The 'Mostrar línea acumulada' checkbox is checked. The 'Plantilla' section has 'Usar las especificaciones gráficas de:' selected.

Paso 6. Como resultado, se obtuvo el gráfico de Pareto para su análisis.

The screenshot shows the IBM SPSS Statistics Visor interface. The main window displays the following command and output:

```
FILE='C:\Users\Mariella\Dropbox\Larissa\ultimo\spss\pareto_costos.sav'.
DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.
GRAPH
/PARETO (CUM SIMPLE)=VALUE(Costos) BY Máquinas.
```

The output is a Pareto chart titled 'Gráfico'. The chart shows the cumulative distribution of costs for five machine types. The x-axis is labeled 'Máquinas' and the y-axis is labeled 'Costos' (0 to 150,000). A secondary y-axis on the right is labeled 'Percentile' (0% to 100%). The bars represent the cost for each machine type, and the line represents the cumulative percentage of total costs.

Máquina	Costo	Porcentaje Acumulado
EXCAVADORA	56341	~37.6%
CARGADOR FRONTAL	44890	~72.5%
COMPACTADORA	16818	~89.3%
CORTADORA DE CONCRETO	3941	~93.2%
MARTILLO DEMOLEDOR	3939	~97.1%

Anexo 4. Datos de las fallas, costos y precios de la maquinaria de la empresa periodo febrero 2014 a julio 2016

MÁQUINA EXCAVADORA							
2014	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)
20-feb	3	Brazo	Rotura de Manguera	1	180,00	180,00	31,00
05-mar	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
11-mar	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
11-abr	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
17-abr	3	Brazo	Rotura de Manguera	1	180,00	180,00	31,00
22-abr	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
25-abr	5	Cucharón	Uñas rotas	8	100,00	800	31,00
04-may	3	Brazo	Rotura de Manguera	1	180,00	180,00	31,00
14-may	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
08-may	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0	470,00	0
18-jun	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0	470,00	0
19-jun	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
18-jul	5	Cucharón	Uñas rotas	8	100,00	800,00	31,00
20-jul	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
25-jul	3	Brazo	Rotura de Manguera	1	180,00	180,00	31,00
26-jul	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0	470,00	0
21-ago	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
27-ago	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0	470,00	0
07-sep	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00

11-sep	48	Brazo	Cavitación en la Bomba hidráulica	1	2 000,00	2 000,00	31,00
15-sep	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0	470,00	0
17-oct	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0	470,00	0
18-oct	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
20-oct	5	Cucharón	Uñas rotas	8	100,00	800,00	31,00
01-nov	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0	470,00	0
06-nov	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
19-dic	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0	470,00	0
27-dic	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
2015	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)
07-ene	3	Brazo	Rotura de Manguera	1	180,00	180,00	31,00
08-ene	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
12-ene	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
16-ene	5	Cucharón	Uñas rotas	8	100,00	800,00	31,00
11-feb	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
15-feb	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
18-mar	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
19-mar	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
04-abr	5	Cucharón	Uñas rotas	8	100,00	800,00	31,00
06-abr	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
10-abr	48	Brazo	Cavitación en la Bomba hidráulica	1	2 000,00	2 000,00	31,00

12-abr	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
12-may	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
20-may	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
11-jun	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
17-jun	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
01-jul	5	Cucharón	Uñas rotas	8	100,00	800,00	31,00
14-jul	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
16-jul	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
16-ago	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
18-ago	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
23-sep	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
24-sep	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
03-oct	3	Brazo	Rotura de Manguera	1	180,00	180,00	31,00
09-oct	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
11-oct	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
15-oct	5	Cucharón	Uñas rotas	8	100,00	800,00	31,00
12-nov	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
13-nov	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
21-nov	48	Brazo	Cavitación en la Bomba hidráulica	1	2 000,00	2 000,00	31,00
02-dic	8	Chazis de Traslación	Desgaste de las cadenas	2	10 000,00	20 000,00	31,00
22-dic	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
26-dic	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0

2016	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)
07-ene	3	Brazo	Rotura de Manguera	1	180,00	180,00	31,00
08-ene	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
12-ene	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
26-ene	5	Cucharón	Uñas rotas	8	100,00	800,00	31,00
11-feb	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
15-feb	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
25-feb	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
18-mar	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
19-mar	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
28-mar	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
04-abr	5	Cucharón	Uñas rotas	8	100,00	800,00	31,00
06-abr	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
12-may	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
20-may	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
11-jun	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
17-jun	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
21-jun	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
27-jun	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
14-jul	3	Motor	Desgaste de Filtros	6	0,00	470,00	0
16-jul	3	Motor	Desgaste de Baterías	2	100,00	200,00	31,00
MÁQUINA CORTADORA DE CONCRETO							

2014	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)
28-feb	3	Soporte de Montaje	Rotura de Disco	1	200,00	200,00	31
10-mar	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
12-may	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
16-may	3	Soporte de Montaje	Rotura de Disco	1	200,00	200,00	31
23-jul	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
06-ago	3	Soporte de Montaje	Rotura de Disco	1	200,00	200,00	31
17-sep	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
24-nov	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
30-nov	3	Soporte de Montaje	Rotura de Disco	1	200,00	200,00	31
2015	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)
10-ene	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
05-feb	3	Soporte de Montaje	Rotura de Disco	1	200,00	200,00	31
14-mar	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
03-may	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
18-may	3	Soporte de Montaje	Rotura de Disco	1	200,00	200,00	31
02-jul	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
14-ago	3	Soporte de Montaje	Rotura de Disco	1	200,00	200,00	31
12-sep	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
01-nov	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0

05-nov	3	Soporte de Montaje	Rotura de Disco	1	200.00	200.00	31
2016	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)
05-feb	3	Soporte de Montaje	Rotura de Disco	1	200,00	200,00	31
14-mar	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
03-abr	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
18-abr	3	Soporte de Montaje	Rotura de Disco	1	200,00	200,00	31
18-jun	3	Soporte de Montaje	Rotura de Disco	1	200,00	200,00	31
02-jul	3	Motor	Desgaste de Filtros	1	100,00	100,00	0
MÁQUINA MARTILLO DEMOLEDOR							
2014	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)
28-feb	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
15-feb	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
07-mar	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
29-mar	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
18-abr	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
13-abr	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
24-abr	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
09-may	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
15-may	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
27-may	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
05-jun	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0

