

MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA DE
ANÁLISIS DE MODO FALLA Y EFECTO (FMEA) PARA EL SISTEMA
HIDRÁULICO DE LA FLOTA DE GRÚAS DEL GRUPO EMPRESARIAL LA
OCTAVA LTDA, GLOBAL GENESIS S.A.S

HECTOR IVAN PINEDA CALDERÓN
Estudiante de Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA
2021

MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA DE
ANÁLISIS DE MODO FALLA Y EFECTO (FMEA) PARA EL SISTEMA
HIDRÁULICO DE LA FLOTA DE GRÚAS DEL GRUPO EMPRESARIAL LA
OCTAVA LTDA, GLOBAL GENESIS S.A.S

HECTOR IVAN PINEDA CALDERÓN
Estudiante de Ingeniería Mecánica

INFORME PASANTIA

Para optar el título de Ingeniero mecánico

DIRECTOR:

ING. NELSON IVAN VILLAMIZAR CRUZ

Docente de la facultad de Ingeniería Mecánica

CODIRECTOR:

ING. LEONARDO CELY GUEZGUAN

Docente de la facultad de Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA
2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

Jurado

Jurado

Tunja, 20 de mayo de 2021

DEDICATORIA

Este trabajo de grado va dedicado principalmente a Dios, que me ha permitido cumplir el sueño de ser Ingeniero Mecánico, a mi padre Héctor Manual Pineda quien con su esfuerzo y dedicación me enseñó a persistir pese a las adversidades y nunca darme por vencido, a mi madre Magdalena calderón y hermana Diana Yaneth quienes, con su amor y apoyo incondicional cada día, me permitieron alcanzar este momento tan importante de mi formación profesional.

Héctor Iván Pineda calderón

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud principalmente a mi hermana Diana Yaneth Pineda, por estar siempre a mi lado y darme su voz de aliento para lograr este objetivo como profesional, igualmente mi hermano José Antonio Pineda por su apoyo en la realización de este proyecto.

Agradezco a la Universidad Santo Tomás y a los docentes que hicieron parte a lo largo de mi formación profesional, igualmente a mis directores que aportaron de sus conocimientos para lograr el desarrollo de este proyecto.

Extiendo mi agradecimiento especial al grupo empresarial COMERCIALIZADORA Y DISTRIBUIDORA LA OCTAVA LTDA, GRUAS LA OCTAVA Y GLOBAL GENESIS S.A.S, Por haberme abierto las puertas como pasante y permitirme ser parte de su equipo de trabajo.

Héctor Iván Pineda Calderón

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
ANTECEDENTES.....	15
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS	18
3.1 OBJETIVO GENERAL	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. MARCO REFERENCIAL	19
5. MARCO TEÓRICO	21
5.1 MANTENIMIENTO.....	21
5.2 METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO.....	22
5.3 DESIGNACION DE COSTOS DE MANTENIMIENTO	23
6. DISEÑO METODOLÓGICO	24
6.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	25
6.1.2 ANÁLISIS FUNCIONAL.....	29
6.1.3 DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES	30
6.1.4 INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA FLOTA	33
6.2. ANÁLISIS DE FALLAS	34
6.2.1 CLASIFICACIÓN DE RIESGOS	35
6.2.2 ANÁLISIS DE RIESGOS	42
6.2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	57

6.3 OPTIMIZACIÓN DE ACCIONES.....	64
6.3.1 ETAPA 1. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	64
6.3.2 PROYECCIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	66
6.3.3 ETAPA 2. METODOLOGÍA 5S.	69
7. CONCLUSIONES	76
REFERENCIAS.	78

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Comparación de instalación y componentes del sistema hidráulico con respecto al tipo de grúa.	28
Tabla 2. Listado flota de grúas.	30
Tabla 3. Descripción de fallas encontradas en el diagnóstico.	31
Tabla 4. Análisis MTTF, MTTR y disponibilidad actual de la flota.	33
Tabla 5. Rangos de frecuencia de fallo.	35
Tabla 6. Rangos por criterio de afectación o gravedad de fallo.	36
Tabla 7. Rangos por criterio de detección.	37
Tabla 8. Categorización de las fallas presentadas al sistema hidráulico de la flota.	39
Tabla 9. Rango de clasificación según valor RPN.	43
Tabla 10. Clasificación de fallos, valor RPN inicial.	44
Tabla 11. Aplicación FMEA con acciones de mantenimiento.	49
Tabla 12. Calificación de ocurrencia de fallos.	58
Tabla 13. Calificación de gravedad de fallo.	59
Tabla 14. Costos y reparaciones en un periodo de 4 meses.	60
Tabla 15. Distribución de presupuesto.	61
Tabla 16. Valores "x" y "y" obtenidos mediante la técnica de mínimos cuadrados.	62
Tabla 17. Formato de variables para implementación de plan de mantenimiento al sistema hidráulico.	64
Tabla 18. Valores MTBF, MTTR y eficiencia de reparaciones.	65
Tabla 19. Tasa de reparaciones.	65
Tabla 20. Rutina de mantenimiento preventivo implementada a raíz de la metodología FMEA.	66
Tabla 21. Designación de roles para la realización de inspección rutinaria.	67
Tabla 22. Formato de programación de actividades de mantenimiento dirigido al sistema hidráulico.	68
Tabla 23. Rangos de calificación para el desarrollo de la metodología 5S.	70
Tabla 24. Evaluación de las acciones de mantenimiento antes de aplicar metodología metodología de las 5S.	70
Tabla 25. Calificaciones obtenidas antes de aplicar la metodología de las 5S.	71
Tabla 26. Evolución de las acciones de mantenimiento realizadas después de la implementación del FMEA Y METODOLOGIA 5s.	74
Tabla 27. Comparación de calificaciones obtenidas antes y después de la implementación del FMEA Y metodología 5S.	74

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura. 1 Etapas de la metodología.	25
Figura. 2 Representación esquemática del sistema hidráulico instalado en la grúa NPR.	26
Figura. 3 Representación esquemática del sistema hidráulico instalado en la grúa NKR.	27
Figura. 4 Representación esquemática de los componentes del sistema hidráulico instalado por categorías de funcionalidad.	29
Figura. 5 Diagnostico de las grúas NPR.	32
Figura. 6 Diagnostico de las grúas NKR.	32
Figura. 7 Codificación empleada para metodología FMEA a la flota.	34
Figura. 8 Factores de reconocimiento matriz de riesgos.	38
Figura. 9 Reconocimiento de las fallas presentadas en la grúa NPR01 por medio de la matriz de riesgos.	40
Figura. 10 Reconocimiento de las fallas presentadas en la grúa NPR02, por medio de la matriz de riesgos.	41
Figura. 11 Análisis de las fallas presentadas por categoría de funcionalidad.	42
Figura. 12 Resultado de análisis FMEA, RPN inicial vs RPN final.	57
Figura. 13 Análisis de fallas por calificación de ocurrencia.	58
Figura. 14 Análisis de fallas por criterio de gravedad.	59
Figura. 15 Comportamiento costos fijos y variables.	63
Figura. 16 Comportamiento de resultados en las acciones de mantenimiento realizadas a partir de la metodología FMEA.	71
Figura. 17 Comportamiento de los resultados del antes y después de la metodología 5S.	75

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Carta de conformidad de trabajo realizado.	79
Anexo B. Conteo de fallas presentadas y registradas en la basa de datos de mantenimiento en el periodo de cuatro meses comprendidos desde enero hasta abril del presente año.	80
Anexo C. Especificaciones técnicas de componentes instalados en el sistema hidráulico.	81
Anexo D. Seguimiento de paros de operación.	84
Anexo E. Seguimiento MTBF Y MTTR de la flota.	85
Anexo F. Seguimiento de mantenimientos a la flota de grúas primer periodo año 2021.	86

GLOSARIO

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA: Es una metodología de mantenimiento utilizada para identificar modos de falla dentro de un sistema evaluando sus causas y correncias, enfocándose en la prevención y eliminación de problemas dentro de un sistema o subsistema.

DISPONIBILIDAD: Es la capacidad de un activo de operar sin ninguna afectación en el funcionamiento.

DETECCIÓN DE FALLO: Es un valor para clasificar la probabilidad de encontrar la falla antes de que el sistema falle.

FALLO: Es un evento que conlleva a la disminución de operación de algún componente o mecanismo.

METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO: Consiste en evaluar las técnicas de mantenimiento mediante distintos procedimientos logrando aumentar eficiencias de funcionamiento de maquinarias y equipos.

METODOLOGÍA 5S: Es una metodología de gestión de calidad que se maneja bajo la norma ISO 9001, empleada para mejorar la calidad en procesos de cualquier índole, generando aspectos de disciplina, orden, motivación en el desarrollo de procedimientos.¹

NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO: Es un número que se calcula un valor basándose en la calificación que se obtiene en cada de los aspectos de severidad, ocurrencia, detección.

OCURRENCIA DE FALLO: Es la probabilidad en que una causa especifica resulte en modo de falla.

REGRESION SIMPLE: Es un método estadístico que permite utilizar variables cuantitativas y cualitativas para estimar o predecir comportamientos permitiéndolos observar de manera gráficas facilitando la toma de decisiones.

¹ YANER Diaz, "Metodología 5s de Gestión de la calidad." *Blogs/mtelcon* 13 may 2014.

SEVERIDAD DE FALLO: Es la estimación de gravedad del efecto de modo de falla.

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS: Se designa como el tiempo medio de reparación de una falla y se obtiene dividiendo el tiempo total de acciones correctivas de mantenimiento entre, número de fallos.

TIEMPO PROMEDIO DE REPARACIONES: Representa el promedio del tiempo que se gasta para reparar un fallo y se calcula dividiendo el tiempo total de operación entre el número de reparaciones o fallos.

TÉRMINOS ABREVIADOS

DETF: Detección de fallo

FMEA: Análisis de modos y efectos de falla

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo promedio de reparaciones

OCUF: Ocurrencia de fallo

RPN: Número de prioridad de riesgo

SEVF: Severidad de fallo

INTRODUCCIÓN

La empresa COMERCIALIZADORA Y DISTRIBUIDORA LA OCTAVA LTDA y su extensión empresarial GLOBAL GENESIS S.A.S, cuentan actualmente con una flota de grúas de planchón marca Chevrolet NPR Y NKR que opera mediante un sistema hidráulico instalado para efectuar el levante del planchón, este sistema cuenta con cilindros doble efecto accionados por medio de válvulas para desplazamiento.

Actualmente el sistema hidráulico cuenta con pocas rutinas de mantenimiento predictivas y preventivas que permitan tener una idea clara de la operatividad y comportamiento del sistema, siendo como principal objetivo en el área de mantenimiento del grupo empresarial; comercializadora y distribuidora la octava LTDA. y GLOBAL GENESIS SAS, implementar una metodología de plan de mantenimiento basado en el análisis de modos y efectos de falla (FMEA), para que con base en este, permita reducir costos de mantenimiento igualmente aumentar la conservación del sistema hidráulico evitando paros de operación.

Considerando la necesidad del grupo empresarial se plantea la metodología FMEA, diagnosticando el funcionamiento del sistema hidráulico mediante una jerarquización de tipos de fallo, permitiendo al área de mantenimiento identificar los requerimientos de actividades de mantenimiento a los componentes más críticos del sistema, categorizar los componentes de acuerdo a su funcionalidad, así mismo generar un seguimiento y optimización de acciones recomendadas de mantenimiento con el fin de reducir los fallos del sistema y aumentar la disponibilidad de operación.

En base a los resultados obtenidos por el análisis de modos y efectos de falla en el sistema hidráulico, se realiza una proyección de mantenimiento preventivo el cual genera la programación de acciones recomendadas optimizando el manejo de información de las fallas presentadas en el sistema; de igual manera se realiza la implementación de una metodología de las 5S, para lograr una ejecución correcta de las acciones de mantenimiento teniendo en cuenta aspectos de organización y jerarquización de las tareas recomendadas por la metodología FMEA.

ANTECEDENTES

El entorno operacional y seguimiento de mantenimiento a las grúas de planchón que hacen parte del grupo empresarial, vienen dadas de manera general con largos intervalos de ejecución de mantenimiento; registrando rutinas básicas netamente correctivas, actualmente se presentan dificultades en la gestión de mantenimiento debido a que no existe descripción profunda de las fallas presentadas en los sistemas y componentes por parte del personal; de acuerdo a la operatividad de las grúas, el sistema hidráulico para el levante del planchón es uno de los sistemas en el cual se deben practicar diferentes acciones de mantenimiento preventivas, con el fin de evitar eventuales paros de operación ya que es un sistema que se requiere en cada una de las maniobras y que afecta directamente la productividad de la empresa.

Además, el paro no programado de mantenimiento puede llegar a tener afectaciones en el área administrativa, afectando los convenios realizados con entidades bancarias y aseguradoras, quienes son las que toman el servicio en un 95 % de la actividad diaria, es allí donde específicamente surge la necesidad de indagar a fondo acerca de las fallas que pueden afectar el sistema hidráulico por medio de metodologías de mantenimiento, cuyas fallas sean parametrizadas para brindar soluciones prontas, igualmente prevenirlas a futuro. Adicionalmente la eventual ejecución de la metodología de análisis modo y efecto puede contribuir a la actualización de la base de datos de mantenimiento, fortaleciendo la ejecución de las rutinas básicas de intercambio periódico hechas al sistema hidráulico.

Por otro lado, la documentación de las fallas presentadas antes de la implementación de la metodología FMEA, en el primer periodo del año 2021, se observó que el presupuesto asignado para el mantenimiento del sistema hidráulico de la totalidad de la flota fue de \$2.042. 000, destacando que la mayoría de los mantenimientos realizados al sistema fueron correctivos.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa comercializadora y distribuidora la octava Ltda, es un grupo empresarial que opera en la ciudad de Bogotá desde el año 2009, siendo proveedores de custodia de siniestros y embargos automotrices, provenientes de entidades bancarias y aseguradoras, contando con 2 bodegas de custodia de más de 3.000 m^2 , realizando inventarios automotrices y prestando sus servicios de transporte y carga de vehículos livianos a diferentes entidades que lo requieran, personas naturales, entre otros. Actualmente una extensión del grupo empresarial llamada global Génesis SAS cuenta con un parque automotor de 12 grúas de planchón marca Chevrolet NPR y NKR, así como un taller de intercambio de piezas periódicas donde se realizan rutinas básicas de mantenimiento correctivo y preventivo.

Sabiendo que la correcta implementación de una metodología FMEA, permite obtener un historial de operación, efectuar un análisis de modo y efecto de fallas prediciendo errores funcionales y la probabilidad de que se detecten antes que ocurran extendiendo la vida útil del sistema, ¿la metodología puede influir en la reducción significativa de costos de mantenimiento?, ¿el análisis de modo y efecto de fallas, permite analizar profundamente si la operación del sistema ha venido siendo manejada correctamente?

Pese al alto impacto operacional registrado durante el año 2020, el área de mantenimiento ha logrado identificar que:

- No se han evaluado fallas operacionales que ha tenido el sistema hidráulico, por ende, no se identifican componentes críticos.
- El ciclo de vida de cada subsistema o componente es desconocido frente a sus horas de trabajo.

Se considera indispensable para el equipo de mantenimiento analizar cuantitativamente las posibles fallas funcionales de los componentes del sistema. La implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología FMEA, hace que el sistema tenga una alta mantenibilidad con respecto al tiempo, generando confiabilidad en la operación, por consiguiente, el equipo de mantenimiento logrará identificar causas, características y ocurrencias, generando acciones preventivas reduciendo significativamente los paros del sistema.

2. JUSTIFICACIÓN

El grupo empresarial comercializadora y distribuidora la Octava LTDA y global Génesis SAS, durante los últimos años ha tenido un rendimiento significativo de operación; operando cada grúa en un turno de 9 horas diarias y prestando el servicio de custodia a cerca de 4 vehículos por turno. Debido a esto, el área de mantenimiento busca tener una alta mantenibilidad de los sistemas que hacen parte de las grúas Chevrolet NKR y NPR específicamente en el sistema hidráulico debido a que su maniobra debe funcionar correctamente para prestar el servicio.

Con la implementación de la propuesta de gestión de mantenimiento basada en metodología FMEA, se busca planificar y programar rutinas de mantenimiento en los subsistemas hidráulicos, así como plantear análisis de causa efecto de falla a los componentes. Factores como la reducción de presupuestos en cuanto a mantenimiento y el análisis favorable que se le da al sistema, pueden llegar a ser tomados en cuenta para un mejoramiento en el taller de mantenimiento y un posible aumento de flota, puesto que la correcta implementación de la metodología ya mencionada promueve datos técnicos para la toma de decisiones frente a posibles compras y cambios del sistema, a su vez el taller del grupo empresarial se vería beneficiado al tener un análisis más descriptivo del sistema por medios de formatos de registro, permitiéndoles priorizar las causas sobre las cuales hay que actuar para evitar fallos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un plan de mantenimiento basado en metodología de análisis de modo falla y efecto (FMEA), para el sistema hidráulico de la flota de grúas del grupo empresarial la octava Ltda., global Génesis SAS.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar y diagnosticar el funcionamiento de los componentes del sistema hidráulico.
- Determinar efectos y consecuencias de fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- Establecer metodología FMEA, para el modelo de plan de mantenimiento.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Aplicación de la técnica FMEAC, análisis de los modos de fallas, efectos y criticidad, para optimizar el plan de mantenimiento de los motores Caterpillar 3512 embarcaciones tipo remolcador. Esta investigación se basa en mejorar el plan de mantenimiento de motores Caterpillar 3512 mediante una etapa de planificación identificando riesgos que puedan afectar tanto el personal, como la prestación del servicio del mismo.

4.2 Plan de mantenimiento preventivo para un sistema hidráulico de la grúa telescópica Lorain. La implementación de un plan de mantenimiento de subsistemas es de vital importancia para efectuar una buena operación de la maquinaria, este trabajo realizado buscó realizar el plan de mantenimiento con el fin de mejorar la vida útil de las piezas que componen el sistema hidráulico, encontrando alternativas técnicas para implementar en las rutinas de mantenimiento del sistema.²

4.3 Análisis de modo y efectos de falla (FMEA), en los scooptrams de la empresa minera Atacocha. El análisis presentado durante esta investigación determina la mejora del servicio que ha presentado el equipo, de manera que fue llevada a cabo de manera descriptiva con el objetivo de lograr identificar los indicadores de costos llevados a cabo durante el mantenimiento, realizado durante el año 2017. en Huancayo Perú.³

4.4 Conceptos básicos de los sistemas hidráulicos montados en camiones: (products, s.f.). El presente documento expone de manera general el funcionamiento del sistema hidráulico, tomando como referencia cada componente del sistema y teniendo en cuenta parámetros de diseño. Igualmente evalúa errores comunes a la hora de instalar componentes del sistema y al realizar rutinas de mantenimiento.⁴

² ROJAS, M. E, "Plan de mantenimiento preventivo para un sistema hidráulico de la grúa telescópica Lorain " Repository eafit 2010.

³ GUERRA Huamali, "Análisis de modos y efecto de falla en los Scooptrams de la empresa minera Atacocha" *Repositorio UNCP*. 2016.

⁴ MUNCIE POWER PRODUCTS, "conceptos básicos de los sistemas hidráulicos montados en camiones, Cuarta edición edición. Obtenido de munciepower.com

4.5 Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis FMECA y monitoreo mediante el software am para un sistema GEMi CMD bombas. En este plan de mantenimiento se observa la implementación de una metodología de análisis de fallas para los sistemas de bombeo por medio de un software AM, así mismo se realizan varias tareas proactivas y correctivas de mantenimiento en el sistema GCB.⁵

4.6 Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. Mediante este artículo se identificaron los modos de fallo que representaron en algún tipo de afectación a una planta de proceso, logrando identificar los procedimientos con mayor riesgo y generando acciones correctivas para la solución de las afectaciones.⁶

4.7 EL FMEA del sistema hidráulico simplificado. El artículo muestra una investigación de la metodología FMEA dirigida al volquete hidráulico desarrollada por el ingeniero de ventas de Drew certain, p.e, dando como conclusiones que la metodología FMEA indico problemas basados en flujo, dirección de flujo y presión operativa.⁷

⁵ RIOS Puerta, "Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis FMECA y monitoreo mediante el software am para un sistema GEMi CMD bombas" *Repository eafit* 2006.

⁶ "Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad" <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>.

⁷ "El FMEA del sistema hidráulico simplificado - Reliabilityweb" <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/hydraulic-system-fmea-made-easy>.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 MANTENIMIENTO

La designación de mantenimiento en cualquier industria viene dada a partir de la necesidad de mejora y cuidado de los componentes de maquinaria y equipos. Uno de los objetivos principales de mantenimiento incide en extender la vida útil de cualquier elemento o máquina evitando fallas inesperadas, garantizando disponibilidad de operación por medio de diferentes metodologías que conllevan a realizar acciones y actividades que permiten obtener un control de gestión de mantenimiento apropiado.

Efectuar una implementación de mantenimiento correcta incide directamente en la reducción de costos, por concepto de reparaciones periódicas para la detección oportuna de cualquier desgaste o daño por medias reparaciones, limpiezas, inspecciones y monitoreos que son llevadas a cabo por los siguientes tipos de mantenimiento:

- **Mantenimiento correctivo:** Es una actividad de mantenimiento que genera correcciones y reparaciones a maquinaria o equipos que han dejado de funcionar.
- **Mantenimiento predictivo** Es una técnica implementada para pronosticar fallos que se pueden llegar a presentar en un mecanismo o componente.
- **Mantenimiento preventivo** Es un tipo de mantenimiento que sigue una planificación previa, basado en intervalos de tiempo definidos, el objetivo principal es reducir efectos de falla.⁸

8

DYNAMOX “Principales diferencia entre mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo” Dynamox 15 dic 2020.

5.2 METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO

Las metodologías corresponden a la automatización de técnicas empleadas para los procedimientos y almacenamiento de datos utilizados durante las diferentes etapas de mantenimiento, una estrategia comúnmente utilizada es el monitoreo de parámetros en función al reconocimiento de equipos de manera cualitativa y cuantitativa, analizando los datos con respecto al tiempo para la generación de rutinas, requerimientos y actividades que permitan la mejora de indicadores como tasas de fallo, modos de fallo, tiempo entre fallas, entre otros. Las metodologías de mantenimiento vienen estrictamente relacionadas con la gestión de calidad siendo de vital importancia para la gestión estratégica de las compañías a nivel industrial, a lo largo de los años se han venido adaptando diferentes metodologías a nivel internacional con el objetivo de generar confiabilidad y disponibilidad.

Compañías japonesas adaptaron la metodología TPM (Mantenimiento productivo total) como opción de mejora involucrando factores como la planificación, calidad en los procesos, administrativos y medio ambiente. En la década de los 40 la industria militar de estados unidos implementó una metodología llamada análisis de modo y efecto de fallas (FMEA); para identificar causas, efectos y ocurrencias, enfocándose en la prevención y eliminación de problemas dentro un equipo o proceso, esta metodología incide directamente en la planeación avanzada de calidad dentro de compañías automotrices e industriales. La organización internacional de estandarización (ISO), asignó una serie de normas y parámetros para la gestión de calidad y la implementación de procesos productivos, las metodologías mencionadas fueron estandarizadas bajo la norma ISO 9000 y ISO 9001.

En la actualidad existen herramientas que contribuyen a la creación y seguimiento de planes de acción para la implementación de metodologías de mantenimiento, una de ellas es la creación de diagramas de Pareto cuya función es mostrar de manera visual que el 20% de las variables pueden causar un 80% de los efectos o viceversa, el objetivo de esta herramienta permite enfocar rutinas y gestión estratégica a los porcentajes más críticos. Japón ha venido implementando una herramienta de acuerdo a su filosofía de trabajo el cual consiste en realizar un seguimiento a los procesos productivos y metodológicos siguiendo 5 parámetros importantes que son; clasificación, orden, limpieza, estandarización y sostenimiento; esta herramienta es llamada Metodología de las 5S, cuya función principal radica en tener en cuenta todos los aspectos comprendidos alrededor de la compañía generando disminución de costos frente a la pérdida de insumos, calidad y claridad en las tareas realizadas, así como también una alta capacidad de respuesta positiva al proceso que se realice.

5.3 DESIGNACION DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

Los costos de mantenimiento dentro de una organización o compañía radican principalmente en la ejecución de mejora de ítems como la gestión de la eficiencia administrativa y los procesos de calidad de la misma, el análisis de resultados económicos permite planificar estrategias para alcanzar objetivos a largo y corto plazo. Uno de los propósitos más importantes de la designación de costos es el cuidado de las condiciones de los equipos verificando periódicamente el estado para su manutención eliminando las pérdidas de calidad.

Según los niveles de actividad el presupuesto de las compañías varía en costos fijos y variables; los costos fijos son aquellos presupuestos designados por las compañías para solventar necesidades de producción, aspectos como impuestos, servicios públicos y salarios se ven involucrados en esta actividad económica. Mientras que los costos variables varían de manera eventual a lo largo de los procedimientos de mantenimiento para este caso efectuando presupuestos para horas extra, insumos comprados y mano de obra que se requiera entre otros.

Siguiendo factores claves para los procesos internos de mejora y calidad en costos, se pueden catalogar 4 categorías para el alcance de procedimientos de mejora a los procesos de mantenimiento que vienen dados por:

- Prevención
- Evaluación
- Fallas internas
- Fallas externas

Generalmente estas etapas ayudan a complementar las inspecciones de presupuestos generados por la compañía teniendo en cuenta los costos fijos y variables de manera cuantitativa para hacer seguimiento a los costos visibles asociados con la gestión de calidad.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

Se presentan 4 análisis que corresponden al desarrollo de la metodología aplicada FMEA, cuya organización documental se muestra en la Figura 1, posteriormente se desarrolló bajo 4 etapas que fueron:

Etapas 1: Análisis estructural, se documentan los subsistemas y componentes existentes dentro del ensamble del sistema hidráulico. Teniendo en cuenta las grúas a las cuales se les aplicará la metodología.

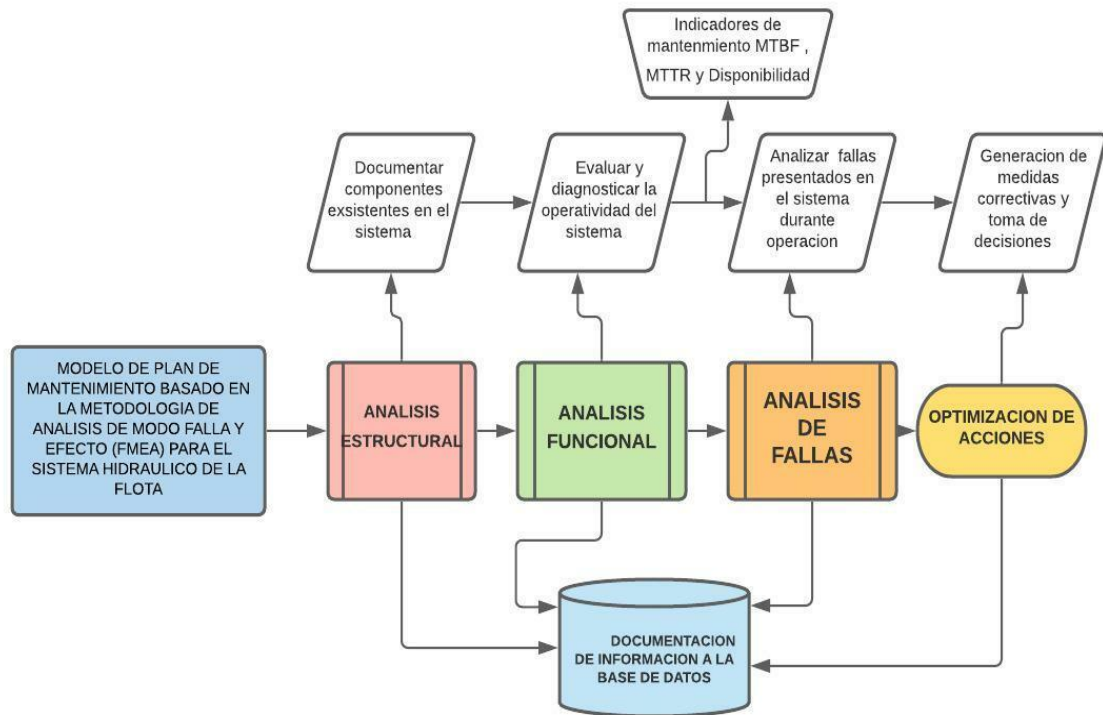
Etapas 2: Análisis funcional, evaluar y diagnosticar el funcionamiento de los componentes del sistema hidráulico, recopilación de requerimientos de funcionamiento del sistema según planificación de parámetros operativos mediante fichas técnicas.

Etapas 3: Análisis de fallas, se recopila información de fallas presentadas durante la operación diaria y el diagnóstico realizado. A partir de esto se procede a generar una clasificación de riesgos, a raíz de modos y causas de fallas teniendo en cuenta efectos, ocurrencias y severidades, (Metodología FMEA).

Etapas 4: Optimización de acciones, basados en la disponibilidad total de la flota se considera importante implementar acciones de mantenimiento preventivo por medio de formatos de programación y verificaciones de funcionamiento del sistema hidráulico; con base al estudio realizado de las fallas producidas, se genera una metodología de 5S para ejecutar las acciones recomendadas de una manera organizada; para que aumente eventualmente la disponibilidad de la flota con la implementación de esta etapa.

En la figura 1, se observa un mapa conceptual documentando los análisis y las etapas correspondientes a la implementación de la metodología FMEA.

Figura. 1 Etapas de la metodología.



Fuente. Autor

6.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Partiendo del funcionamiento del sistema hidráulico donde la potencia mecánica, para este caso el toma fuerza, es el encargado de suministrar trabajo a la bomba hidráulica para convertirse en potencia hidráulica, esta potencia de salida se suministra al sistema por medio de válvulas direccionales que permiten dirigir y controlar altas presiones para el respectivo funcionamiento de los cilindros hidráulicos, el sistema cuenta igualmente con tanque que suministra y recibe fluido hidráulico a las líneas de paso y retorno que van conectados a los componentes.⁹

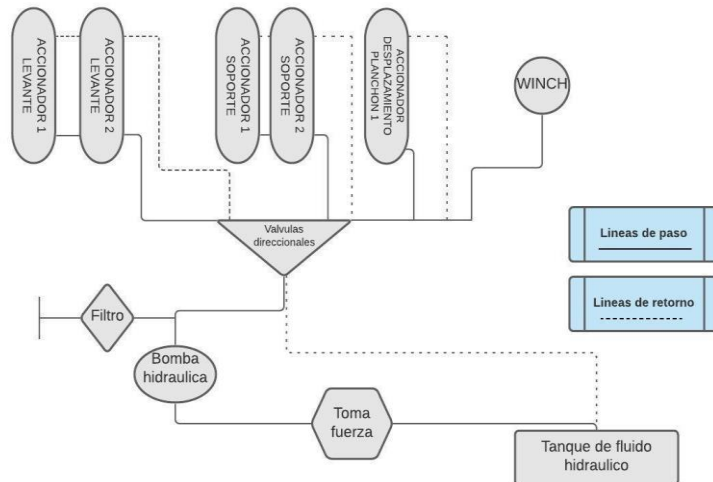
⁹ MUNCIE POWER PRODUCTS, "Index of /cms/files/Products/Literature/Documents/Training."

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a documentar y evaluar los sistemas, subsistemas y componentes existentes dentro del ensamble del sistema hidráulico de las grúas NPR y NKR.

A continuación, se puede observar la representación esquemática del sistema hidráulico instalado en las grúas a las cuales se les aplicó la metodología FMEA. (Ver figuras 2 y 3).

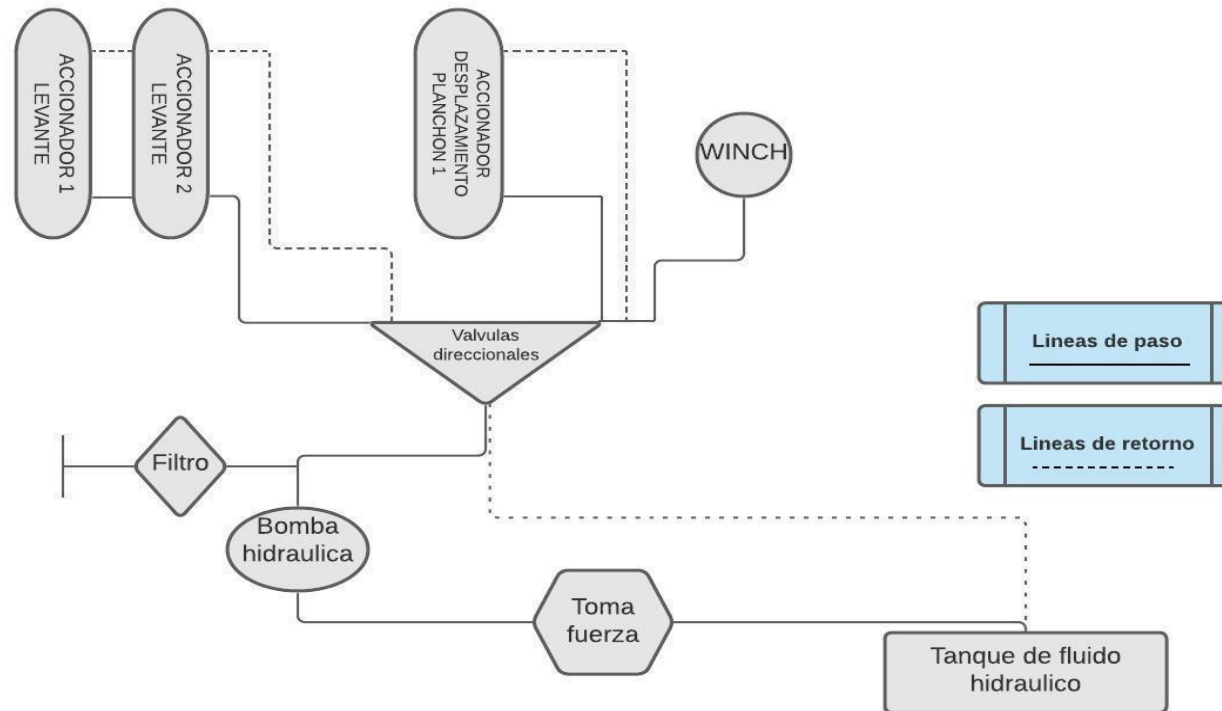
En la TABLA 1 se observa la descripción detallada del sistema de acuerdo a la instalación por tipo de grúa; para este caso las instalaciones del sistema en las grúas NPR con respecto a las grúas NKR.

Figura 2. Representación esquemática del sistema hidráulico instalado en la grúa NPR.



Fuente. Autor

Figura 3. Representación esquemática del sistema hidráulico instalado en la grúa NKR.



Fuente. Autor

En las figuras 2 y 3 se observa la representación esquemática del sistema hidráulico instalado en las grúas NPR Y NKR, permitiendo identificar el orden y los componentes que lo componen, en base a esta representación esquemática se identifica que existen mayor cantidad de componentes del sistema hidráulico en las grúas NPR.