07-jun	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
19-jun	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
20-ago	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
03-ago	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
26-ago	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
09-sep	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
13-sep	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
24-sep	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
22-oct	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
25-oct	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
03-nov	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
10-nov	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
12-dic	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
16-dic	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
20-dic	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
2015	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)
02-ene	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
19-feb	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
01-feb	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
08-feb	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
27-feb	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0

31-mar	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
02-abr	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
09-abr	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
30-abr	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
03-jun	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
13-jun	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
17-jun	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
02-jul	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
31-jul	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
01-ago	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
12-ago	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
22-ago	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
02-sep	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
05-oct	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
09-oct	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
26-oct	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
31-oct	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
13-nov	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
17-dic	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
22-dic	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
2016	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)

18-ene	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
25-ene	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
28-feb	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
15-feb	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
07-mar	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
17-mar	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
29-mar	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
08-abr	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
13-abr	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
09-may	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
15-jun	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
25-jun	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
28-jun	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
20-jul	3	Herramienta	Quiebre de Punta	1	60,61	60,61	0
MÁQUINA COMPACTADORA							
2014	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)
20-feb	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
01-mar	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
06-mar	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
31-mar	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
26-mar	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
01-abr	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0

05-abr	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
14-abr	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
02-may	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
06-may	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
11-may	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
13-may	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
23-may	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
02-jun	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
20-jun	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
25-jun	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
26-jun	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
26-jun	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
04-jul	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
21-jul	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
22-jul	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
02-ago	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
04-ago	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
10-ago	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
11-ago	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
15-ago	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
23-ago	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
15-ago	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0

08-sep	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
10-sep	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
15-sep	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
09-oct	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
10-oct	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
14-oct	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
16-oct	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
25-oct	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
01-nov	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
25-nov	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
17-nov	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
29-nov	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
05-nov	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
03-dic	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
17-dic	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
18-dic	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
10-dic	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
2015	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)
06-ene	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
08-ene	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
17-ene	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0

18-ene	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
05-feb	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
19-feb	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
20-feb	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
05-mar	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
06-mar	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
08-mar	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
15-mar	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
16-mar	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
17-mar	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
06-abr	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
06-abr	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
07-abr	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
04-may	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
05-may	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
11-may	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
05-jun	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
08-jun	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
10-jun	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
24-jun	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
25-jun	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
13-jul	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0

23-jul	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
03-ago	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
20-ago	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
26-ago	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
27-ago	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
28-ago	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
01-sep	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
19-sep	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
19-sep	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
18-oct	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
19-oct	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
21-oct	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
10-nov	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
22-nov	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
17-dic	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
04-dic	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
07-dic	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
08-dic	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
2016	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)
06-ene	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
08-ene	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0

17-ene	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
18-ene	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
06-ene	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
01-feb	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
06-feb	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
21-feb	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
05-mar	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
06-mar	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
08-mar	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
01-abr	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
05-abr	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
04-may	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
05-may	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
11-may	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
02-jun	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
20-jun	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
25-jun	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Bujías	1	13,64	13,64	0
26-jun	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
26-jun	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
13-jul	4	Bandeja Vibratoria	Rotura de Faja	2	18,18	36,36	0
23-jul	3	Bandeja Vibratoria	Desgaste de Filtros	5	0,00	350,00	0
MÁQUINA CARGADOR FRONTAL							

2014	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)
28-feb	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
22-mar	48	Brazo	Cavitación en la Bomba hidráulica	1	2 000,00	2 000,00	31,00
30-mar	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
10-abr	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
13-abr	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
08-may	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
28-jun	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
29-jun	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
30-jul	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
26-ago	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
27-ago	48	Brazo	Cavitación en la Bomba hidráulica	1	2 000,00	2 000,00	31,00
28-ago	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
21-sep	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
16-oct	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
17-oct	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
27-nov	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
28-nov	5	Mandos finales	Desgaste de Llantas	4	800	3 200	31,00
16-dic	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
27-dic	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
2015	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)

16-ene	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
13-feb	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
16-feb	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
09-feb	48	Brazo	Cavitación en la Bomba hidráulica	1	2 000,00	2 000,00	31,00
18-mar	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
25-abr	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
29-abr	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
20-may	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
14-jun	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
29-jun	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
26-jul	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
17-ago	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
21-ago	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
19-sep	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
26-oct	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
27-oct	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
04-nov	48	Brazo	Cavitación en la Bomba hidráulica	1	2 000,00	2 000,00	31,00
20-nov	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
05-dic	5	Mandos finales	Desgaste de Llantas	4	800	3 200	31,00
20-dic	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
21-dic	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
2016	Tiempo de reparación (horas)	Parte defectuosa	Defecto	Cantidad de repuestos	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de unidad (repuesto) (dólares)	Precio de reparación operario (dólares)

16-ene	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
22-feb	48	Brazo	Cavitación en la Bomba hidráulica	1	2 000,00	2 000,00	31,00
25-feb	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
18-mar	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
10-abr	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
13-abr	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
02-may	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
14-may	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
29-may	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
28-jun	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0
29-jun	5	Cucharón	Uñas rotas	16	100,00	1 600,00	31,00
26-jul	3	Motor	Desgaste de Filtros	5	0	175,76	0

Fuente: EMPRESA HYDRO PATAPO S.A.C.

Anexo 5. Sistema de Gestión de Mantenimiento Preventivo

	SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Código: Versión: 1.0 Página 1 de 34
---	---	--



SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Firma:	Firma:	Firma:
Fecha: (DD/MM/AAAA)	Fecha: (DD/MM/AAAA)	Fecha: (DD/MM/AAAA)

 <p>HYDRO PATAPO S.A.C</p>	<p>SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</p>	<p>Código: Versión: 1.0 Página 2 de 34</p>
---	--	---

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente documento es proporcionar los lineamientos necesarios para un correcto mantenimiento continuo de las máquinas de la empresa HYDRO PATAPO S.A.C., para lograr el eficiente funcionamiento de estas conforme a las necesidades de operación que se realiza y el cumplimiento de las metas de producción, logrando el máximo rendimiento de las mismas.