Tabla 1. Comparación de instalación y componentes del sistema hidráulico con respecto al tipo de grúa.

SISTEMA HIDRAULICO DESCRIPCION GENERAL DE COMPONENTES		G- NPR02-HI
Tipo de grua	NPR	
Dimensiones exteriores		
Largo	6 metros	
Ancho	2,55 Metros	
Alto frontal	1,20 Metros	
Capacidad de carga	6 - 7Toneladas	
EQUIPO HIDRAULICO		
WINCH	Capacidad de 16.000 libras 35 Metros de cable 3/8 yute y gancho	
	Velocidad de 30 seg,	
BOMBA HIDRAULICA Y TOMA FUERZA	Bomba hidraulica de acople directo al toma fuerza	
CILINDROS HIDRAULICOS	2 Cilindros hidraulicos instalados de manera paralela para el levante de plataforma, 3 1/2 pulgadas de diametro y 600 mm de longitud, para el levantamiento de la plataforma a 20°	
	2 Cilindros hidraulicos de anclaje, para asistencia y soporte de planchon de 3 Pulgadas y 300 mm de longitud	
	1 cilindro hidraulico para desplazamiento longitudinal de la plataforma hacia adelante y atrás 5 1/2 (5,5) pulgadas de diametro y longitud de 620 mm de desplazamiento	
MANGUERAS DE ALTA Y BAJA PRESION	Mangueras de alta y baja presion compuestas de malla de acero para 4.000 libras de presion	
TANQUE DE ACEITE HIDRAULICO	Tanque de aluminio, de forma rectangular con tapa Filtro	
MANDOS DE MANIOBRA	Valvulas de direccionamiento hidraulico de 4 vias, Que operan de la siguiente manera : Palanca No.1 para winche hidraulico, Palanca No.2 para 2 cilindros de levante, Palanca No.3 para cilindro de desplazamiento, Palanca No.4 para accionamiento de cilindros de anclaje de asistencia	

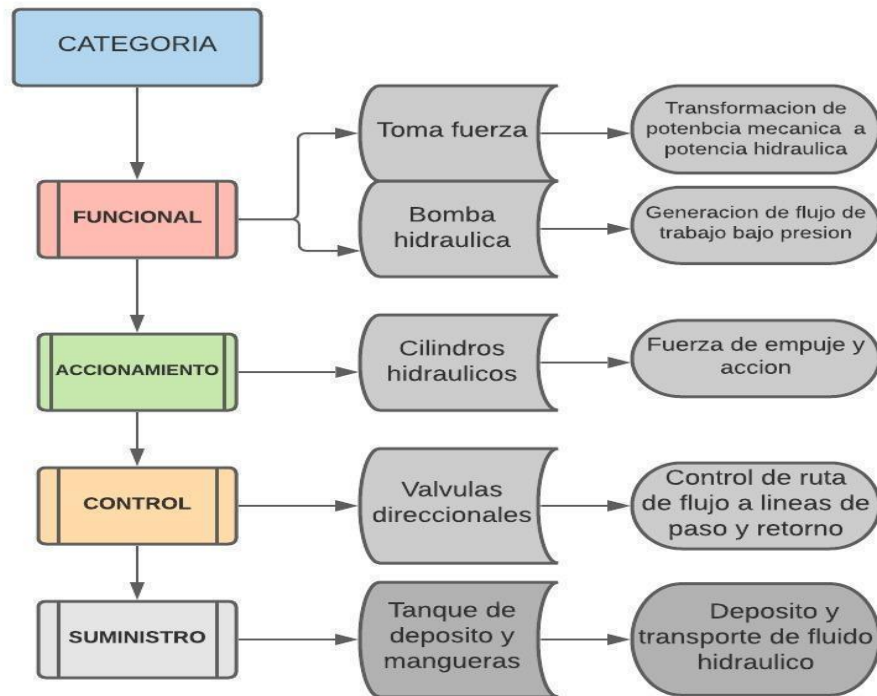
SISTEMA HIDRAULICO DESCRIPCION GENERAL DE COMPONENTES		G-NKR-HI
Tipo de grua		NKR
Dimensiones exteriores		
Largo	5 metros	
Ancho	2,20 metros	
Alto frontal	1,20 Metros	
Capacidad de carga	5 TONELADAS	
EQUIPO HIDRAULICO		
WINCH	Capacidad de 12.000 libras, Con 30 Metros de cable 3/8 alma de yute y gancho.	
	Velocidad de 22 a 25 seg., Teniendo en cuenta las dimensiones del planchon	
BOMBA HIDRAULICA Y TOMA FUERZA	Bomba hidraulica de acople directo al toma fuerza	
CILINDROS HIDRAULICOS	2 Cilindros hidraulicos instalados de manera paralela para el levante de plataforma, 3 pulgadas de diametro y 600 mm de longitud. Para levantamiento de plataforma 18°	
MANGUERAS DE ALTA Y BAJA PRESION	1 cilindro hidraulico para desplazamiento de la plataforma hacia adelante y atrás 5 1/2 (5,5) pulgadas de diametro y longitud de 600 mm de desplazamiento	
	Mangueras de alta y baja presion compuestas de malla de acero para 4.000 libras de presion	
TANQUE DE ACBTE HIDRAULICO	Tanque de aluminio, de forma rectangular con tapa Filtro	
MANDOS DE MANIOBRA	Valvulas de direccionamiento de 3 vias, operando de la siguiente manera: Palanca No1 : accionamiento de winch hidraulico, Palanca No 2.: accionamiento de los cilindros de levante, Palanca No. 3 para accionamiento de cilindro de desplazamiento	

Fuente. Autor

6.1.2 Análisis funcional.

Durante las estepas de diseño del sistema hidráulico, se presentan por el fabricante modelos y estándares de operación para que el sistema funcione correctamente, en la representación esquemática mostrada en la Figura 4, se propuso la implementación de categorías por concepto de funcionalidad de cada componente, para llevar un control detallado de su importancia en el sistema hidráulico, con el fin de organizar las fallas presentadas en el diagnóstico y en la implementación del análisis FMEA.

Figura 4. Representación esquemática de los componentes del sistema hidráulico instalado por categorías de funcionalidad.



Fuente. Autor

6.1.3 Diagnóstico y evaluación de los componentes

Durante esta etapa se indagó acerca del funcionamiento del sistema y componentes instalados en las grúas, teniendo en cuenta que la alta operatividad de la empresa no le permite al área de mantenimiento diagnosticar la totalidad de las grúas el mismo día, se manejan turnos rotativos para la recepción de 3 grúas por semana, en este orden de ideas el diagnóstico se realizó en el taller del grupo empresarial los días sábados.

En la tabla 2 y 3, se observa el listado de las grúas NPR y NKR, a las cuales se les realizó el diagnóstico, registrando las fallas encontradas por cada grúa. Es importante destacar que las grúas NPR tienen una capacidad máxima de carga de 6 a 7 toneladas con respecto a las grúas NKR cuya capacidad de carga corresponde a 5 toneladas; registrando cambios en las instalaciones y componentes del sistema hidráulico.

Tabla 2. Listado flota de grúas.

LISTADO DE GRUAS								
TIPO DE VEHICULO	No. Grúa	MARCA	LINEA	DIMENSIONES DE PLANCHON	KILOMETRAJE ACTUAL	PLACA	CAPACIDAD DE CARGA	CODIGO
Grua de planchon	1	Chevrolet	NPR	LARGO: 6 Metros ANCHO: 2.55 metros	171.075	UFY 482	6 Toneladas	G-NPR01
Grua de planchon	2	Chevrolet	NPR	LARGO: 6 Metros ANCHO: 2.50 metros	305.032	TDK 163	6 Toneladas	G-NPR02
Grua de planchon	18	Chevrolet	NPR	LARGO: 6 Metros ANCHO: 2.50 metros	237.577	TLN 167	6 Toneladas	G-NPR18
Grua de planchon	4	Chevrolet	NPR	LARGO: 6 Metros ANCHO: 2.50 metros	183.390	WEQ 131	6 Toneladas	G-NPR04
Grua de planchon	9	Chevrolet	NPR	LARGO: 6 Metros ANCHO: 2.55 metros	198.767	WEQ 133	6 Toneladas	G-NPR09
Grua de planchon	14	Chevrolet	NKR	LARGO: 5 Metros ANCHO: 2.20 Metros	151.831	WGY 343	5 Toneladas	G-NKR14
Grua de planchon	16	Chevrolet	NKR	LARGO: 5 Metros ANCHO: 2.20 Metros	192.739	WGY 345	5 Toneladas	G-NKR16
Grua de planchon	5	Chevrolet	NKR	LARGO: 5 Metros ANCHO: 2.20 Metros	260.029	WCT 221	5 Toneladas	G-NKR05
Grua de planchon	7	Chevrolet	NKR	LARGO: 5 Metros ANCHO: 2.20 Metros	177.245	WCT 229	5 Toneladas	G-NKR07
Grua de planchon	10	Chevrolet	NKR	LARGO: 5 Metros ANCHO: 2.20 Metros	223.171	WEP 743	5 Toneladas	G-NKR10
Grua de planchon	11	Chevrolet	NKR	LARGO: 5 Metros ANCHO: 2.20 Metros	182.330	WEP 136	5 Toneladas	G-NKR11

Fuente. Autor

Tabla 3. Descripción de fallas encontradas en el diagnóstico.

CODIGO	PLACA	No. de falla	DESCRIPCION DE LA FALLA
G-NPR01	UFY 482	1	Fugas en las mangueras conectadas a los cilindros
	UFY 482 (2)	2	Cilindros hidraulicos presentan golpeteo al contraerse
G-NPR02	TKD 163	1	Presiones intermitentes en el sistema
G-NPR18	TLN 167	1	Reduccion de presion en el sistema
G-NPR09	WEQ 133	1	velicidad anormal (Baja) de los cilindros en la operación
G-NKR14	WGY 343	1	Reduccion de presion en el sistema
G-NKR16	WGY 345	1	Fugas en las mangueras provenientes de las valculas direccionales
G-NPR04	WEQ 131	1	Vibraciones de los cilindros durante la operación
	WEQ 131 (2)	2	Movimiento desigual en los cilindros de levante
G-NPR05	WCT221	0	N/A
G-NPR07	WCT 229	0	N/A
G-NKR10	WEP 743	1	Fuga de aceite en el tanque de fluido
G-NKR11	WEP 136	1	Roptura de manguera de alta presion
	WEP 136 (2)	2	Fugas de aceite en la bomba hidraulica

Fuente: Autor.

Bajo este diagnóstico realizado se logran identificar fallas comunes encontrando que gran mayoría de la flota posee fugas en el sistema, evidencias de instalaciones incorrectas de mangueras, tal como se puede observar en las Figuras 5. Y 6.

Figura. 5 Diagnostico de las grúas NPR.



Fuente. Autor

Figura 6. Diagnostico de las grúas NKR.



Fuente. Auto

6.1.4 Indicadores de gestión de mantenimiento de la flota

Teniendo en cuenta que la disponibilidad de la flota está basada en reducir fallas y paros de operación, el aumento de este índice se vería reflejado implementando acciones dirigidas al sistema hidráulico puesto que este sistema es indispensable en la operación diaria de las grúas, a continuación se muestra la información suministrada por el grupo empresarial de indicadores de disponibilidad de la flota en un periodo de 4 meses comprendidos desde enero hasta abril del presente año, señalando indicadores de mantenimiento como el MTBF Y MTTR de la totalidad de la flota en el transcurso del tiempo ya mencionado, considerando que la operatividad diaria es de 10 horas diarias y 260 horas mensuales. (Ver anexos).

Tabla 4. Análisis MTTF, MTTR y disponibilidad actual de la flota.

ANALISIS DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO			
Mes	MTBF	MTTR	Disponibilidad
ENERO	33	6	84%
FEBRERO	24	3	88%
MARZO	34	4	89%
ABRIL	37	5	88%

Fuente. Autor

Observando los porcentajes de disponibilidad de la flota en los 4 primeros meses del año en curso, se propuso una proyección de actividades de mantenimiento dirigidas al sistema hidráulico de la flota, para su implantación en el segundo periodo del año 2021 con el fin de prevenir los posibles daños obtenidos en la metodología FMEA y aumentar su disponibilidad.

6.2. ANÁLISIS DE FALLAS

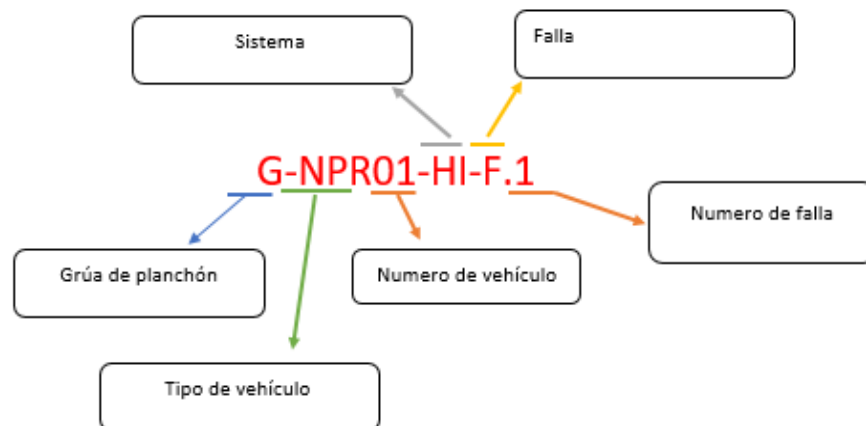
Resaltando que la metodología FMEA se aplicará al sistema hidráulico es necesario recopilar información de operatividad del sistema; por lo tanto, se extrae información de fallas presentadas durante la operación en los meses de enero hasta abril, las cuales se encuentran registradas debidamente en la base de datos suministrada.

La base de datos nos brinda un conteo de fallas distribuidas en 4 referencias para recaudar información derivadas con respecto a las fallas presentadas en la flota, las cuales se dividen de la siguiente manera : **fallas mecánicas**, que corresponden a piezas componentes mecánicos; **fallas eléctricas**, corresponden a componentes eléctricos; **fallas carrocería chasis**, corresponden a elementos estructurales de la grúa; **fallas hidráulicas**, que corresponden al circuito hidráulico instalado , con base a esta última referencia se hace conteo exacto de las fallas presentadas en el sistema hidráulico unificando en toda la flota. (Ver anexo A.).

Para lograr un correcto uso de datos con respecto a la metodología trabajada fue necesario realizar una codificación, la cual identificara fácilmente la falla y el tipo de grúa señalando el sistema hidráulico; esto con el fin de identificar las fallas de cada una de las grúas individualmente sin que haya ningún tipo de cruce de datos en el área de mantenimiento.

En la figura 7, se observa la descripción de la codificación empleada para facilitar el manejo de información en la implementación de la metodología FMEA, donde se destaca el tipo de grúa, número de identificación de la grúa, sistema o componente y designación de falla.

Figura. 7 Codificación empleada para metodología FMEA a la flota.



Fuente. Autor

6.2.1 Clasificación de riesgos

Cabe resaltar que el sistema hidráulico instalado en las grúas NPR y NKR con el que actualmente cuenta el grupo empresarial, consta de los mismos componentes pero con variaciones en la capacidad operativa. Se realiza un estudio general buscando causas y efectos de fallas con el que normalmente un sistema de estas especificaciones fallaría con respecto al tiempo, clasificando las probabilidades de ocurrencia en diferentes rangos de acuerdo a la falla presentada, generando calificaciones del 1 al 10 y teniendo en cuenta la probabilidad de fallo, dando como puntuación máxima una probabilidad de ocurrencia excesivamente alta, tal como se muestra en la TABLA 5.

Tabla 5. Rangos de frecuencia de fallo.

ITEM	PROBABILIDAD	RANGO DE OCURRENCIA DE LA FALLA	CALIFICACION DE LA FALLA
1.	Nula	Ninguna en tres años	1
2.	Demasiado baja	1 vez cada 3 años	2
3.	Poco comun	1 vez cada 2 años	3
4.	Baja	1 vez Al año	4
5.	De vez en cuando	Una vez cada 6 meses	5
6.	Moderada	Una vez cada 3 meses	6
7.	Comun	Una vez cada semana	7
8.	Alta	Varias veces a la semana	8
9.	Muy alta	Repetitiva diaria	9
10.	Exsesivamente alta	Durante cada opercion del sistema	10

Fuente. Autor.

Posteriormente analizando con detalle las probabilidades de fallo; se valora la gravedad de la falla; bajo los siguientes criterios mostrados en la tabla 6. Teniendo en cuenta que la estimación de rango propuesto para este análisis viene dada por los valores del 1 al 10, basados en el criterio de severidad y afectación asignada por la falla presentada.

Tabla 6. Rangos por criterio de afectación o gravedad de fallo.

ITEM	RANGO	CRITERIO
1.	1-2.	No Afecta la funcionalidad del sistema
2.	3-4.	Se muestran cambios leves en el funcionamiento del sistema durante la operación
3.	5-6.	Tiempo tardío en el funcionamiento del sistema
4.	7-8.	Afecta la funcionalidad del sistema
5.	9-10.	Afecta funcionamiento y se deriva a componentes alternos del sistema

Fuente. Autor

Para facilitar la identificación de los rangos presentados en la tabla 6, que corresponden al criterio de gravedad de falla, se aconseja manejar una matriz de riesgos, la cual muestra el comportamiento de las fallas frente a los factores de ocurrencia y gravedad. En la figura 8 se detallan las áreas determinadas para la matriz en mención y los ítems de reconocimiento de la matriz.