DEFINICIONES

- **MANTENIMIENTO PREVENTIVO:** Acciones encaminadas a conservar las condiciones óptimas de las maquinarias, tanto en la parte mecánicas y eléctricas. Esto implica acciones encaminadas a la protección del daño causado por el clima y/o el uso cotidiano de la máquina. El conjunto de estas acciones permite salvaguardar la integridad de los usuarios y de la maquinaria.
- **MANTENIMIENTO CORRECTIVO:** Conjunto de acciones que se llevan a cabo cuando ha ocurrido algún desperfecto o daño mecánico o eléctrico en las máquinas.
- **NORMATIVA:** Conjunto de normas aplicables a una determinada materia o actividad, en este caso el mantenimiento.
- **ACCIONES PREVENTIVAS:** Conjunto de actividades o acciones que se realizan con el fin de prevenir una falla en el mecanismo.
- **FALLA:** Defecto que presenta una máquina el cual le impide desempeñarse total o parcialmente.
- **EVENTUALIDADES:** Suceso posible, aunque no previsible, dicho de otra manera, es un suceso imprevisto.

	SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Código: Versión: 1.0 Página 4 de 34
---	---	--

SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO HYDRO PATAPO S.A.C.

HYDRO PATAPO S.A.C. es una empresa de sociedad de derecho peruana, cuyo servicio se enfoca en el desarrollo de proyectos de energía renovables; ha incorporado activos en forma de vehículos, maquinaria y equipo para sus actividades de construcción. Entre ellos podemos citar las siguientes máquinas: excavadora (1), cortadora de concreto (1), martillo hidráulico (4), compactadora (3), cargador frontal (1) y herramientas diversas.

En vista que, al continuo uso de las máquinas, estas han venido presentado fallas, obligado a comprar repuestos para su reparación, retrasando en varias oportunidades las actividades a desarrollar. En vista a lo problemas que enfrenta la empresa por las fallas en la maquinaria se ha propuesto implementar un sistema de gestión de mantenimiento permita tener las herramientas operativas y contar con ellas para todo tipo de trabajos de construcción en que participen.

Se determinó que, para implementar los lineamientos de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, se debe contar con la información necesaria de todas las máquinas que emplea la empresa para realizar sus actividades. De la misma forma, el planeamiento del mantenimiento requiere de formatos estandarizados para las diversas actividades que involucra una correcta gestión de mantenimiento.

I. Alcance

Este documento tiene como finalidad presentar la Política de mantenimiento y describir el Sistema de Gestión de HYDRO PATAPO S.A.C., en el cumplimiento de la Normativa Peruana Legal vigente.

II. Aplicación

Aplicable al desarrollo de nuestros proyectos.

III. Documentos de Referencia

- Constitución Política del Perú, Artículo 7.
- Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- D.S. N° 005-2012-TR, Reglamento de la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- D.S. N° 010-2009-VIVIENDA, Norma Técnica de Edificaciones G.050 Seguridad durante la Construcción.
- R.S. N° 021-83-TR, Normas Básicas de Seguridad e Higiene en obras de Edificación.

IV. Política de mantenimiento

Asegurar el buen funcionamiento de los recursos tecnológicos de la empresa mediante actividades de mantenimiento preventivo y correctivo existentes en HYDRO PATAPO S.A.C.

V. Principios del Sistema

5.1. Principios



	SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Código: Versión: 1.0 Página 6 de 34
---	---	--

5.2. Normativas

- No permitir el inicio de trabajo alguno si no se cuenta con la Charla diaria de seguridad brindada por el líder del grupo, con la participación de toda la cuadrilla.
- Todo trabajador debe realizar las tareas porque ha sido entrenado para dichas labores.
- Mantener ordenada, señalizada y limpia el área de trabajo. Separar los residuos como corresponde, evite derrames.
- Definido las zonas de riesgo no está permitido permanecer debajo de los lugares donde pueda haber caída de objetos o recorrido de una carga (herramientas, partes en proceso de armado, etc.).
- No usar equipos fuera de su criterio de diseño o especificación del fabricante.
- No se empleará andamios y/o equipos que no hayan sido autorizados para su uso.
- Bloquear y etiquetar líneas con energía (eléctrica, hidráulica, mecánica, etc.) antes de laborar en ellas.
- No conducir, operar o intervenir equipos móviles sin autorización. No hablar por celular al operar o conducir estos equipos.
- No retirar o eliminar sistemas, dispositivos y/o medidas de protección o seguridad. Usar de forma segura lo EPP's autorizados y mantenerlos en buenas condiciones.
- Reportar inmediatamente los accidentes e incidentes.
- No ingresar al área de trabajo bajo influencia de alcohol o droga no autorizados ni introducir dichos productos, inclusive a los campamentos.
- Pienso y luego actúo, si observo un acto arriesgado retroalimento a mi compañero. Le digo que puede salir lastimado sino hace correctamente la tarea.
- Todo trabajador tiene el derecho a negarse a trabajar si las condiciones para realizar la tarea podrían resultar en lesiones graves.
- Prepárese física y mentalmente para cada tarea. Cumpla con las disposiciones médicas, cuide su salud.
- El mantenimiento preventivo se realizará a las maquinarias pertenecientes de la empresa conforme al plan de mantenimiento establecido por la Gerencia General y el Jefe de Mantenimiento.
- Las acciones preventivas, serán desarrolladas en su mayoría por el operario a cargo de la máquina, de acuerdo con el plan de mantenimiento y especificaciones preestablecidas.
- En caso de presentarse alguna falla y exista la necesidad de aplicar un mantenimiento correctivo, se deberá seguir los siguientes pasos.
 - a) El operario reporta la falla al Jefe de Obra.
 - b) EL Jefe de Obra informará al Jefe de Mantenimiento, el cuál realizará una inspección a la máquina reportada.
 - c) El Jefe de Mantenimiento realizará la solicitud de repuestos y generará el orden de trabajo.
 - d) De presentarse el caso que la falla ocurra mientras se está realizando un Mantenimiento Preventivo y no exista personal disponible para atender la