Una vez que están definidas las probabilidades y los criterios, se evalúan las capacidades de detección de modos de fallo presentadas, esto para conocer si las fallas pueden pasar por desapercibidas en el momento de la operación del sistema y conllevar a daños más graves que afecten la funcionalidad. (Ver tabla 7.)

Tabla 7. Rangos por criterio de detección.

ITEM	NIVEL DE CALIFICACION	CRITERIO
1.	9-10.	Es muy alta la probabilidad de detectar a simple vista el fallo
2.	7-8.	Es moderada la posibilidad de detección a simple vista
3.	5-6.	El modo de fallo se presenta una vez a finalizado la operación del sistema
4.	3-4.	La posibilidad de detección del fallo es muy remota
5.	1-2.	No se puede detectar el modo de fallo

Fuente. Autor

Figura. 8 Factores de reconocimiento matriz de riesgos.

OCURRENCIA	1										
	0,9								A		
	0,8										
	0,7										
	0,6						B				
	0,5										
	0,4										
	0,3							C			
	0,2		D								
	0,1										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GRAVEDAD											
FACTORES DE RECONOCIMIENTO											
A	Fallas graves que ponen en riesgo el funcionamiento del sistema.										
B	Fallas tienen medianas probabilidades y altas afectaciones que conllevan a afectar el sistema considerablemente.										
C	Presenta un comportamiento basado en medianas y bajas probabilidades pero con algún tipo de afectación										
D	Zona en la cual no se identifican amenazas en el comportamiento del sistema										

Fuente. Autor

Se procede a realizar una tabla de resultados de la categorización de las fallas presentadas y documentadas en el diagnóstico en el sistema hidráulico de la totalidad de la flota; permitiéndonos obtener las calificaciones, criterios de gravedad de fallo y la categoría de funcionalidad. (Ver tabla 8.)

Tabla 8. Categorización de las fallas presentadas al sistema hidráulico de la flota.

CODIGO	PLACA	No. de falla	DESCRIPCION DE LA FALLA	CALIFICACION DE LA OCURRENCIA	CRITERIO DE GRAVEDAD DE FALLO	CATEGORIA DE FUNCIONALIDAD
G-NPR01	UFY 482	1	Fugas en las mangueras conectadas a los cilindros	3	8	SUMINISTRO
	UFY 482 (2)	2	Cilindros hidráulicos presentan golpeteo al contraerse	2	7	ACCIONAMIENTO
G-NPR02	TKD 163	1	Presiones intermitentes en el sistema	4	8	FUNCIONAL
G-NPR18	TJN 167	1	Reduccion de presion en el sistema	5	6	FUNCIONAL
G-NPR09	WEQ 133	1	velocidad anormal (Baja) de los cilindros en la operación	4	6	ACCIONAMIENTO
G-NKR14	WGY 343	1	Reduccion de presion en el sistema	5	6	FUNCIONAL
G-NKR16	WGY 345	1	Fugas en las mangueras provenientes de las valculas direccionales	3	10	ACCIONAMIENTO
G-NPR04	WEQ 131	1	Vibraciones de los cilindros durante la operación	2	8	ACCIONAMIENTO
	WEQ 131 (2)	2	Movimiento desigual en los cilindros de levante	3	10	ACCIONAMIENTO
G-NPR05	WCT 221	0	N/A	0	0	N/A
G-NPR07	WCT 229	0	N/A	0	0	N/A
G-NKR10	WEP 743	1	Fuga de aceite en el tanque de fluido	6	2	SUMINISTRO
G-NKR11	WEP 136	1	Ruptura de manguera de alta presion	2	10	SUMINISTRO
	WEP 136 (2)	2	Fugas de aceite en la bomba hidraulica	3	8	FUNCIONAL

Fuente. Autor

Realizando la matriz aconsejada para determinar la calificación al criterio de gravedad, se tomaron como ejemplos las grúas G-NPR01 Y G-NPR02.

En la Figura 9, se muestra que la primera falla del sistema hidráulico reconocida a la grúa NPR01 es común y representa una alta afectación a la funcionalidad del sistema dándole una calificación de gravedad de fallo de 8, con respecto a la segunda falla presentada se observa que es poco común y afecta la funcionalidad del sistema por ende se le da una calificación de 7. (Ver figura 9.)

Figura. 9 Reconocimiento de las fallas presentadas en la grúa NPR01 por medio de la matriz de riesgos.

FALLA PRESENTADA			Presiones intermitentes en el sistema - Daño en las valvulas dir					PLACA GRUA	UFY 482	CODIGO	G-NPR01	
OCURRENCIA	EXCESIVAMENTE ALTA	10										
	MUY ALTA	9										
	ALTA	8										
	COMUN	7							G-NPR01-HI-F.12			
	MODERADA	6										
	DE VEZ EN CUANDO	5										
	POCO COMUN	4						G-NPR01-HI-F.13				
	BAJA	3										
	DEMASIADO BAJA	2										
NULA	1											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			NO AFECTA LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA		SE MUESTRAN CAMBIOS LEVES EN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DURANTE LA OPERACIÓN		TIEMPO TARDIO EN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA		AFECTA LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA		AFECTA FUNCIONAMIENTO Y FALLAS SE DERIVAN A OTROS COMPONENTES	
			GRAVEDAD									

Fuente. Autor

En la Figura 10, se muestra que la falla del sistema hidráulico reconocido a la grúa NPR02, se presenta de vez en cuando y tiene una alta afectación al funcionamiento del sistema, dándole una calificación de 8. (Ver Figura 10)

Figura. 10 Reconocimiento de las fallas presentadas en la grúa NPR02, por medio de la matriz de riesgos.

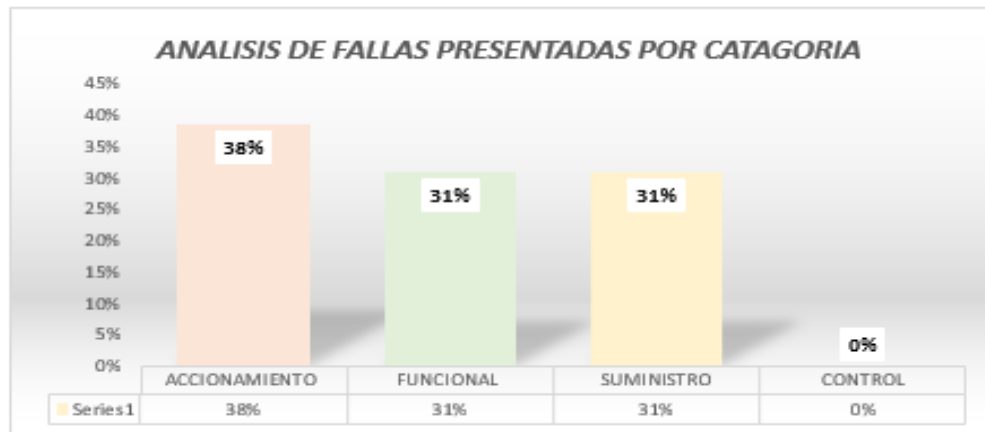
		Presiones intermitentes en el sistema - Daño en las valvulas dir				PLACA GRUA	TKD 163	CODIGO	G.NPR02		
EXCESIVAMENTE ALTA	10										
MUY ALTA	9										
ALTA	8										
COMUN	7										
MODERADA	6										
DE VEZ EN CUANDO	5							G-NPR02-HI-F.14			
POCO COMUN	4										
BAJA	3										
DEMASIADO BAJA	2										
NULA	1										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		NO AFECTA LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA		SE MUESTRAN CAMBIOS LEVES EN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DURANTE LA OPERACIÓN		TIEMPO TARDIO EN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA		AFECTA LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA		AFECTA FUNCIONAMIENTO Y FALLAS SE DERIVAN A OTROS COMPONENTES	
		GRAVEDAD									

Fuente. Autor

Con base a estos datos obtenidos en la tabla 6. Es prudente categorizar las fallas presentadas de acuerdo a su categoría de funcionalidad, esto para que le garantice al área de mantenimiento la fácil identificación de los componentes a la hora de llevar a cabo un mantenimiento. En la siguiente figura se puede observar que el 38% de las fallas presentadas corresponden a la categoría accionamiento permitiendo identificar que este tipo de fallas corresponden muy probablemente a componentes que brindan al sistema; fuerza, empuje o acción tal como se muestra en la Figura 4.

Figura. 11 Análisis de las fallas presentadas por categoría de funcionalidad.

CATEGORIA DE FUNCIONALIDAD	TOTAL DE FALLAS	% PORCENTAJE
ACCIONAMIENTO	5	38%
FUNCIONAL	4	31%
SUMINISTRO	4	31%
CONTROL	0	0%



Fuente. Autor

6.2.2 Análisis de riesgos

A continuación, se muestra el desarrollo de análisis de la metodología FMEA, creada para catalogar los posibles modos de fallos de acuerdo al criterio RPN, identificando la clasificación del riesgo para facilitar la interpretación en la que se encuentra la falla; por ende, aplicar una planificación de acciones de mantenimiento.

Teniendo en cuenta el funcionamiento del sistema, se obtiene un análisis de distintos modos de falla en los componentes, hallando el valor RPN Inicial, que permite jerarquizar las prioridades con las cuales el encargado de mantenimiento debe tener en cuenta a la hora de tomar una decisión y atacar el problema con respecto al grado de ocurrencia y severidad, este valor RPN inicial se obtiene multiplicando calificaciones presentadas por los criterios de severidad, ocurrencia y detección planificando una acción de verificación a los componentes , tal como se muestra en la tabla 10.

El valor RPN se obtiene multiplicando las calificaciones presentadas por los criterios de severidad, ocurrencia y detección.

$$RPN = SEVF \times OCUF \times DETF$$

Con la recopilación de información para la metodología FMEA aplicada, la base de datos nos facilita la obtención del valor RPN automáticamente por las calificaciones asignadas de la severidad, ocurrencia y detección. Los rangos de las clasificaciones según el valor RPN vienen dados de la siguiente manera. (Ver Tabla 9)

Tabla 9. Rango de clasificación según valor RPN.

RANGO	CLASIFICACION
100 -- > 200	ALTO RIESGO
50 -- 100	MEDIO RIESGO
1 -- 50	BAJO RIESGO
0	RIESGO NULO

Fuente. Autor

Tabla 10. Clasificación de fallos, valor RPN inicial.

ITEM	MODO DE FALLO	CODIGO DE FALLO	EFFECTO POTENCIAL DE FALLO	OCURRENCIA DEL FALLO (OCUF)
1	Movimientos desiguales de los cilindros hidráulicos	F.1	Sobrepresión en el sistema.	4
2	Movimientos intermitentes en el sistema	F.2	Daño en componentes como mangueras y cilindros.	4
4	Altas temperaturas en el aceite de fluido hidráulico	F.4	Condición de aceite no apropiado. Llevando a daños en la bomba	3
5	Reducción de presión en el sistema	F.5	Mal funcionamiento de cilindros y bomba hidráulica	6
6	Ruidos anormales durante la operación	F.6	Desgaste de componentes	7
7	Alimentación de presión reducida	F.7	La bomba puede estar presentando anomalías	4
8	Vibraciones de los cilindros durante la operación	F.8	Pandeos de cilindro	5
9	Altas temperaturas en el sistema	F.9	Pérdida total de potencia hidráulica	6
10	Cavitación en la bomba	F.10	Daños extremos en la bomba hidráulica	3
12	Presencia de fugas de fluido	F.12	Contaminación del sistema, bajas presiones	7
13	Fugas en las mangueras conectadas a los cilindros	F.13	Reducción de velocidad en el cilindro	7

Fuente. Autor

SEVERIDAD DEL FALLO (SEVF)	DETECCION DEL FALLO (DETF)	PRIRIDAD DE RIESGO (RPN)	CLASIFICACION	PLANIFICACION DE LA ACCION
8	8	256	Alto riesgo	Verificar purga del cilindro - verificar presiones de la operación - verificar si existen pandeos en los cilindros - verificar niveles de aceite- verificar ajuste y estado de las empaquetaduras
9	8	288	Alto riesgo	Evaluación precisión del sistema - Verificar grados de curvatura de mangueras - Verificar estado de los filtros
6	4	72	Medio riesgo	Verificar ajustes en las bombas hidráulicas específicamente en la línea de deranje - Verificar estado del aceite con respecto a las horas de su último cambio - verificar que la temperatura no sobre pase los 140 ° F
8	4	192	Medio riesgo	Verificar funcionamiento de la bomba hidráulica - verificar obstrucción en mangueras
4	5	140	Alto riesgo	Verificar el estado de los filtros- ajustes en los componentes
6	4	96	Alto riesgo	Verificar que la bomba hidráulica no presente fugas
5	8	200	Alto riesgo	Verifique que las conexiones no estén rígidas y desiguales- verifique que la válvula no tenga saltos ni vibraciones
5	3	90	Medio riesgo	Verificar viscosidad de aceite hidráulico utilizado
8	6	144	Alto riesgo	Verifique que no haya entradas de aire al sistema - Verifique estado del aceite
9	7	441	Alto riesgo	Verifique que las conexiones estén con los ajustes necesarios
8	8	448	Alto riesgo	Verifique estado de las mangueras

Tabla 10. (Continuación)

13	Cilindros hidraulicos presentan golpeteo al contraerse y ruidos al contraerse	F.13	Desgaste en anclajes del cilindro	5
14	Presiones intermitentes en el sistema	F.14	Daño en las valulas direccionamiento	5
15	velocidad anormal (Baja) de los cilindros en la operación	F.15	Consumo mas elevado de aceite hidraulico , altas temperaturas	4
16	Reduccion de presion en el sistema	F.16	fallo en las valvulas por acciones sin presion	4
17	Fugas en las mangueras provenientes de las valculas direccionales	F.17	Fallas en el control de direccionamiento al sistema	2
18	Sobre presion en el sistema	F.18	Daño en el vástago del cilindro	2
19	Fuga de aceite en el tanque de fluido	F.19	perdidas de aceite hidraulico	3
20	Roptura de manguera de alta presion	F.20	Contaminacion al sistema, por entrada de particulas a la manguera	1
21	Fugas de aceite en la bomba hidraulica	F.21	Reduccion de presion en el sistema	4
22	Bomba hidraulica sin bombeo de aciete	F.22	Daño en los cilindros hidraulico	4
23	Ruido en el funcionamiento de las valvulas direccionales	F.23	No operación del sistema	3
24	La bomba no suministra fluido al sistema	F.24	Averia de la bomba	2
25	Filtros obstruidos	F.25	Contaminacion de componentes , espsificamente a la bomba hidraulica	5
26	Espuma en el aceite	F.26	Puede existir cavitacion en el sistema	4

Tabla 10. (Continuación)

13	Cilindros hidráulicos presentan golpeteo al contraerse y ruidos al contraerse	F.13	Desgaste en anclajes del cilindro	5	6	5	150	Alto riesgo	Verificar el estado de las guías del cilindro, verificar lubricación, Verificar estado de los componentes del cilindro
14	Presiones intermitentes en el sistema	F.14	Daño en las válvulas direccionamiento	5	8	5	200	Alto riesgo	verificación de filtros, válvulas direccionales, verificación de temperatura de aceite
15	velocidad anormal (Baja) de los cilindros en la operación	F.15	Consumo mas elevado de aceite hidráulico, altas temperaturas	4	6	4	96	Medio riesgo	Verificar fugas en el exterior del cilindro, Verificar fugas de aceite, Verificar que no exista obstrucción en las válvulas direccionales- Verificar estado de toda la línea de aceite
16	Reducción de presión en el sistema	F.16	fallo en las válvulas por acciones sin presión	4	7	5	140	Alto riesgo	Verificar si existen fugas de aceite en la bomba hidráulica- Revisar componentes de los cilindros como juntas, sellos, anillos y verificar si están desastados
17	Fugas en las mangueras provenientes de las válvulas direccionales	F.17	Filtros en el control de direccionamiento al sistema	2	9	6	108	Alto riesgo	Verificar el estado de las mangueras y acoples pertenecientes a la válvula
18	Sobre presión en el sistema	F.18	Daño en el vástago del cilindro	2	7	3	42	Bajo riesgo	Verificar funcionamiento y estado de la bomba hidráulica
19	Fuga de aceite en el tanque de fluido	F.19	perdidas de aceite hidráulico	3	5	2	30	Bajo riesgo	Verifique que la estructura metálica del tanque no presente agujeros o corrosión
20	Ruptura de manguera de alta presión	F.20	Contaminación al sistema, por entrada de partículas a la manguera	1	10	9	90	Medio riesgo	Verificar longitudes y ángulos de instalación de la manguera
21	Fugas de aceite en la bomba hidráulica	F.21	Reducción de presión en el sistema	4	8	3	96	Medio riesgo	Verificar fugas y funcionamiento de bomba fuerza
22	Bomba hidráulica sin bombeo de aceite	F.22	Daño en los cilindros hidráulicos	4	10	6	240	Alto riesgo	Verificar que no exista aire en el sistema, verificar que no existan obstrucciones en las mangueras y demás elementos del sistema
23	Ruido en el funcionamiento de las válvulas direccionales	F.23	No operación del sistema	3	9	5	135	Alto riesgo	Verifique conexiones y estado estructural de las válvulas
24	La bomba no suministra fluido al sistema	F.24	Avería de la bomba	2	10	7	140	Alto riesgo	Verificar conexiones de salida de la bomba- Verifique el sentido en que esta
25	Filtros obstruidos	F.25	Contaminación de componentes, específicamente a la bomba hidráulica	5	7	4	140	Alto riesgo	Verificar que los filtros sean cambiados al número de horas que recomienda el fabricante del filtro
26	Espuma en el aceite	F.26	Puede existir cavitación en el sistema	4	5	4	80	Alto riesgo	Verifique los niveles de aceite-

Tabla 10. (Continuación)

Una vez hecho el diagnóstico recomendado por medio de revisiones a los componentes del sistema, se realiza una tabla generando los valores RPN finales con el fin de implementar controles de mantenimiento al sistema, teniendo en cuenta las acciones recomendadas para evitar estos fallos.