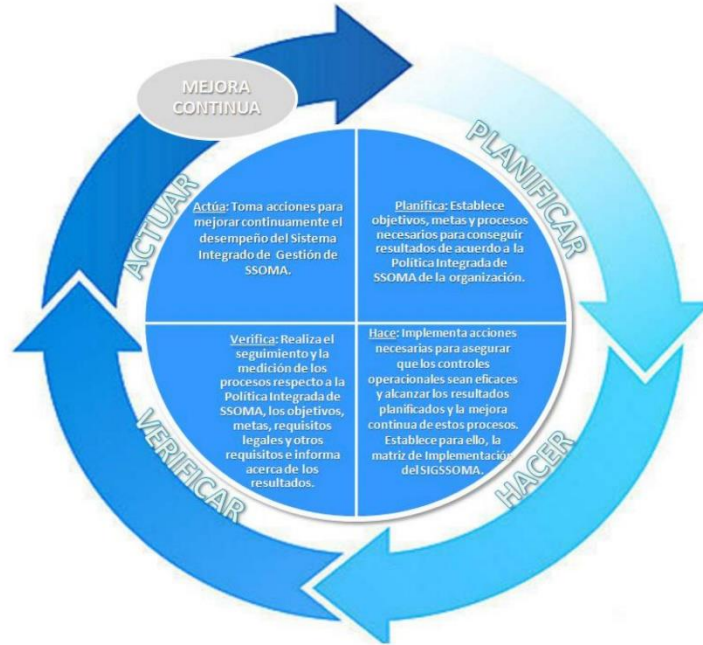
	SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Código: Versión: 1.0 Página 7 de 34
---	---	--

- máquina que requiere Mantenimiento Correctivo, se analizará la importancia de la máquina, mediante el análisis de criticidad y se le dará prioridad a la máquina que posea una criticidad mayor.
- e) El Jefe de Mantenimiento conjuntamente con la Gerencia General, coordinarán el próximo mantenimiento preventivo para dicha máquina.
 - Para la gestión de los recursos solicitados, se seguirá los siguientes lineamientos.
 - a) El Jefe de Mantenimiento turnará una copia de la orden de trabajo, al Jefe de Logística para que este realice los trámites necesarios.
 - b) El Jefe de Mantenimiento, recibe de parte del Jefe de Logística, la relación de los repuestos, para que verifique que incluyan todos los conceptos y especificaciones necesarias para la ejecución de los trabajos en obra.
 - Ejecución de Mantenimiento.
 - El Jefe de Mantenimiento, verificará físicamente el avance y calidad de los trabajos realizados por el personal a cargo.
 - El Jefe de Mantenimiento dará el visto bueno de la realización del trabajo, para la posterior puesta en marcha de la máquina.
 - Fin de la Acción de Mantenimiento Correctivo.
 - El Jefe de Mantenimiento, informará la causa de la falla y reprogramará el próximo mantenimiento.
 - Las eventualidades que no se incluyan en el presente documento, serán resueltas por la Gerencia General, conjuntamente con el Jefe de Mantenimiento.

VI. Sistema de Gestión de Mantenimiento – HYDRO PATAPO S.A.C.

El Sistema de gestión de mantenimiento – HYDRO PATAPO S.A.C. tiene como propósito proporcionar condiciones de trabajo seguros, saludables y sin perjudicar el medio ambiente a su vez satisfacer a nuestros clientes, cumplir con los requisitos legales y reglamentarios aplicables a las actividades de mantenimiento que realizamos.

El sistema está diseñado e implementado con un enfoque basado en una metodología conocida como Planificar – Hacer – Verificar – Actuar (PHVA). Para ello, HYDRO PATAPO S.A.C.:

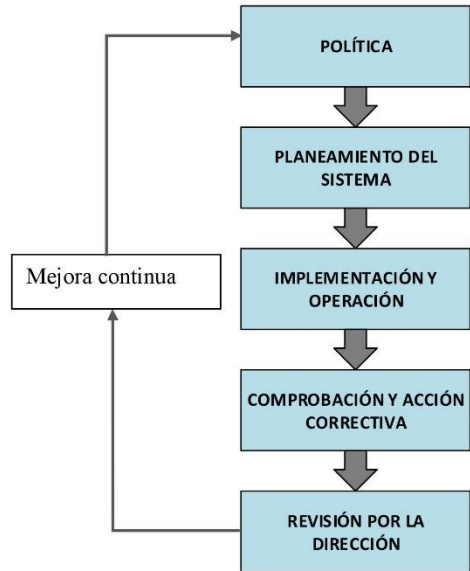


VII. Objetivos

- Brindar atención efectiva y oportuna a la maquinaria en general de la empresa.
- Aumentar el rendimiento de la maquinaria.
- Capacitar al personal para mejorar sus competencias y generar estabilidad de acuerdo a las necesidades de los proyectos.

VIII. Implementación del Sistema de Mantenimiento

El sistema de mantenimiento se maneja de la siguiente manera:

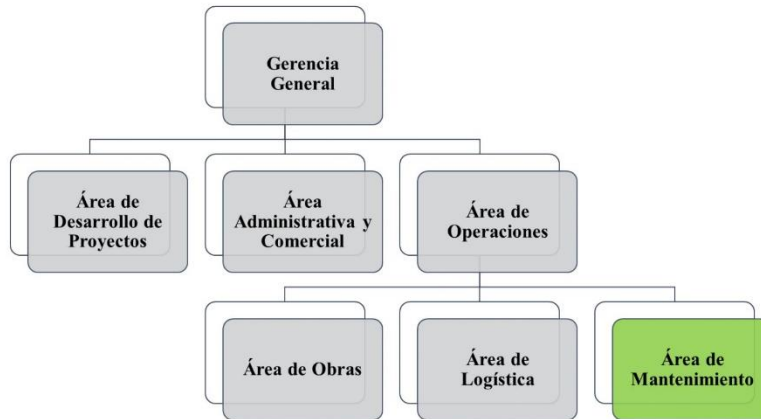


IX. Beneficios del Sistema

HYDRO PATAPO S.A.C. está convencido que el Sistema de Gestión de Mantenimiento traerá una serie de beneficios para todos, haciendo que el mantenimiento, la seguridad, el cuidado de la salud y la protección de medio ambiente sean componentes integrales de las actividades de nuestra empresa.