Para lograr un correcto análisis de modo de fallas teniendo en cuenta las disposiciones; se plantearon las siguientes preguntas y se ven reflejadas en cada ítem de la tabla 11.

- ¿Cuál es el funcionamiento del sistema?
- ¿De qué manera puede fallar cada componente?
- ¿Cuál es el impacto directo o indirecto cuando se presenta un fallo?
- ¿Qué tan grave es el fallo para la operación del sistema?
- ¿Qué causaría si el sistema falla?
- ¿Qué tan seguido ocurre la falla?
- ¿Cuáles son las acciones recomendadas para reducir los modos de falla potenciales?

Es importante destacar que la siguiente tabla, nos permite llevar un orden específico respecto a los componentes instalados teniendo en cuenta el nivel de importancia que se deriva de las categorías de funcionalidad mostradas en la figura 4, así como la descripción de cada componente para manejar un manejo de información más descriptivo facilitando al operario de mantenimiento identificar el componente más a fondo.

Tabla 11. Aplicación FMEA con acciones de mantenimiento.

Nivel de importancia	Piezas claves para el funcionamiento del sistema	Descripción de funcionamiento del componente	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	Gravedad	Causas
	¿Cuál es el funcionamiento o del subistemas		¿De qué maneras puede fallar cada componente?	¿Cuál es el impacto directo e indirecto cuando hay un fallo (requerimientos internos para operar correctamente)?	¿Qué tan grave es el efecto para el funcionamiento o de la operacion?	¿Cuáles serían las causas y motivos por el cual se presento la falla ?
F U N C I O N A L	BOMBA HIRAUICA	Genera la presion y el flujo de aceite hidraulico	F.	Perdidas de caudal , daño total de la bomba	ALTO RIESGO	Fugas en las salidas y contornos de la bomba
			F.10	Cavitacion	ALTO RIESGO	Formacion de burbujas de aire dentro de la bomba
			F.24	No suministra fluido al hidraulico al sistema	ALTO RIESGO	No funcionamiento de la bomba , baja potencia derivada de el toma fuerza
			F.9	Perdida total de potencia hidraulica	Medio resgo	Contaminacion de la bomba hidraulica, contaminacion dentro de la misma
			F.16	Fallo en las valvulas por acciones sin presion	ALTO RIESGO	Mangueras obstruidas , perdidas de fluid
			F.21	Fugas de aceite en la bomba	Medio resgo	Fisuras , malos ajustes en los acoples y juntas
			F.22	Bomba hidraulica sin bombeo de aceite		No puede haber aceite en el tanque , mangueras de paso y retrno invertidas

Fuente. Autor

RPN INICIAL	Acciones Recomendadas	Grúa a la cual se le aplica la Acción recomendada	OCCURRENCIA DEL FALLO (OCUF)	SEVERIDAD DEL FALLO (SEVF)	DETECCION DEL FALLO (DETF)	RPN FINAL
	¿Cuáles son las acciones para reducir los modos de falla potenciales?					
150	Cambie los sellos de la bomba, y efectúe un ajuste apropiado a los acoples de la misma	NA	0	0	0	0
144	Evite que entre aire al sistema manteniendo la estanqueidad especialmente en las líneas de paso y retorno. Verifique que el toma fuerza presente buena lubricación	NA	0	0	0	0
140		NA	0	0	0	0
90	Desinstale mangueras y verifique que no estén obstruidas por suciedades y contaminantes	NA	0	0	0	0
140	Baje mangueras y verifique obstrucción de las mismas, si es necesario reemplácelas, no olvide tener en cuenta las fichas técnicas con las condiciones de operación del sistema	G-NPR18 G-NPR14	4	4	5	80
96	Cambie las juntas y sellos de la bomba, cambie carcasa de la bomba	G-NPR11	4	7	3	84
240	Baje mangueras y revise su funcionamiento según fabricante y capacidad de presión	NA	0	0	0	0

Tabla 11. (Continuación)

	TOMA FUERZA	Transfiere la potencia del motor a la bomba hidráulica	F.5	Mal funcionamiento de cilindros Y bomba hidráulica	Medio resgo	mal funcionamiento en la línea de suministro de energía mecánica como toma fuerza y/o transmisión
			F.7	La bomba puede estar presentando anomalías	ALTO RIESGO	contaminaciones en las líneas acopladas a la bomba hidráulica , cavitación en la misma
			F.14	Presiones intermitentes en el sistema	ALTO RIESGO	Fugas de aceite hidráulico , fallas en la bomba hidráulica, daños en las válvulas de direccionamiento
			F.2	Daño en componentes como mangueras y cilindros.	ALTO RIESGO	instalaciones incorrectas de las mangueras, acoples de cilindros mal calibrados y/o estructura anclaje de cilindros desgastada
			F.18	Daño en el vástago del cilindro - afectación directa a otros componentes el sistema	Bajo riesgo	Pandeo de en la estructura de cilindro a raíz de presiones intermitentes y desajustes en la estructura del cilindro

Tabla 11. (Continuación)

192	Verifique que el toma fuerza presente buena lubricación	NA	0	0	0	0
96	Evite que entre aire al sistema manteniendo la estanqueidad especialmente en las líneas de paso y retorno	NA	0	0	0	0
200	Compruebe que la presión llegue correctamente a las válvulas de direccionamiento mediante pruebas de levante	G-NPR02	5	7	5	175
288	Verifique los ángulos de posición de las mangueras y según fabricante o consulte (munciepower, sistemas hidráulicos)	NA	0	0	0	0
42	Es considerable cambiar el cilindro hidráulico	NA	0	0	0	0

Tabla 11. (Continuación)

A C C I O N A M I E N T O	ACCIONADORES O CILINDROS HIDRAULICOS	Transforma la presion de un liquido hidraulico en energia mecanica	F.1	Sobre presion en los componentes	ALTO RIESGO	Las bomba pudo ser sobredimensionada para el funcionamiento , enviando presiones mas altas al sistema
			F.8	Vibraciones de los cilindros durante la operación	ALTO RIESGO	Manugueras mal instaladas , malos ajustes en en el ensamble del sistema
			F.12	Fugas en las mangueras conectadas a los cilindros	ALTO RIESGO	Angulos de posisicoon de la maguera incorrectos , mal apriete de los conectores de las mangueras ,
			F.13	Desgaste en anclajes del cilindro	ALTO RIESGO	Desgaste , falta de lubricacion
			F.15	Consumo mas elevado de aceite hidraulico , altas temperaturas	Medio resgo	Perdidas de fluido en las mangueras y de mas componentes

Tabla 11. (Continuación)

256	Verifique los angulos de posicion de las mangueras y según fabricante o consulte (munciepower, sistemas hidraulicos)	G-NPR04	4	7	8	224
200	Purgue el aire de los cilindros al (relenti)	G-NPR04	5	4	8	160
448	Inspeccione estado de los acoples de las mangueras a cilindro , si hay fuga de aceite en el cilindro compruebe el estado los anillos del pisiton del cilindro , sellos del vástago	G-NPR01	7	6	7	294
150	Verifique que no halla fricción en los pasadores y lubriquelos	G-NPR01				0
96	Haga una limpieza exhaustiva del sistema detectando el citio exacto de la fuga	G-NPR09	5	4	4	80

Tabla 11. (Continuación)

C O N T R O L	VALVULAS DIRECCIONALES	Provee la ruta de flujo de la bomba a los cilindros y una otra de retorno de los cilindros al tanque de fluido hidraulico	F.17	Fallas en el control de direccionamiento al sistema	ALTO RIESGO	ajustes de caudal de presion de aceite incorrectos
			F.23	No operaci3n del sistema	ALTO RIESGO	Mangueras obstruidas , perdidas de fluido
D I S T R I B U C I O N	TANQUE DE DEPOSITO Y MANGUERAS	Almacena l fluido hidraulico del sistema - las mangueras cumplen con la funci3n de transportar este fluido	F.19	Afectaciones directas al fluido de trabajo	ALTO RIESGO	Probablemente el sistema este contaminado
			F.11	Contaminaci3n del sistema, bajas presiones	ALTO RIESGO	Malos ajustes en los acoples, contaminaci3n en el sistema de los componentes
			F.20	Contaminaci3n al sistema, por entrada de partculas a la manguera	Medio resgo	Mangueras desgastadas y/o dimensionamiento incorrecto de las mismas , angulos de posici3n incorrectas
H I D R A U L I C O	ACEITE HIDRAULICO	Suministra potencia , lubrica componentes , disipa calor	F.4	Condici3n de aceite no apropiado.Llevando a daos en la bomba	Medio resgo	Espumado de aceite , contaminaci3n de aceite
			F.25	Contaminaci3n de componentes ,	ALTO RIESGO	Lugares expuestos por fugas de aceite hidraulico
			F.26	Puede existir cavitaci3n en el sistema	ALTO RIESGO	sobredimensionamien to de las lneas de succi3n

Tabla 11. (Continuaci3n)

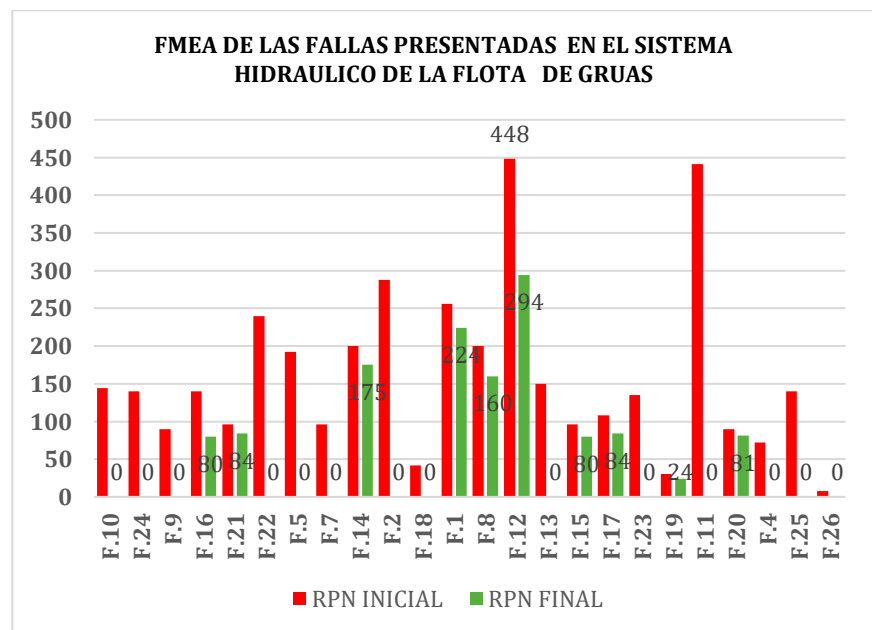
108	Baje la valvula de direccionamiento y reemplace los resortes de la valvula , verifique ajuste de presion dada por fabricante	G-NPR16	2	7	6	84
135	Baje mangueras y remplaceelas	NA	0	0	0	0
30	Purgue el sistema , cambiando el filtro y limpiando mangueras despues de las acciones correctivas	G-NPR10	3	4	2	24
441	Ajuste los acoples unicamente con la fuerza de la mano , use selladores liquidos	NA	0	0	0	0
90	Verifique que manguera no este torcida mas de 10 ° , si es asi baje la manguera y reemplacela .	G-NPR11	1	9	9	81
72	Baje el tanque de aceite hidraulico , realice limpieza ,reemplace el aceite existente por el aceite recomendado la viscosidad recoemndada y que no exceda los 100 S.F.	NA	0	0	0	0
140	Verificar las condiciones de la fuga , si es necesario limpie el area y baje el componente y cuide las conecciones para que no alla contaminacion en el sistema	NA	0	0	0	0
8	Verifique que las mangueras no sobrepasen las medidas espesificadas para la presion del sistema	NA	0	0	0	0

Tabla 11. (Continuación)

6.2.3 Análisis de resultados

En la figura 12 ,se observa la comparación entre el valor RPN inicial con respecto al RPN final solamente de las fallas identificadas en la flota durante el diagnóstico, viendo una reducción significativa del valor RPN FINAL debido a que las acciones recomendadas reducen las calificaciones dadas de ocurrencia y detección, llevando a alargar la vida útil del componente del sistema hidráulico debido a que los efectos de las fallas están más controlados bajo inspección del área de mantenimiento por medio de la metodología FMEA.

Figura 12. Resultado de análisis FMEA, RPN inicial vs RPN final.



Fuente. Autor

6.2.3.1 Calificaciones de ocurrencia y gravedad

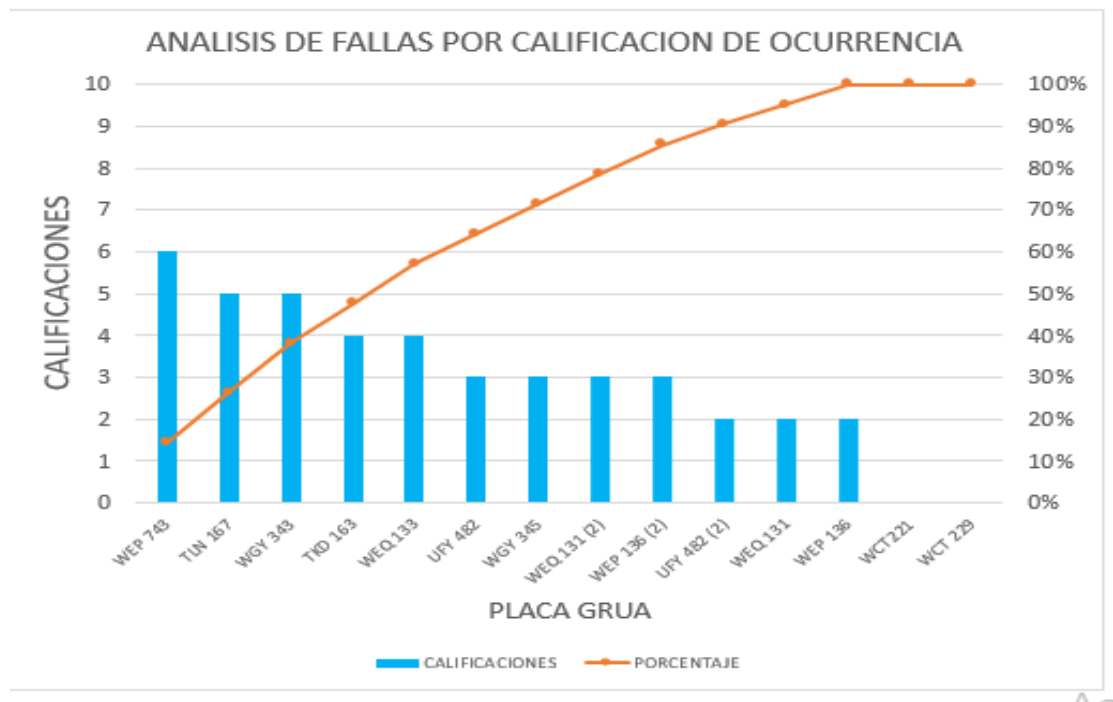
Mediante un diagrama de Pareto se procede en primer lugar a evaluar las fallas presentadas por medio de las calificaciones de ocurrencia ordenando las fallas de mayor a menor de acuerdo a su calificación, teniendo en cuenta que la mínima puntuación corresponde a una ocurrencia nula y la máxima puntuación corresponde a una ocurrencia extremadamente alta. (Ver tabla 12. y Figura 13.)

Tabla 12. Calificación de ocurrencia de fallos.

PLACA	CALIFICACION DE LA OCURRENCIA	% DE OCURRENCIA	ACUMULADO	% ACUMULADO
WEP 743	6	14%	600%	14%
TLN 167	5	12%	1100%	26%
WGY 343	5	12%	1600%	38%
TKD 163	4	10%	2000%	48%
WEQ 133	4	10%	2400%	57%
UFY 482	3	7%	2700%	64%
WGY 345	3	7%	3000%	71%
WEQ 131 (2)	3	7%	3300%	79%
WEP 136 (2)	3	7%	3600%	86%
UFY 482 (2)	2	5%	3800%	90%
WEQ 131	2	5%	4000%	95%
WEP 136	2	5%	4200%	100%
WCT221	0	0%	4200%	100%
WCT 229	0	0%	4200%	100%
TOTAL	42			

Fuente. Autor

Figura. 13 Análisis de fallas por calificación de ocurrencia.



Fuente. Autor

En la figura 13, se evidencia el análisis de los resultados de las calificaciones de ocurrencia, observando que las fallas presentadas por las grúas WEP 743, TLN 167, WGY 343 presentan las mayores calificaciones, es por esto que el equipo de mantenimiento deberá dar prioridad a las acciones de mantenimiento a estas grúas, enfocándose en reducir las ocurrencias de las fallas presentadas.

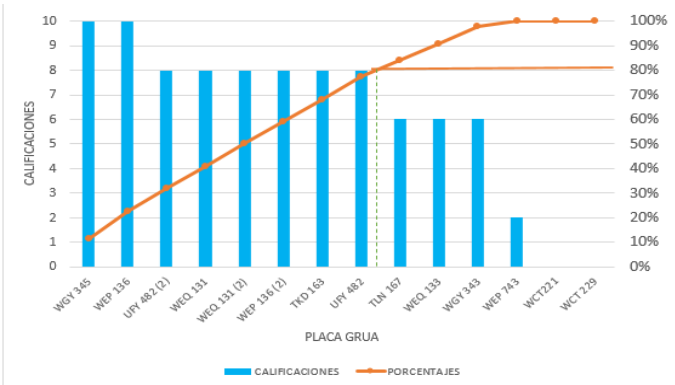
El siguiente criterio a tener en cuenta es la calificación de la gravedad del fallo, esto con el fin de identificar las que presentan mayor puntuación; generando alertas de atención dirigida al momento de proponer distintas acciones de mantenimiento, es decir manejo de prioridades a las puntuaciones más altas.