HYDRO PATAPO S.A.C. tiene un compromiso con sus trabajadores y las sociedades donde ejecuta sus proyectos. Por ello quiere lograr un cambio cultural y conductual en sus trabajadores mediante el ejercicio diario del sistema.

X. Organigrama de la empresa



XI. Funciones y Responsabilidades

A. El jefe del área de mantenimiento tiene como función y responsabilidad, hacer cumplir:

- Con la política de mantenimiento, los principios y las normas internas.
- Con todos los procedimientos e instrucciones de trabajo del sistema aplicables al trabajo.
- Con la asistencia obligatoria a todas las charlas del sistema que se den en el proyecto y/o área de trabajo.
- Reportar los incidentes y accidentes detectados en su área de trabajo.

B. Personal en general (Operarios y Subcontratistas), tienen como función y responsabilidades:

- Cumplir con la política del sistema, los principios y las normas internas.
- Cumplir con todos los procedimientos e instrucciones de trabajo del sistema aplicables a su trabajo.
- Asistir obligatoriamente a todas las charlas que se den en el proyecto y/o área de trabajo.
- Inspeccionar sus áreas de trabajo para detectar peligros y reportar a sus superiores todos los riesgos.
- Reportar los incidentes y accidentes detectados en su área de trabajo.

	SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Código: Versión: 1.0 Página 11 de 34
---	---	---

XII. Procedimientos del Sistema

➤ PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

1. Objetivo

Desarrollar y asegurar la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas para mantener la maquinaria en el punto óptimo de funcionamiento y eficiencia.

2. Alcance

Todas las máquinas de la empresa HYDRO PATAPO S.A.C.

3. Política de Operación

3.1. El área de Mantenimiento es el responsable del mantenimiento preventivo y correctivo de las máquinas de la empresa, con el fin de determinar, proporcionar y mantener en óptimas condiciones la maquinaria para su correcta función.

3.2. El Jefe de Mantenimiento conjuntamente con la Gerencia General realizan las siguientes acciones:

- Revisión Semestral del plan de mantenimiento preventivo.
- De ser el caso, editar el plan de mantenimiento, respaldado por registros históricos de las maquinarias.
- Difusión del plan de mantenimiento a todo el personal del área de Mantenimiento.

3.3. Una vez dado a conocer el sistema de gestión de mantenimiento, el Jefe de Mantenimiento realiza un seguimiento al cumplimiento del mantenimiento, de acuerdo con las actividades expresadas en el Manual de Mantenimiento Preventivo. (Ver anexo 3)

XIII. Actividades del Sistema

Existen actividades que deben realizarse a la maquinaria para que de esta manera aumenten su vida útil. (Ver anexo 1)

XIV. Programación del Sistema

Consiste en la programación de la realización de las actividades concernientes al mantenimiento en la empresa, en cuanto a maquinaria, personal y recursos. (Ver anexo 2)

XV. Implementación y operación

➤ **COMUNICACIÓN INTERNA Y CAPACITACIÓN**

Todo proyecto identificará los niveles y necesidades de capacitación y asegurará la adquisición de conocimientos y habilidades en temas del sistema de todo el personal en sus respectivos niveles en cuanto a entrenamiento, preparación y competencias.

El flujo de información al interior de HYDRO PÁTAPO S.A.C, es fundamental para el desarrollo del sistema, dando a conocer las políticas, objetivos y tareas a realizar a todos los trabajadores de la empresa sobre esta gestión, y así poder optimizarlo.

Para las actividades de comunicación interna y comunicación, se contratará con expertos externos a la empresa como proveedores o capacitadores que transmitan la información a nuestros trabajadores de mantenimiento.

➤ **DOCUMENTACIÓN**

HYDRO PATAPO S.A.C. controla la revisión y la aprobación de los documentos del sistema aplicables. Su emisión es automáticamente considerada, después de sus respectivas aprobaciones.

¿Cómo puedo acceder a los procedimientos y formatos del sistema?
Solicitando la información al Jefe del sistema.

➤ **CONTROL OPERACIONAL**

El control operacional asegura que las actividades se efectúen bajo estándares especificados en distintos procedimientos.

➤ **VERIFICACIÓN**

– **MEDICIÓN Y SEGUIMIENTO DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA**

HYDRO PATAPO S.A.C., utiliza indicadores proactivos y reactivos para medir el desempeño. Los siguientes son indicadores de resultados, son los más relevantes empleados por nuestro sistema:

$$\text{Actividad de mantenimiento} = \frac{\text{horas} - \text{hombre de mantenimiento}}{\text{horas} - \text{hombre de la producción}}$$

$$\% \text{ de tiempo de parada} = \frac{\text{tiempo de parada por mantenimiento}}{\text{tiempo total de producción}}$$

$$\text{Disponibilidad del equipo} = \frac{\text{horas disponibles del equipo}}{\text{tiempo total de producción}}$$

➤ **ACCIÓN CORRECTIVA Y PREVENTIVA**

HYDRO PATAPO S.A.C., establece acciones preventivas y correctivas para el tratamiento de fallas en el sistema.

➤ **REGISTROS**

HYDRO PATAPO S.A.C., aplicará y mantendrá actualizados procedimientos documentados para identificar, clasificar, mantener y controlar registros del sistema.

➤ **AUDITORÍA**

HYDRO PATAPO S.A.C., garantiza que las auditorías del sistema sean llevadas a cabo por personas competentes y tan independientes como sea posible de las actividades que se auditen, pudiendo también ser personas del interior de la empresa. Las auditorías responden a:

- Si la Gestión del sistema es capaz de lograr el desempeño estándar requerido.
- Si la empresa está cumpliendo con todas sus obligaciones relacionadas con el sistema.
- Cuáles son las fortalezas y debilidades del sistema.