Tabla 13. Calificación de gravedad de fallo.

PLACA	CRITERIO DE GRAVEDAD DE FALLO	% DE OCURRENCIA	ACUMULADO	% ACUMULADO
WGY 345	10	11%	1000%	11%
WEP 136	10	11%	2000%	23%
UFY 482 (2)	8	9%	2800%	32%
WEQ 131	8	9%	3600%	41%
WEQ 131 (2)	8	9%	4400%	50%
WEP 136 (2)	8	9%	5200%	59%
TKD 163	8	9%	6000%	68%
UFY 482	8	9%	6800%	77%
TLN 167	6	7%	7400%	84%
WEQ 133	6	7%	8000%	91%
WGY 343	6	7%	8600%	98%
WEP 743	2	2%	8800%	100%
WCT221	0	0%	8800%	100%
WCT 229	0	0%	8800%	100%
TOTAL	88	100%		

Fuente. Autor

Figura 14. Análisis de fallas por criterio de gravedad.



Fuente. Autor

En la figura 14, se observan los resultados obtenidos a partir de las calificaciones asignadas por gravedad de fallo, evidenciado que 8 fallas presentadas representan más del 80% de la calificación más alta por ende las fallas son graves y corresponden a las grúas WGY 345, WEP136, UFY 482, WEQ 131, WEP 136, TDK 163.

Teniendo en cuenta las acciones realizadas por el área de mantenimiento en el primer periodo del año 2021, se aplicó un formato para llevar el seguimiento de gastos en mantenimiento dirigido al sistema hidráulico de la flota teniendo en consideración la descripción de la reparación y el tiempo de la misma, con base a esta tabla se refleja que el costo total de compras y reparaciones fue de \$2.042.000 en el periodo comprendido de enero a abril.

Tabla 14. Costos y reparaciones en un periodo de 4 meses.

			AREA DE MANTENIMIENTO		CODIGO: 1	
			SISTEMA HIDRAULICO		VERSION: 15/05/2021	
			Codigo del sistema :		EMISION	
			HI		PAGINA 1 DE 1	
			PERIODO		ENERO - ABRIL	
CONTROL DE COMPRAS Y REPARACIONES AL SISTEMA HIDRAULICO DE LAS GRUAS DE PLANCHON NPR Y NKR						
Item	Fecha	Codigo Grua	Descripción de la reparación	Solucion de la accion de mantenimiento	Tiempo de reparacion (Horas)	Costo total de la reparacion
1.	16/01/2021	G-NPR09	Cambio de aceite hidraulico y filstros	Compra de filtros y aceites	2	\$ 120.000,00
2.	16/01/2021	G-NPR16	Cambio de aceite hidraulico y filstros	Compra de filtros y aceites	2	\$ 120.000,00
3.	16/01/2021	G-NPR04	Cambio de aceite hidraulico y filstros	Compra de filtros y aceites	3	\$ 120.000,00
4.	26/01/2021	G-NPR10	Desmontaje y reparacion de agujero del tanque hidraulico	Aplicación de soldadura en la zona afectada	3	\$ 54.000,00
5.	16/01/2021	G-NPR04	Cambio de aceite hidraulico y filstros	Compra de filtros y aceites	3	\$ 120.000,00
6.	29/01/2021	G-NPR18	Cambio de aceite hidraulico y filstros	Compra de filtros y aceites	2	\$ 120.000,00
7.	15/02/2021	G-NPR11	Desmontaje de manguera de alta presion	Compra y cambio de manguera con acoples	5	\$ 168.000,00
8.	24/03/2021	G-NPR11	Cambio de bomba hidraulica	Compra y cambio de bomba	7	\$ 650.000,00
9.	29/01/2021	G-NPR01	Desmontaje Reparacion y ajuste de cilindro secundario de levante	Rectificacion del vastago	13	\$ 135.000,00
10.	20/03/2021	G-NPR02	Cambio de aceite hidraulico y filstros	Compra de filtros y	3	\$ 120.000,00
11.	24/02/2021	G-NPR02	Desmontaje y cambio Mangueras depaso y retorno provenientes d ela bomba hidraulica	Compra kit de mangueras	4	\$ 315.000,00
				Total de horas de reparacion	47	
				TOTAL DE COSTOS DE REPARACIONES	\$	2.042.000,00

Fuente. Autor

En la tabla 15, se muestra la distribución del presupuesto gastado en las reparaciones del sistema hidráulico de la totalidad de la flota en cada uno de los 4 meses de acuerdo al tiempo de reparación.

Tabla 15. Distribución de presupuesto.

MESES	HORAS DE MANTENIMIENTO	GASTOS DE MANTENIMIENTO
Enero	28	\$ 789.000,00
Febrero	9	\$ 483.000,00
Marzo	10	\$ 770.000,00
Abril	0	\$ -

Fuente. Autor

Por otra parte, para determinar la distribución de costos se hallaron los costos fijos y la tasa unitaria de costo variable de los gastos suministrados al sistema hidráulico por el grupo empresarial utilizando el método estadístico de segmentación de costos que está representado por la siguiente ecuación:

$$y = a + bx$$

Donde:

y= Costo (semivariable)

a= Costo fijo

b= Tasa unitaria de costo variable

x= Nivel de actividad

El método en mención, utiliza el análisis de regresión simple y se recomendó utilizar las fórmulas de mínimos cuadrados que se ven reflejadas en las siguientes ecuaciones:

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{(\sum y)}{n} - b * \left(\frac{\sum x}{n}\right)$$

Con lo anterior y basados en la información obtenida en la tabla 15, se identifica el nivel de actividad “x” cuya variable para este caso son las horas de mantenimiento en las cuales estuvo involucrado el sistema hidráulico de la flota, seguido de la variable costo de reparaciones “Y”, y por último se hayan los valores “XY”, “x²” obteniendo los valores que se ven en la siguiente tabla.

Tabla 16. Valores "x" y "y" obtenidos mediante la técnica de mínimos cuadrados.

MESES	X	Y	XY	X ²
Enero	28	\$ 789.000,00	22.092.000,00	784
Febrero	9	\$ 483.000,00	4.347.000,00	81
Marzo	10	\$ 770.000,00	7.700.000,00	100
Abril	0	-	-	0
TOTALES	47	\$ 2.042.000,00	34.139.000,00	965

Fuente. Autor

Una vez obtenidos los valores mostrados en la tabla 16, se realizan los cálculos haciendo uso de la técnica de mínimos cuadrados y sus fórmulas para hallar los valores “a” y “b”.

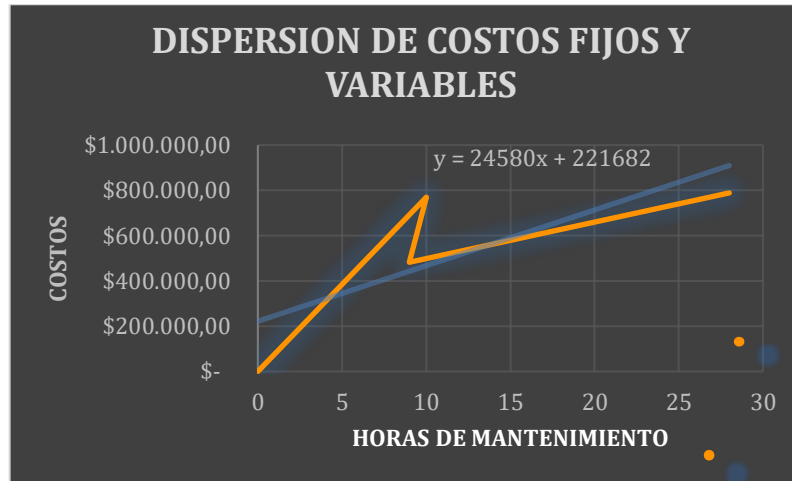
$$b = \frac{4(34.139.000) - (47)(2.042.000)}{4(965) - (47)^2} = 24580,2$$

$$a = \frac{(2.042.000)}{4} - 24580 * \left(\frac{47}{4}\right) = 221682$$

Sustituyendo los valores de “a” y “b” en la formula se determinan los costos fijos y variables.

$$y = 221682,0 + 24580,2 (x)$$

Figura. 15 Comportamiento costos fijos y variables.



Fuente. Autor

Esto quiere decir que los costos fijos del área de mantenimiento fueron de \$221.682 y el costo variable por hora de reparación del sistema hidráulico fue de \$24.580 en los primeros 4 meses del año 2021. En la figura 15 se observa la relación que existe entre la variable costos frente a la variable horas de mantenimiento; destacando que su comportamiento no es lineal, es decir que a medida que las horas de mantenimiento dirigidas al sistema hidráulico aumentan pueden variar significativamente los costos.

6.3 OPTIMIZACIÓN DE ACCIONES

Se ejecuta la Implementación de plan de mantenimiento preventivo a partir de las acciones obtenidas por la metodología FMEA, mediante dos etapas mostradas a continuación:

Etap 1. Plan de mantenimiento al sistema hidráulico por medio de programación de verificaciones y/o inspecciones.

Etap 2. Proyección y designación de roles para inspecciones rutinarias al sistema e Implementación de metodología de las 5 S para las acciones de mantenimiento empleadas.

6.3.1 Etapa 1. Plan de mantenimiento preventivo

En la siguiente tabla se puede observar el orden y las variables asignadas para llevar a cabo el mantenimiento preventivo del sistema hidráulico de la flota de grúas.

Tabla 17. Formato de variables para implementación de plan de mantenimiento al sistema hidráulico.

		AREA DE MANTENIMIENTO	CODIGO:	
		SISTEMA HIDRAULICO	VERSION:	1
		Codigo del sistema :	EMISION	15/05/2021
		HI	PAGINA 1 DE 1	
			PERIODO	ENERO- ABRIL
VARIABLES PARA EL DESARROLLO DE LA IMPLEMENTACION DE PLAN DE MANTENIMIENTO AL SISTEMA HIDRAULICO				
DE MANT	EJECUTADO POR:	EVOLUCION	EFECTO OPERACIONAL	INDICE DE MANTENIMIENTO
PREV	Jefe de taller y personal calificado	Identificacion de gruas con mayores indices de fallos en el sistema hidraulico	Componentes involucrados en el fallo	MTBF , MTTR
		Planificacion de mantenimiento	Actividades programdas	Cronograma
		Programacion de actividades	Inspeccion , limpeza y lubricacion asignada al	% De Inspecciones realizadas % De limpiezas realizadas % De libricaciones realizadas

Fuente. Autor

Se procede a designar los valores MTBF Y MTTR de las fallas presentadas al sistema hidráulico en los meses de enero a abril cuyos valores se reflejan en la siguiente tabla, es importante destacar que en el mes abril no se presentaron fallas en el sistema hidráulico de la flota.

Tabla 18. Valores MTBF, MTTR y eficiencia de reparaciones.

ENERO	Horas disponibles de operación	No. De paradas	Tiempo total de paradas (Horas)	MTBF	MTTR	Tasa de reparaciones (μ)
G-NPR09	260	1	2	1057	4	0,28
G-NPR16	260	1	2			
G-NPRO1	260	1	13			
G-NPR18	260	2	2			
G-NPRO4	260	2	6			
TOTAL		7	25			
FEBRERO						
G-NPR11	240	1	5	383	5	0,22
G-NPRO2	240	1	4			
TOTAL		2	9			
MARZO						
G-NPR11	270	1	7	397	5	0,22
G-NPRO2	270	1	2			
TOTAL		2	9			

Fuente. Autor

Igualmente se determina la tasa de reparaciones por mes que se obtiene dividiendo 1 entre el MTTR. Generándonos el índice de las reparaciones por hora que el área de mantenimiento puede realizar. Los resultados obtenidos a partir del cálculo del índice de reparaciones se ven reflejados en la tabla 18.

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

Teniendo en cuenta que el área mantenimiento designa actualmente cuatro (4) horas de mantenimientos programados únicamente los días sábados para un total 16 horas al mes, se multiplican estas 16 horas por la tasa de reparaciones, dándonos como resultado la cantidad de reparaciones que el área de mantenimiento puede resolver cada mes. Los resultados de este procedimiento se ven reflejados en la tabla 19.

Tabla 19. Tasa de reparaciones.

Mes	Tasa de reparaciones	Cantidad de reparaciones
ENERO	0,28	5
FEBRERO	0,22	4
MARZO	0,22	4
ABRIL	0	0

Fuente. Autor

6.3.2 Proyección de mantenimiento preventivo.

Teniendo en cuenta los componentes del sistema hidráulico y las categorías de funcionalidad propuestas en el desarrollo de la metodología FMEA, a continuación, se dan los procedimientos a tener en cuenta para la proyección del plan de mantenimiento con el fin de mejora al segundo semestre del presente año, basado en inspecciones rutinarias y teniendo en cuenta la metodología FMEA aplicada al sistema hidráulico de la flota.

Tabla 20. Rutina de mantenimiento preventivo implementada a raíz de la metodología FMEA.

		AREA DE MANTENIMIENTO		CODIGO:						
		SISTEMA HIDRAULICO		VERSION:		1				
		Codigo del sistema :		EMISION		15/05/2021				
								PAGINA 1 DE 1		
HI										
ROUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO										
COMPONENTE DEL SISTEMA	Fecha de programación	Codigo gru.	Descripción	Frecuencia recomendada	Inspeccion	Limpieza	Lubricaciones O cambios de aceite	Durante operación	Mantenimiento programado	Observaciones
BOMBA HIRAUICA	10/04/2021	G-NPR18	Verificar ajuste y estado de las empaquetaduras	Trimestral	X				X	
	10/04/2021	G-NPR18	Verificar ajustes de mangueras a la salida de la bomba	Trimestral	x				x	
	10/04/2021	G-NPR18	Verificar que la bomba hidraulica no presente fugas	Mensual		x		x		
TOMA FUERZA	17/04/2021	G-NPR04	Verificar fugas y funcionamiento de toma fuerza	Trimestral	x	x		x		
	10/04/2021	G-NKR16	Verificar conexiones y lubricacion de toma fuerza	Trimestral	x		x		x	Se recomienda hacer seguimiento
	17/04/2021	G-NPR02	Verificar estado de carcasa de toma fuerza	Trimestral	x				x	
ACCIONADORES O CILINDROS HIDRAULICOS	17/04/2021	G-NPR09	Verificar si existen pandeos en los cilindros	Trimestral	X				X	
	17/04/2021	G-NPR04	Verifique que las conexiones esten con los ajustes necesarios	Mensual	x				x	
	17/04/2021	G-NPR04	Verificar el estado de las guías del cilindro	Trimestral	x				x	
VALVULAS DIRECCIONALES	23/03/2021	G-NPR09	Seguimiento de funcionamiento de los cilindros	Mensual	x			x		
	23/03/2021	G-NKR11	Verifique que la valvula no tenga saltos no vibraciones	Trimestral	x			x		
	23/03/2021	G-NPR05	Verifique ajustes de las valvulas y palancas de direccionamiento	Trimestral	x			x		
TANQUE DE DEPOSITO Y MANGUERAS	19/03/2021	G-NKR14	Verificar fugas provenientes de las valvulas							
	19/03/2021	WGY 345	verificar obstruccion mangueras	Mensual	x			X		
	24/04/2021	G-NPR01	Verificar grados de curvatura de mangueras	Trimestral	X				X	
ACEITE HIDRAULICO	17/04/2021	G-NKR10	Verifique que la estructura metálica del tanque no presente agujeros o corrosion	Mensual	x			x		
	23/03/2021	G-NPR02	Verificar estado del aceite con respecto a las horas de su ultimo cambio	200 a 250 Hora de operacion		x	x	x		
	19/04/2021	G-NPR05	Verificar el estado de los filistros	100 a 150 horas de operacion		x		x		
	24/04/2021	G-NPR07	Verificar viscosidad de aceite hidraulico utilizado	Anual	x		x		x	

Fuente. Autor

Tabla 21. Designación de roles para la realización de inspección rutinaria.

 Cuidamos su carro como si fuera el nuestro NT: 906.722.170-7	AREA DE MANTENIMIENTO		CODIGO:		
	SISTEMA HIDRAULICO		VERSION:		1
	Codigo del sistema :		EMISION		15/05/2021
	HI		PAGINA 1 DE 1		
Aspectos de la inspeccion					
ITEM	REVISION	FRECUENCIA	ENCARGADO	DESCRIPCION	
1	Inspeccion fisica del sistema	Semanal	Operario	Inspeccion visual de la totalidad de los componentes del sistema hidraulico	
2	Documentacion y/o Informe	Semanal	Operario	El operario debera informar si existen anomalias en los compoenntes durante la inspeccion , designando la categoria de funcionalidad del componente en el sistema.	
3	Cronograma de verificacion	Semanal	Jefe de taller	Con base a los reportes entregados por el operario el jefe de taller debera programar actrividad de verificacion al componente o sistema hidraulico.	
4	Evaluacion , designacion y codificacion de la falla según metodologia FMEA	Cuando se requiera	Jefe de taller	Si se presenta alguna anomalia o falla en el sistema hidraulico .Basado en el informe presentado por el operario, el jefe de taller debera asignar y categorizar la falla Según metodologia	
5	Compra de repuesto	N/a	Jefe de taller	Evaluando la verificacion al componente o sistema el jefe de taller debera , asignar la compra de algun repuesto si se requiere	
6	Designacion de personal tecnico , Fecha y hora	Semanal	Jefe de taller	Designacion de personal capacitado para realizar el cambio o ajuste al sistema por parte del jefe de mantenimiento	

Fuente. Autor

En la tabla 21, se observa con detalle el personal encargado para la proyección de plan de mantenimiento, destacando que el operario es el encargado en primera instancia de informar sobre la falla a raíz de una inspección semanal, por consiguiente, el jefe de mantenimiento será el encargado de evaluar la falla por medio de la metodología FMEA, para realizar el seguimiento en el transcurso del segundo semestre del año.