XVI. Control de cambios

Corresponde al historial de cambios del documento y se debe llevar mediante la siguiente tabla:

Versión	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
1.0	[Fecha]	[Fecha]	[Fecha]

	SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Código: Versión: 1.0 Página 14 de 34
---	---	---

XVII. Anexos

1. Actividades de Mantenimiento de la maquinaria

MÁQUINA	ACCIÓN	PARTE	TIEMPO (horas)	DURACIÓN DE ACTIVIDAD (horas)
EXCAVADORA	Cambiar uñas	Cucharón	Cada 680	5
	Mantenimiento Bomba Hidráulica	Brazo	Cada 2 800	48
	Cambio de Baterías	Motor	Cada 680	1
	Cambio de Filtro de petróleo	Motor	Cada 680	0,5
	Cambio de Filtro de hidrolina	Motor	Cada 680	0,5
	Cambio de Filtro de aire (primario)	Motor	Cada 680	0,5
	Cambio de Filtro de aire (secundario)	Motor	Cada 680	0,5
	Cambio de Filtro de aceite	Motor	Cada 680	0,5
	Lubricación de cadenas	Cadenas	Cada 720	1
CORTADORA DE CONCRETO	Cambio de Disco	Soporte de montaje	Cada 680	2
	Cambio de Filtro de petróleo	Motor	Cada 680	0,5
MARTILLO HIDRÁULICO	Cambio de punta	Herramienta	Cada 680	0,5
COMPACTADORA	Faja	Bandeja Vibratoria	Cada 720	1
	Bujía	Bandeja Vibratoria	Cada 720	0,5
	Filtro de petróleo	Bandeja Vibratoria	Cada 720	0,5
	Filtro de aire (primario)	Bandeja Vibratoria	Cada 720	0,5
	Filtro de aire (secundario)	Bandeja Vibratoria	Cada 720	0,5
	Filtro de aceite	Bandeja Vibratoria	Cada 720	0,5
CARGADOR FRONTAL	Cambio de Filtro de petróleo	Motor	Cada 680	1

	Cambio de Filtro de aceite	Motor	Cada 680	1
	Cambio de Filtro de aire (primario)	Motor	Cada 680	1
	Cambio de Filtro de aire (secundario)	Motor	Cada 680	1
	Cambiar uñas	Cucharón	Cada 680	5
	Mantenimiento Bomba Hidráulica	Brazo	Cada 2 800	48
	Cambio de Baterías	Motor	Cada 680	1
	Cambio de Llantas	Mandos finales	Cada 2 800	5
DURACIÓN TOTAL (h)				127

3. Manual de Mantenimiento Preventivo

MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

[Código]
www.hydropatapo.com



HYDRO PATAPO S.A.C

Introducción

El presente manual proporciona las reglas y directrices que ayudarán a realizar el mantenimiento de la maquinaria de la empresa HYDRO PATAPO S.A.C., con seguridad y efectividad. Al realizar las funciones de operación y mantenimiento se seguirán, en todo momento, medidas de precaución incluidas en este manual

La mayor parte de los accidentes se deben al incumplimiento de las normas de seguridad básicas en la operación y mantenimiento de las máquinas. Los accidentes pueden ser prevenidos sabiendo de antemano las condiciones que pudieran causar peligros cuando se realizan operaciones y mantenimiento.

I. OBJETIVO

El objetivo del presente manual es:

- Maximizar la producción.
- Reducir el tiempo entre fallas.
- Mejorar la calidad de la producción.
- Optimizar los costos.

II. ALCANCE

Toda la maquinaria con la cuenta la empresa.

III. TERMINOLOGÍA

- **Mantenimiento:** Actividades para mantener y recuperar la situación ideal, así como la determinación y evaluación de la situación real de un sistema por medios técnicos. Las medidas contienen actividades de: conservación, inspección y reparación.
- **Conservación:** Actividades para mantener el estado ideal de componentes de un sistema. Ej. Lubricar.
- **Inspección:** Actividades para evaluar la situación real de componentes de un sistema. Ej. Medir algún parámetro.
- **Reparación:** Actividades para la reposición de la situación ideal de medios técnicos correspondientes a un sistema. Ej. Cambio de componentes.

IV. BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PLANIFICADO PARA LA MAQUINARIA

Entre los beneficios alcanzados al desarrollar un programa de MP, por algún período de tiempo se cuentan:

- a) Prevención de fallas en los equipos o instalaciones, con lo que se evita paros y gastos imprevistos.
- b) Reducción del reemplazo de equipos durante su vida útil.
- c) Reducción de la cantidad de repuestos de reserva.
- d) El buen estado de los equipos e instalaciones durante su vida útil.
- e) Utilización planificada del recurso humano.

V. ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN

A. Limpieza de los equipos

- Quizás sea la tarea de mantenimiento más sencilla, económica, pero la más efectiva.
- Determine que hay que limpiar, con qué frecuencia, que materiales y herramientas va a emplear, y quien lo hará.
- Determine la capacitación requerida para los operadores; planifíquela y ejecútela.
- General mente la limpieza a intervalos prolongados (semanal/mensual) es realizada por el personal de mantenimiento.

B. Lubricación

- Es la segunda tarea de mantenimiento más sencilla, pero no se le da la debida importancia.
- Determine que lubricar, con qué frecuencia, que lubricantes usar, y quien lo hará.
- Mejore los equipos para confiar por completo en los visores, indicadores, tacómetros.

➤ Métodos de lubricación:

1. A cargo de mantenimiento. (A pedido o luego de una inspección)
 - El equipo falla con frecuencia por tratarse de una responsabilidad compartida.
 - Muchas veces es demasiado tarde (el equipo ya sufrió recalentamiento).
 - Las inspecciones son tardías o inexistentes.
2. Rutas de lubricación. (Método altamente recomendado)
 - El encargado del mantenimiento, equipado con todos los lubricantes y herramientas necesarios, revisa en serie todos los equipos de acuerdo a la programación de la ruta, efectúa toda la lubricación y lleva registros.
 - Método económico y eficaz con una responsabilidad clara.
3. A cargo de los operarios.
 - Método excelente e incluso menos costoso.
 - Los operadores deben querer hacerlo (motivación).
 - Deben saber cómo hacerlo (capacitación).
 - Se les debe de dar tiempo para efectuar la inspección y la lubricación
 - (planificación y programación).

C. Inspección de los equipos

Inspección es el proceso de revisión del equipo para asegurar de que opera en condiciones de diseño, evaluando problemas potenciales e identificando componentes que pueden causar averías y estimar el tiempo en que fallara.

- Cuanto más importante es el equipo, más se le debe inspeccionar.
- Cualquiera puede inspeccionar un equipo (operadores, mantenimiento e ingenieros).

- Desarrolle listas de verificación, inspección y determine las frecuencias para realizar inspecciones de mantenimiento.
- Existe dos tipos básicos de inspección.

1. Sensorial: El uso de los sentidos es bastante efectivo y poco costoso.

Se debe emplear:

- La vista:

- Suciedad, herrumbre, falta de lubricación, bajo nivel del aceite.
- Piezas rotas, gastadas o sueltas mala alineación, elementos de seguridad rotos.
- Pérdidas hidráulicas.
- Cables, correas deterioradas.
- Medidores descompuestos, lectura anormal.

- El oído:

- Exceso de ruido, chirridos y golpeteos.
- Pérdidas de aire, sonidos extraños.
- Sonidos adicionales.
- Funcionamiento lento (rpm).

- El olfato:

- Por alta fricción
- Por excesivo calor debido a falta de lubricación.

- El tacto:

- Excesiva vibración (Cojinetes, ventiladores, fajas, componentes giratorios).
- Piezas sueltas o rotas no visibles.

Todas estas inspecciones pueden ser efectuadas generalmente por los operadores.

2. Empleo de herramientas e instrumentos:

- Por lo general, mantenimiento uno usa muchas herramientas e instrumentos en las tareas de inspección en el mantenimiento preventivos a comparación del mantenimiento predictivo.
- Verifique la alineación mida el desgaste de componentes, pruebe los circuitos eléctricos mida la temperatura chequee la tensión de los sujetadores.

D. Ajustes de los equipos:

- Llegue a un acuerdo, acerca de cuáles deberían de ser las calibraciones normales de los equipos, documentarlas y ver que se cumplan. Muchos ajustes se realizan de acuerdo al capricho del operador.
- Los ajustes deben realizarse de acuerdo a las medidas que demanda el fabricante.
- La necesidad de realizar demasiados ajustes puede ser un indicio de la necesidad de mejoramiento del equipo.

E. Reparaciones

- Reparaciones planificadas: Se efectúa una inspección, se evalúa el resultado de la inspección, recién se repara.
- Reparación no planificada: De repente se produce una falla, se comprueba los daños y luego se repara.
- Comprende la reposición de materiales o repuestos.

VI. ÁREAS RELACIONADAS CON EL MANTENIMIENTO

1. Gerencia

- Definición de la organización.
- Descripción de funciones del departamento.
- Planificación de los resultados.
- Definición de los objetivos.

2. Producción

- Registrar actividades de producción y características de calidad.
- Control de características de materias.
- Parámetros de regulación.
- Coordinar fechas para trabajo.
- Contratar personal calificado.
- Efectuar inspección y tareas de inspección.

3. Logística

- Minimizar el stock correspondiente a componentes de mantenimiento.
- Planificación y control de adquisiciones.
- Minimizar proveedores.
- Reducir el tiempo de las adquisiciones.

4. Personal

- Contratar personal calificado.
- Actividades de capacitación permanente.
- Descripción de funciones para el puesto.

5. Mantenimiento

- Planificación, tiempo y lugar.
- Efectuar tareas de mantenimiento.
- Control y minimización de los recursos utilizados por mantenimiento.
- Descripción de exigencias de mantenimiento.

6. Contabilidad

- Costos derivados de mantenimiento
- Planificación de los costos.
- Proporcionar información al área de mantenimiento, para optimización de los costos.
- Comparación de los costos planificados y los costos reales.

VII. ORGANIZACIÓN Y PERSONAL PARA EL MANTENIMIENTO



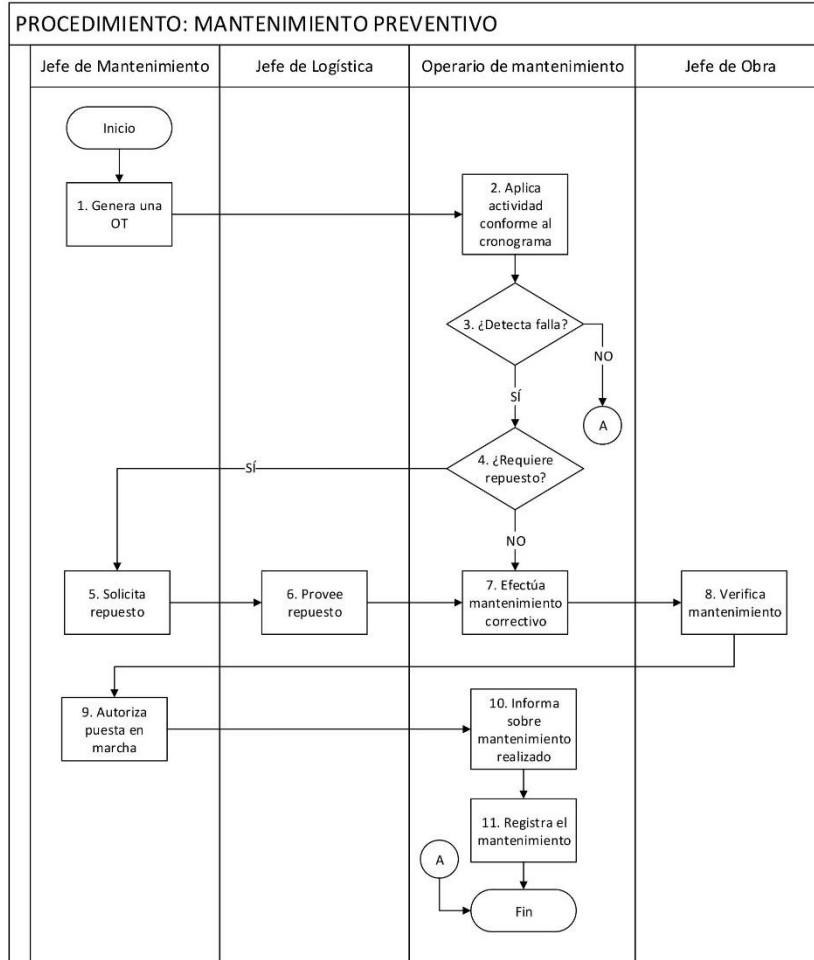
VIII. PROCEDIMIENTO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