Tabla 22. Formato de programación de actividades de mantenimiento dirigido al sistema hidráulico.

 Cuidamos su carro como si fuera el nuestro NIT: 900.722.170-7		AREA DE MNATENIMIENTO																CODIGO									
		SISTEMA HIDRAULICO																VERSION		1							
		CODIGO DEL SISTEMA																EMISION		15/05/2021							
		HI																		PAGINA 1 DE 1							
PROGRAMACION DE MANTENIMIENTO SEGÚN ACTIVIDAD																											
NUMEI	ACTIVIDAD	JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE					
		Diar	Sem	Men	Trime	Diar	Sema	Men	Trim	Diar	Sem	Mens	Trime	Diar	Sema	Men	Trime	Diari	Sem	Mens	Trime	Diario	Sema	Mens	Trime		
1.	Verificacion de sellos , juntas y ajustes de la bomba			x				x				x				x				x				x			
2.	Verificacion del estado estructural de la bomba			x				x				x				x				x				x			
3.	Inpeccione salida de la bomba , mangueras de paso y				x				x				x				x								x		
4.	Limpie mangueras de paso y retorno provenientes de la		x				x				x			x					x				x				
5.	Revisar estado de filtros			x				x				x				x				x				x			
6.	Inspeccione lubricacion del toma fuerza			x				x				x				x				x				x			
7.	Limpie mangueras de paso y retorno provenientes del		x				x				x				x				x					x			
8.	Inspeccione estado estructural del toma fuerza			x				x				x				x				x				x			
9.	Verifique ajustes del toma fuerza				x				x				x				x				x				x		
10.	control de nivel de fluido hidraulico	x					x				x			x				x				x					
11.	Verificar que el interior del deposito no presente oxido				x				x				x				x				x				x		
12.	Verifique los ajustes de presion de las valvulas según				x				x				x				x				x				x		
13.	Verificar estado de cilindros hidraulicos y pernos de								x				x				x				x				x		
14.	Verifique calidad de fluido hidraulico				x				x				x				x				x				x		
15.	Evaluacion de condiciones operativas				x				x				x				x				x				x		
16.	Examine rangos de temperatura del fluido hidraulico				x				x				x				x				x				x		
17.	Verificar apriete de tornillos y pasadores que se encuentren en la totalidad del sistema			x				x				x				x				x				x			
18.	Verifique estado de los acoples del sistema				x				x				x				x				x				x		
REGISTRO DE INSPECCION																											
CODIGO DE GRUA	PLACA	No. De actividad	Encargdo	junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre			
				Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
G-NPR01	UFY 482																										
G-NPR02	TKD 163																										
G-NPR18	TLN 167																										
G-NPR09	WEQ 133																										
G-NPR14	WGY 343																										
G-NPR16	WGY 345																										
G-NPR04	WEQ 131																										
G-NPR05	WCT 221																										
G-NPR07	WCT 229																										
G-NPR10	WEP 743																										
G-NPR11	WEP 136																										

Fuente. Autor

En la tabla 22, se muestra un formato de programación de mantenimiento con acciones de mantenimiento recomendadas, las cuales vienen divididas en frecuencias diarias, semanales, mensuales y trimestrales, es importante destacar que cada actividad recomendada tiene la frecuencia de realización asignada, la cual se divide en colores que corresponden a cada mes. Posteriormente en la parte inferior el jefe de mantenimiento deberá completar la tabla con el código de la grúa a la cual se le realizó la verificación, la placa, el número de actividad y teniendo en cuenta el número de semana asignar el color pertinente de acuerdo al mes.

La implementación correcta del formato propuesto permite tener un control detallado de las rutinas recomendadas a raíz de la metodología FMEA, disminuyendo el número de paradas por fallo, se recomienda al grupo empresarial que al finalizar el mes de noviembre se realice un estudio comparando la disponibilidad de la totalidad de la flota antes y después de la implementación del formato en mención.

6.3.3 Etapa 2. Metodología 5s.

Para llevar a cabo las acciones recomendadas en la programación de mantenimiento, se recomienda implementar la metodología 5S teniendo en cuenta el ítem propuesto con el fin de mejorar los procedimientos de mantenimiento llevando un control y manejo de los procedimientos efectuados al sistema y así ejecutar correctamente las exigencias de mantenimiento.

Se realiza un formato con el objetivo de comparar la diferencia de las acciones recomendadas de mantenimiento después de la implementación del FMEA con respecto a las acciones que se trabajaban antes de aplicar la metodología, en este formato se observan los 4 ítems que corresponden a las 4S, y vienen dados para seleccionar, ordenar, limpiar y estandarizar mientras que la quinta S corresponde al seguimiento hecho por el jefe de mantenimiento.

El rango propuesto para calificar la evolución primaria antes de la aplicación de las acciones de mantenimiento obtenidas por la metodología FMEA se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 23. Rangos de calificación para el desarrollo de la metodología 5S.

RANGO	CALIFICACION
1	Muy malo
2	Malo
3	Regular
4	Bueno
5	Muy bueno

Fuente. Autor.

En las tablas 23 y 24, se observan las calificaciones y resultados generados por la metodología 5S a partir de una evolución de los procedimientos realizados durante acciones de mantenimiento al sistema hidráulico de la flota antes de aplicar la metodología FMEA.

Tabla 24. Evaluación de las acciones de mantenimiento antes de aplicar metodología de las 5S.

EVOLUCION DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO		
No.	ITEM	CALIFICACION DE LA EVOLUCION
SELECCIONAR		
1	Accion recomendada de mantenimiento	2
2	Categoria de funcionalidad del componente	3
3	Estado del componente	5
4	Parametros de operacion	3
5	Tiempo de estimacion de la accion recomendada	2
	TOTAL	15
ORDENAR		
1	Herramientas asignadas para realizar la accion	3
2	Area asignada para la accion de mantenimiento	5
3	Fechas y hora de accion de mantenimiento designada	5
4	Registro de informacion proveniente de la accion de mantenimiento	3
5	Equipo de trabajo para realizar accion	4
	TOTAL	20
LIMPIAR		
1	Componentes del sistema para realizar accion de mantenimiento	3
2	Area asignada para la accion de mantenimiento	3
3	Herramientas para realizar accion	3
4	Componentes aydasentes al ejecutado	4
5	Control de limpieza para evitar contaminacion del sistema	4
	TOTAL	17
ESTANDARIZAR		
1	Los componentes reemplazados con respecto a la operatividad del sistema	3
2	Equipos de proteccion y seguridad para el personal encargado de mantenimiento	3
3	Herramientas empleadas para la accion de mantenimiento dirigido al sistema hidraulico	3
4	Rutinas de inspeccion al sistema hidraulico	2
5	Personal capacitado para realizar la accion de mantenimiento	3
	TOTAL	14

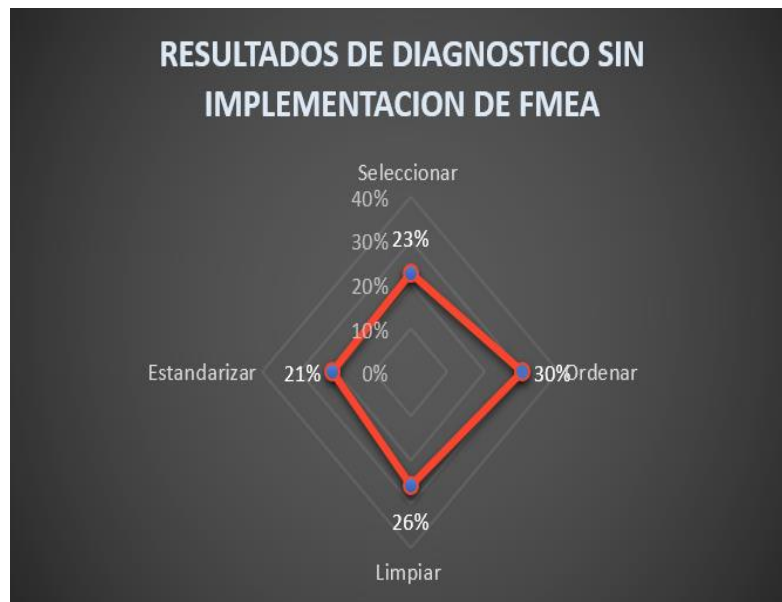
Fuente. Autor

Tabla 25. Calificaciones obtenidas antes de aplicar la metodología de las 5S.

ITEM	CALIFICACION DE LA EVOLUCION	% DE CALIFICACION
Seleccionar	15	23%
Ordenar	20	30%
Limpiar	17	26%
Estandarizar	14	21%
TOTAL	66	100%

Fuente. Autor

Figura. 16 Comportamiento de resultados en las acciones de mantenimiento realizadas a partir de la metodología FMEA.



Fuente. Autor

En la figura 15, se observan resultados provenientes de la calificación de la evolución en el diagnóstico realizado antes de la metodología 5S, permitiéndonos reconocer que existen falencias a la hora de implementar acciones de mantenimiento en el sistema, observando las calificaciones obtenidas, la puntuación más alta que se evidenció fue de 30 puntos que corresponde al orden en el cual se ejecutaban las

acciones de mantenimiento, es decir que la calificación se encuentra en un rango menor que el 30% de efectividad .

6.3.3.1 SEIRI - Seleccionar

Este ítem en específico se encuentra completamente relacionado con las tablas 10 y 11 propuestas por la metodología de FMEA aplicada, se aconseja tener en cuenta en primer lugar las acciones recomendadas a raíz de los valores RPN, los cuales permiten identificar la prioridad en el fallo y las causas a la hora de ejecutar un mantenimiento, como paso siguiente; reconocer las categorías de funcionalidad de las fallas para identificar la importancia del componente en el funcionamiento del sistema y así efectuar una disponibilidad en el área de trabajo para el tiempo de ejecución , igualmente identificar el estado y las especificaciones técnicas del componente son importantes para documentar en la base de datos el nivel de daños que tiene en la actualidad con respecto a las horas de trabajo , por último se recomienda estimar tiempo previsto por cronogramas para ejecutar las acciones recomendadas de mantenimiento.

6.3.3.2 SEITON-Organizar

Luego de haber tenido en cuenta la primer S, se aconseja tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Manejar un inventario de herramientas utilizadas
- Respetar el espacio asignado para efectuar la acción con el fin de no afectar otras actividades de mantenimiento que se realicen al mismo tiempo.
- Organizar el área donde se hará la acción.
- Asignar la hora y el tiempo empleado durante la acción es importante para no afectar la operatividad de la grúa.
- Registrar en la base de datos comentarios si hubo anomalías durante la acción de mantenimiento realizada.

6.3.3.3 SEISO- Limpieza

Después de haber seleccionado el sistema y/o componente el cual se le aplicará acción de mantenimiento, es prudente limpiar los componentes adyacentes al área trabajada, esto porque uno de los sistemas que más falla por contaminación es el sistema hidráulico, el cual es necesario proteger de suciedades e impurezas que pueden contaminar el fluido trabajo, se recomienda seguir las siguientes recomendaciones:

- Revisar si los componentes presentan suciedades como polvo o barro y limpiarlos antes de realizar cualquier acción de mantenimiento
- Si existen desechos provenientes de los componentes como mangueras sin uso, filtros y demás, recolectarlos en las canecas asignadas.
- Cuando termine la acción verifique que en el suelo no haya líquido de fluido hidráulico derramado, si es así, recurra al personal asignado de aseo para limpiarlo.
- Motivar la implementación de acciones limpias de mantenimiento para el cuidado del medio ambiente y sobre todo del sistema hidráulico intervenido.

6.3.3.4 SEIKETSU- Estandarizar

La implementación de esta última S corresponde necesariamente a mantener los resultados de las S anteriores para obtener resultados efectivos a la hora de ejecutar la acción de mantenimiento recomendada, esto se logra llevando a cabo controles periódicos al cumplimiento de los ítems anteriores y suministrando la totalidad de información que se pueda presentar a la base de datos del grupo empresarial. Se recomienda realizar esta rutina de control y verificación de los ítems al jefe de mantenimiento del taller interno.

6.3.3.5 SHITSUKE –Disciplina

Las recomendaciones presentadas se deben aplicar antes durante y después de cada ejecución de la acción de mantenimiento siguiendo los siguientes parámetros:

- Promover los hábitos de cuidado y orden dentro de la ejecución de mantenimiento.
- Actualizaciones de las normas de seguridad y medio ambiente en el trabajo.
- Promover el cuidado del sistema para mejorar su vida útil.

6.3.3.6 Resultados de la metodología de las 5S

En la tabla 26, se observan las calificaciones y resultados generados por la metodología 5S a partir de una evolución de los procedimientos tenidos en cuenta durante la ejecución de acciones de mantenimiento al sistema hidráulico de la flota, provenientes de la metodología FMEA. Mientras que la tabla 27 nos muestra un comparativo de las calificaciones del antes y después de la implementación de las 5 S.

Tabla 26. Evolución de las acciones de mantenimiento realizadas después de la implementación del FMEA Y METODOLOGIA 5s.

EVOLUCION DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO		
No.	ITEM	CALIFICACION DE LA EVOLUCION
SELECCIONAR		
1	Accion recomendada de mantenimiento	5
2	Categoria de funcionalidad del componente	5
3	Estado del componente	5
4	Parametros de operación	4
5	Tiempo de estimacion de la accion recomendada	3
TOTAL		22
ORDENAR		
1	Herramientas asignadas para realizar la accion	4
2	Area asignada para la accion de mantenimiento	5
3	Fechas y hora de accion de manatenimiento designada	5
4	Registro de informacion proveniente de la accion de mantenimiento	5
5	Equipo de trabajo para realizar accion	4
TOTAL		23
LIMPIAR		
1	Componentes del sistema para realizar accion de mantenimiento	4
2	Area asignada para la accion de mantenimiento	4
3	Herramientas para realizar accion	4
4	Componentes aydasentes al ejecutado	5
5	Control de limpieza para evitar contaminacion del sistema	5
TOTAL		22
ESTANDARIZAR		
1	Los componentes reemplazados con respecto a la operatividad del sistema	4
2	Equipos de proteccion y seguridad para el personal encargado de mantenimiento	4
3	Herramientas empleadas para la accion de mantenimiento dirigido al sistema hidraulico	4
4	Rutinas de inpeccion al sistema hidraulico	5
5	Personal capacitado para realizar la accion de manatenimiento	4
TOTAL		21
DISCIPLINA		
1	Actualizaciones y habitos de las 4 S ateriores	4

Fuente. Autor

Tabla 27. Comparación de calificaciones obtenidas antes y después de la implementación del FMEA Y metodología 5S.

ITEM	CALIFICACION DE LA EVOLUCION (Antes)	% DE CALIFICACION	CALIFICACION DE LA EVOLUCION (Después)	% DE CALIFICACION
Seleccionar	15	23%	22	22%
Ordenar	20	30%	23	23%
Limpiar	17	26%	22	22%
Estandarizar	14	21%	21	21%
Disciplina	0	0%	12	12%
TOTAL	66	100%	100	100%

Fuente. Autor

Figura. 17 Comportamiento de los resultados del antes y después de la metodología 5S.



Fuente. Autor

En la figura 17, se puede notar que la implementación de las 5S para las acciones de mantenimiento recomendadas logra tener un comportamiento más eficiente y subir las calificaciones con respecto a los ítems presentados para la mejora continua de la ejecución de acciones. Con la implementación de un nuevo ítem de disciplina calificado luego de la implementación con un puntaje de 12 puntos la ejecución de las acciones de mantenimiento en el área de mantenimiento se presenta con mejor orden de manejo, tal como se muestra en la figura 17 el comportamiento de este ítem puede seguir mejorando a lo largo del tiempo.

Al comparar el primer estudio de las 5 S realizado antes de la metodología FMEA, frente al estudio aplicado con la metodología FMEA, las acciones de mantenimiento dirigidas al sistema hidráulico son más eficientes debido a que se brinda una categorización y selección más amplia de los componentes, se conoce más a fondo acerca de los posibles fallos por ende el operador de mantenimiento ejecuta las tareas con mayor calidad de desempeño mejorando el proceso de calidad en el taller interno, evitando intervenciones y sobre costos en talleres externos debido a que se eliminan prudencialmente las fallas rutinarias presentadas en el sistemas hidráulico.

7. CONCLUSIONES

Durante el diagnóstico realizado al iniciar la metodología y teniendo en cuenta las categorías de funcionalidad con respecto a los componentes instalados en el sistema hidráulico, se determinó que el 38% de las fallas con mayor incidencia en la flota corresponden a la categoría de accionamiento, las categorías funcional y suministro representan un 31% de incidencia cada una.

Se evidenció que la implementación de las tablas propuestas por la metodología FMEA con acciones recomendadas de mantenimiento, reducen los índices de severidad, ocurrencia y detección, en este caso se observa que la falla con mayor índice de calificación RPN se redujo un 34 % al finalizar la implementación con respecto al valor RPN obtenido antes de la implementación de la metodología.

Por medio de la matriz de riesgos recomendada para asignar calificaciones de gravedad de fallos al sistema hidráulico, se observó que facilita significativamente la selección de factores de reconocimiento para asignar correctas calificaciones logrando mayor efectividad a la hora de implementar la metodología FMEA.