A. Descripción de las actividades

ITEM	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	DOCUMENTOS
1	Genera una OT	El Jefe de Mantenimiento genera una orden de trabajo, detallando la actividad de mantenimiento que se llevará a cabo.	Jefe Mantenimiento	Orden de trabajo
2	Aplica actividad conforme al cronograma	Se lleva a cabo las actividades programadas, las cuales son de limpieza externa e interna, y lubricación.	Operario de Mantenimiento	Ficha técnica de mantenimiento de la máquina
3	¿Detecta falla?	El Operario de Mantenimiento al realizar la actividad programa si no detecta la presencia de una falla en la máquina, fin del procedimiento.	Operario de Mantenimiento	
4	¿Requiere repuesto?	Al detectar la falla, realiza la revisión de la misma para detectar si se necesita de un repuesto para solucionarla. De no necesitar repuesto, continúa con la actividad 7.	Operario de Mantenimiento	
5	Solicita Repuestos	El Jefe de Mantenimiento solicita los repuestos faltantes al área de logística, quienes se	Jefe Mantenimiento	Solicitud de repuestos

		encargaran de la compra de los mismos.		
6	Provee los repuestos	El Jefe de Logística provee los repuestos al área de mantenimiento.	Jefe de Logística	
7	Efectúa el mantenimiento correctivo	Con el repuesto, procede a realizar el cambio del componente y la reparación de la falla en la máquina.	Operario de Mantenimiento	
8	Verifica mantenimiento	El Jefe de Obra supervisa el trabajo realizado por el operario de mantenimiento.	Jefe de Obra	
9	Autoriza puesta en marcha	El Jefe de Mantenimiento da por finalizado el mantenimiento y autoriza el regreso a la producción de la maquinaria.	Jefe de Mantenimiento	
10	Informa sobre mantenimiento realizado	Realiza un informe de mantenimiento en donde detalla lo realizado en cuanto a actividades y recursos utilizados con el fin de prevenir fallas futuras.	Operario de Mantenimiento	Informe de Mantenimiento
11	Registra el mantenimiento	El Operario de Mantenimiento registra el trabajo realizado conjuntamente con las observaciones que crea pertinentes.	Operario de Mantenimiento	Registro de Mantenimiento

B. Diagrama de las actividades



C. Documentos

- Ficha Técnica
- Orden de Trabajo
- Solicitud de repuestos
- Informe de Mantenimiento

D. Registros


- Registro de Mantenimiento
- Reporte de Mantenimiento Preventivo

IX. CONTROL DE CAMBIOS

Versión	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
1.0	[Nombre del área] [Fecha]	[Nombre del área] [Fecha]	[Nombre del área] [Fecha]

X. ANEXOS

1. Ficha Técnica

 FICHA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA				
Nombre de la máquina				
Fecha de Compra de la máquina				
Modelo/año	N° serie de motor	N° serie carcasa	País de origen	
Costo (en dólares americanos)	vida útil de equipo	años	horas	kms
Periodo de Mantenimiento Preventivo	cambio de lubricante	meses	kms	

2. Orden de Trabajo

ORDEN DE TRABAJO	
Jefe de Mantenimiento _____ por este medio le solicito programar el mantenimiento:	
Correctivo _____ Preventivo _____	, de la máquina que se describe:
Fecha: _____	Modelo/año: _____
Nombre de la máquina: _____	Serie de la carcasa: _____
Periodo de Mantenimiento Preventivo: _____ meses	_____ horas _____ kms
Cambio de lubricantes _____ meses	
Mantenimiento Correctivo descripción:	
Sin mas que referirme, saludo,	
Atte.	
Jefe de Mantenimiento: _____	
Unidad Administrativa Solicitante: _____	
Cargo a Proyecto:	

4. Informe de Mantenimiento

INFORME DE MANTENIMIENTO

Jefe de Mantenimiento _____, por este medio informativo de avance de trabajo realizado en la máquina descrita, como también las horas empleadas para el mismo, el material utilizado y los repuestos cambiado en la ejecución del mantenimiento.

Correctivo: _____ Preventivo: _____ de la máquina que se describe.

Fecha: _____ Nombre de la máquina: _____
Modelo/año: _____ Serie de la carcasa: _____
Periodo de Mantenimiento _____ horas
Preventivo: _____ mes _____ Kms
Cambio de lubricantes: _____
_____ meses

Mantenimiento Correctivo descripción: _____

Recursos utilizados: _____
Horas hombre: _____
Descripción de
materiales:

Sin más a que referirme, le saludo,
Atte.
Jefe de Obra: _____



**SISTEMA DE GESTIÓN DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Código:
Versión: 1.0
Página 33 de 34

5. Registro de Mantenimiento

Nº de Registro	MÁQUINA	CÓDIGO	HORAS	INICIO	HORA	FECHA	FIN	HORA	FECHA
FALLA	TIPO:								
	DIAGNÓSTICO:								
	PROCEDIMIENTO DE DETECCIÓN:								
	PROCEDIMIENTO DE SOLUCIÓN:								
SOLUCIÓN	HERRAMIENTAS:								
	REPUESTOS Y MATERIALES:								
	PERSONAL DE MANTENIMIENTO:								
REVISADO POR:							FIRMA:		
OBSERVACIONES:									

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Firma:	Firma:	Firma:
Fecha: (DD/MM/AAAA)	Fecha: (DD/MM/AAAA)	Fecha: (DD/MM/AAAA)