Al llevar a cabo los procedimientos requeridos para dar calificaciones de severidad, ocurrencia y detección, se permitió jerarquizar las grúas con mayores fallas en el sistema hidráulico con el fin de implementar rutinas y acciones de mantenimiento preventivo de manera prioritaria.

Evidenciando los resultados de la evolución de las calificaciones presentadas a partir de la implementación de la metodología 5S, se observa que implementando los formatos designados para la programación de actividades de mantenimiento al sistema hidráulico, aumenta la disciplina en el área de mantenimiento, influyendo directamente para el aumento de la disponibilidad de las grúas puesto que los procedimientos se ejecutan de manera más eficiente y ordenada, reduciendo los paros de operación por fallos en el sistema hidráulico.

El costo de mantenimiento correctivo del sistema hidráulico en el primer periodo del año 2021 fue de \$ 2.042.000, con la implementación de la proyección de mantenimiento y con la ejecución de las acciones de mantenimiento preventivo recomendadas por el análisis de modos y efectos de falla, en el segundo periodo del año 2021 se deben reducir significativamente los paros de operación por fallos del sistema hidráulico reduciendo costos de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

Se recomienda al grupo empresarial, seguir implementando las acciones de mantenimiento generadas por la metodología FMEA, para evitar paros no programados por fallos en el sistema y así contribuir a la mejora de la disponibilidad.

De igual manera se recomienda la implementación de técnicas estadísticas para la comparación de costos presupuestados a medida que se va desarrollando la implementación metodología FMEA.

REFERENCIAS.

TEHERAN Yair , PARRA Carlos “Aplicación de la técnica MFEC Analisis de Modos de falla y Criticidad para optimizar el plan de mantenimiento de los Motores Caterpillar 3512” – *Research Gate*." 9 ene. 2021.

GUERRA Huamali, “Analisis de modos y efecto de falla en los Scooptrams de la empresa minera Atacocha” *Repositorio UNCP*. 2016.

RIOS Puerta, “Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis FMECA y monitoreo mediante el software am para un sistema GEMi CMD bombas” *Repository eafit* 2006.

YANER Diaz, "Metodología 5s de Gestión de la calidad." *Blogs/mtelcon* 13 may 2014.

"SISTEMA HIDRÁULICOS MONTADOS EN CAMIONES." AUTOTEC. (s.f.). Manual de operación Disponible en

MUNCIE POWER PRODUCTS," *conceptos básicos de los sistemas hidráulicos montados en camiones, Cuarta edición edición*. Obtenido de munciepower.com:

DYNAMOX “ Principales diferencia entre mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo” *Dynamox* 15 dic 2020.

“Indicadores de disponibilidad”<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/hydraulic-system-fmea-made-easy.-RENOVETEC>.".

ROJAS, M. E. “Plan de mantenimiento preventivo para un sistema hidráulico de la grúa telescópica Lorain ” *Repository eafit* 2010.

ANEXOS

Anexo A. Carta de conformidad de trabajo realizado.



COMERCIALIZADORA Y DISTRIBUIDORA LA OCTAVA LTDA
NIT: 900722170-7

Se permite certificar que:

El señor **HECTOR IVAN PINEDA CALDERON**, identificado con cédula de ciudadanía No. 1.049.645.584 de Tunja – Boyacá, realizo satisfactoriamente su pasantía de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomas sede de Tunja con el proyecto llamado "Modelo de Plan de Mantenimiento basado en metodología de análisis de modo falla y efecto (FMEA) para el sistema hidráulico de flota de grúas La Octava Ltda." en el periodo comprendido entre el 24 de septiembre de 2020 hasta el 10 de mayo de 2021

La presente se expide a solicitud del interesado a los once (11) días del mes de mayo de dos mil veintiuno 2021

Cordialmente,



IGNACIO ARCINIEGAS ECHEVERRY
Gerente General
PBX: 3902110

Cra. 8 No. 6 - 17 Esquina, Av. Comuneros - Bogotá, D.C
www.gruaslaoctava.com
contactenos@gruaslaoctava.com - servicioalcliente@gruaslaoctava.com
comercializadoraLaOctava@gmail.com

 **PBX: 3902110**

Anexo B. Conteo de fallas presentadas y registradas en la basa de datos de mantenimiento en el periodo de cuatro meses comprendidos desde enero hasta abril del presente año.

Fallas	UFY 482	TKD 163	TLN 167	WEQ 133	WGY 343
Total fallas	8	3	5	2	1
Mecanicas	5	1	0	1	0
Electricas	1	1	3	0	0
Carroceria-chasis	0	0	1	0	0
Hidraulicas	2	1	1	1	1

Fuente. Autor

WGY 345	WEQ 131	WCT221	WCT 229	WEP 743	WEP 136		total
2	4	1	1	2	5	0	34
1	2	0	1	1	3		15
0	0	0	0	0	0		5
0	0	1	0	0	0		2
1	2	0	0	1	2		12

Anexo B. (Continuación)

Anexo C. Especificaciones técnicas de componentes instalados en el sistema hidráulico.

ESPECIFICACIONES TECNICAS MANGUERAS Y CONECCIONES				TIPO DE MANGUERA	IDENTIFICACION POR COLOR	PRESION DE TRABAJO ENTRE
MANGUERAS DE PRESION		Codigo	G-NPR02-HI	Manguera de baja presion		0-300 Psi
Ubicación de la manguera		(Toma fuerza - Bomba - valvula)				
Rango de presion		Marca	JANSON	Manguera de mediana presion		300-1.500 Psi
Tamaño	1/2 Plg	Diametro interno	0.50	Manguera de alta presion		1.500- 3.000 Psi
Presion maxima de trabajo	3045 Psi	Diametro externo	0.80 Plg			
Radio de curvatura	3.54 Pg	Norma	SAE 100R17			
MANGUERAS DE RETORNO						
Ubicación de la manguera		(Bomba hidraulica -Valvula- winche)				
Rango de presion		Marca	JANSON			
Tamaño	3/4 Plg	Diametro interno	0,75 plg			
Presion maxima de trabajo	305 Psi	Diametro externo	1.26 plg			
Radio de curvatura	5.00 Pg	Norma	SAE 100R4			
MANGUERAS DE SUCCION						
Ubicación de la manguera		(Bomba hidraulica -valvulas- Cilindros accionadores)				
Tipo de manguera		Marca	JANSON			
Tamaño	1 Plg	Diametro interno	1.00 plg			
Presion maxima de trabajo	2001 Psi	Diametro externo	1.44 plg			
Radio de curvatura	5.98 Pg	Norma	SAE 100R16			

Fuente. Autor

ESPECIFICACIONES TECNICAS MANGUERAS Y CONECCIONES				TIPO DE MANGUERA	IDENTIFICACION POR COLOR	PRESION DE TRABAJO ENTRE
MANGUERAS DE PRESION		Codigo	G-NKR02-HI	Manguera de baja presion		0-300 Psi
Ubicación de las manguera		(Toma fuerza - Bomba - valvula)		Manguera de mediana presion		300-1.500 Psi
Rango de presion		Marca	JANSON	Manguera de alta presion		1.500- 3.000 Psi
Tamaño	1/2 Plg	Diametro Interno	0.50			
Presion maxima de trabajo	3045 Psi	Diametro externo	0.80 Plg			
Radio de curvatura	3.54 Pg	Norma	SAE 100R17			
MANGUERAS DE RETORNO						
Ubicación de las manguera		(Bomba hidraulica -Valvula-winche)				
Rango de presion		Marca	JANSON			
Tamaño	3/4 Plg	Diametro interno	0,75 plg			
Presion maxima de trabajo	305 Psi	Diametro externo	1.26 plg			
Radio de curvatura	5.00 Pg	Norma	SAE 100R4			
MANGUERAS DE SUCCION						
Ubicación de las manguera		(Bomba hidraulica -valvulas- Cilindros accionadores)				
Tipo de manguera		Marca	JANSON			
Tamaño	1 Plg	Diametro interno	1.00 plg			
Presion maxima de trabajo	2001 Psi	Diametro externo	1.44 plg			
Radio de curvatura	5.98 Pg	Norma	SAE 100R16			

Anexo C. (Continuación)

ESPECIFICACIONES TECNICAS FILTROS HIDRAULICOS				TIPO DE MANGUERA	IDENTIFICACION	PRESION DE TRABAJO ENTRE
Tipo de grua	NPR	Codigo	G-NPR01-HI-Fo	Manguera de baja presion		0 - 291 Psi
Tipo de filtro	Filtro Enroscable	Marca	DONALDSON			
Presion de regimen maxima	150 Psi	Rango de presion		Manguera de mediana presion		291 - 1885 Psi
Rango de flujo	30 Gpm			Manguera dealta presion		1885 - 6527 Psi

ESPECIFICACIONES TECNICAS TANQUE DE FLUIDO HIDRAULICO			
TIPO DE GRUA		NKR	
Material estructural del tanque	Acero	Capacidad del tanque (GL)	35
Dimensiones	18,25 largo x 20" ancho x 22-2 alto		

ESPECIFICACIONES TECNICAS TANQUE DE FLUIDO HIDRAULICO			
TIPO DE GRUA		NPR	
Material estructural del tanque	Aliminio	Capacidad del tanque (GL)	50
Dimensiones	24" de diametro x 27" largo		

Anexo C. (Continuación)

Anexo D. Seguimiento de paros de operación.

SEGUIMIENTO DE PAROS DE OPERACIÓN									
MES	PLACA GRUA	Nº. DE PARADAS POR AVERIA	TIEMPO PROMEDIO DE PARADAS (Min)	HORAS	MES	PLACA GRUA	Nº. DE PARADAS POR AVERIA	TIEMPO PROMEDIO DE PARADAS (Min)	HORAS
ENERO	UFY 482	2	800	13,3	FEBRERO	UFY 482	0	0	0
	TDK 163	0	0	0		TDK 163	1	60	1
	TLN 167	1	120	2		TLN 167	1	160	2,667
	WEQ 133	1	260	4		WEQ 133	0	0	0
	WGY 343	1	0	0		WGY 343	0	0	0
	WGY 345	2	1000	16,66666667		WGY 345	1	130	2,166666667
	WEQ 131	0	0	0		WEQ 131	2	120	2
	WCT 221	0	0	0		WCT 221	0	0	0
	WCT 229	0	0	0		WCT 229	0	0	0
	WEP 743	1	500	8,333333333		WEP 743	3	1150	19,16666667
	WEP 136	1	400	6,666666667		WEP 136	2	300	5
TOTAL HORAS			3080	51,3	TOTAL HORAS			1920	32,0
MES	PLACA GRUA	Nº. DE PARADAS POR AVERIA	TIEMPO PROMEDIO DE PARADAS (Min)	HORAS	MES	PLACA GRUA	Nº. DE PARADAS POR AVERIA	TIEMPO PROMEDIO DE PARADAS (Min)	HORAS
MARZO	UFY 482	1	205	3,416666667	ABRIL	UFY 482	0	0	0
	TDK 163	1	220	3,666666667		TDK 163	2	250	4,166666667
	TLN 167	1	60	1		TLN 167	2	120	2
	WEQ 133	0	0	0		WEQ 133	1	60	1
	WGY 343	0	0	0		WGY 343	1	60	1
	WGY 345	1	120	2		WGY 345	0	0	0
	WEQ 131	1	60	1		WEQ 131	1	1750	29,16666667
	WCT 221	0	0	0		WCT 221	0	0	0
	WCT 229	0	0	0		WCT 229	0	0	0
	WEP 743	0	0	0		WEP 743	0	0	0
	WEP 136	3	420	7		WEP 136	0	0	0
TOTAL HORAS			1085	18,1	TOTAL HORAS			2240	37,3

Fuente. Autor

Anexo E. Seguimiento MTBF Y MTTR de la flota.

MTBF DE LA FLOTA EL MES DE ENERO												
PLACA GRUA.	UFY 482	TDK 163	TLN 167	WVEQ 133	WGY 343	WGY 345	WVEQ 131	WVCT 221	WVCT 229	WVEP 743	WVEP 136	TOTAL
Tiempo total de operacion (Horas)	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	2.860
Tiempo promedio de paradas (Horas)	13	0	2	3	0	16	0	0	0	8	6	48
# de paradas por averia	2	0	1	1	1	2	0	0	0	1	0	8
(Tiempo disponible - Tiempo promedio de paradas)	247	260	258	257	260	244	260	260	260	252	254	2.812
MTBF (minutos)	33											
MTTR (minutos)	6,00	DISPONIBILIDAD										84%
MTBF DE LA FLOTA EL MES DE FEBRERO												
PLACA GRUA.	UFY 482	TDK 163	TLN 167	WVEQ 133	WGY 343	WGY 345	WVEQ 131	WVCT 221	WVCT 229	WVEP 743	WVEP 136	TOTAL
Tiempo disponible (Horas)	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	2640
Tiempo promedio de paradas (Min)	0	1	3	0	0	2	2	0	0	19	5	32
# de paradas por averia	0	1	1	0	0	1	2	0	0	3	2	10
(Tiempo disponible - Tiempo promedio de paradas)	240	239	259,75	240	240	238	238	240	240	2,31	235	2412,06
MTBF (Horas)	24											
MTTR (Horas)	3,20	DISPONIBILIDAD										88%
MTBF DE LA FLOTA EL MES DE MARZO												
PLACA GRUA.	UFY 482	TDK 163	TLN 167	WVEQ 133	WGY 343	WGY 345	WVEQ 131	WVCT 221	WVCT 229	WVEP 743	WVEP 136	TOTAL
Tiempo disponible (Horas)	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	2970
Tiempo promedio de paradas	8	4	4	0	0	3	6	0	0	0	7	32
# de paradas por averia	2	1	1	0	0	1	1	0	0	0	2	8
(Tiempo disponible - Tiempo promedio de paradas)	262	266	266	270	270	267	264	270	270	270	263	2938
MTBF (Horas)	34											
MTTR (Horas)	4	DISPONIBILIDAD										89%
MTBF DE LA FLOTA EL MES DE ABRIL												
PLACA GRUA.	UFY 482	TDK 163	TLN 167	WVEQ 133	WGY 343	WGY 345	WVEQ 131	WVCT 221	WVCT 229	WVEP 743	WVEP 136	TOTAL
Tiempo disponible (Horas)	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	2860
Tiempo promedio de paradas	0	4	2	1	1	0	29	0	0	0	0	37
# de paradas por averia	0	2	2	1	1	0	1	0	0	0	0	7
(Tiempo disponible - Tiempo promedio de paradas)	260	256	258	259	259	260	231	260	260	260	260	2823
MTBF (Horas)	37											
MTTR (Horas)	5,3	DISPONIBILIDAD										88%

Fuente. Autor

Anexo F. Seguimiento de mantenimientos a la flota de grúas primer periodo año 2021.

FECHA	PLACA	SISTEMA O SUBSISTEMA	TIPO DE MANTENIMIENTO	COSTO	ESTATUS
10/01/2021	UFY 482	Bateria	Mantenimiento correctivo	\$160.000,00	Hecho
2/01/2020	TLN 167	correas de transmision	Mantenimiento correctivo	\$500.000,00	Hecho
3/01/2020	WGY 343	Suspension	Mantenimiento preventivo	\$100.000,00	Hecho
4/01/2018	TDK 163	correas de transmision	Mantenimiento preventivo	N/A	Hecho
5/03/2018	WGY 345	Caja	Mantenimiento preventivo	\$100.000,00	Hecho
6/04/2018	TLN 167	Electrico	Mantenimiento preventivo	\$150.000,00	Hecho
12/01/2021	WEP 136	Hidraulico	Mantenimiento correctivo	\$650.000,00	Hecho
13/01/2021	TLN 167	Frenos	Mantenimiento correctivo	N/A	No Hecho
14/01/2021	WEQ 133	Electrico	Mantenimiento preventivo	\$100.000,00	Hecho
15/01/2021	WEQ 133	Otros	Mantenimiento predictivo	N/A	Hecho
16/01/2021	WEQ 133	Hidraulico	Mantenimiento preventivo	\$120.000,00	Hecho
16/01/2021	WGY 345	Hidraulico	Mantenimiento preventivo	\$120.000,00	Hecho
16/01/2021	WEQ 131	Hidraulico	Mantenimiento predictivo	\$120.000,00	Hecho
17/01/2021	WEP 743	Hidraulico	Mantenimiento predictivo	N/A	Hecho
18/01/2021	TLN 167	Caja	Mantenimiento predictivo	\$258.000,00	Hecho
22/01/2021	WEQ 133	Otros	Mantenimiento correctivo	N/A	Hecho
23/01/2021	TDK 163	Suspension	Mantenimiento correctivo	\$95.000,00	Hecho
24/01/2021	TDK 163	Hidraulico	Mantenimiento correctivo	\$315.000,00	Hecho
25/01/2021	TLN 167	Otros	Mantenimiento correctivo	N/A	Hecho
26/01/2021	WEP 743	Hidraulico	Mantenimiento correctivo	\$54.000,00	Hecho
27/01/2021	UFY 482	Caja	Mantenimiento correctivo	N/A	Hecho
28/01/2021	WGY 345	Otros	Mantenimiento preventivo	N/A	Hecho
29/01/2021	WGT 345	Electrico	Mantenimiento correctivo	\$35.000,00	Hecho
29/01/2021	TLN 167	Hidraulico	Mantenimiento preventivo	\$120.000,00	Hecho
31/01/2021	UFY 482	Motor	Mantenimiento preventivo	N/A	Hecho
15/02/2021	WEP 136	Hidraulico	Mantenimiento correctivo	\$168.000,00	Hecho
24/03/2021	WEP 136	Hidraulico	Mantenimiento correctivo	\$650.000,00	Hecho

Fuente. (Base de datos grupo empresarial)

