

**ANÁLISIS ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS LIVIANOS DE  
CONSTRUCCIÓN PARA LA EMPRESA ACOMEQ INGENIERÍA S.A.S.**

Alfred Beken Bauer Diaz Contenido - Código 124277

Daniel Felipe Vargas Vélez - Código 121506

Carlos Eduardo Villanueva Trujillo - Código 121189

Asesor:

Msc. Fred Giovanni Murillo Rondón

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Dirección de Posgrados

Universidad ECCI

Bogotá D.C. Febrero 22 de 2023

**ANÁLISIS ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS LIVIANOS DE  
CONSTRUCCIÓN PARA LA EMPRESA ACOMEQ INGENIERÍA S.A.S.**

Alfred Beken Bauer Diaz Contenido - Código 124277

Daniel Felipe Vargas Vélez - Código 121506

Carlos Eduardo Villanueva Trujillo - Código 121189

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Especialista En Gerencia De  
Mantenimiento.

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Dirección de Posgrados

Universidad ECCI

Bogotá D.C. Febrero 22 de 2023

## DEDICATORIA

Inicialmente dedico este logro a Dios, doy gracias a él por permitirme la oportunidad de adelantar este proyecto como una meta de mi formación personal y profesional, a mi madre y hermanas por darme apoyo en los momentos más difíciles de esta etapa de estudios, a mi prometida Luz Stella, por ser una persona amorosa, constante y paciente, la cual me apoyo en todos los instantes de esta etapa, desde sus inicios hasta la exitosa culminación de mi proyecto, (Gracias Amor mío), finalmente a mis compañeros y amigos Daniel y Carlos por su ayuda y esfuerzo en pro de fortalecer con entendimiento y experiencias de vida mis conocimientos en mantenimiento.

Alfred Diaz

Le dedico este trabajo de investigación a mi familia quienes fueron inspiradores para continuar con este objetivo, a mis compañeros Alfred y Carlos quienes fueron parte fundamental para la finalización de este trabajo

Daniel Vargas

A mi amada esposa, quien me acompañó en cada momento de todo este proceso, que con su amor y paciencia me apoyó y motivó a seguir adelante; A mi madre, quien me inspira en todos los aspectos de la vida a no rendirme y luchar por mis ideales; A mis hijos Juan José y Melanie, son mi motivación para no desfallecer, A mi padre, que esperó desde la eternidad se sienta orgulloso; A mis colegas Alfred y Daniel, artífices de este proyecto.

Carlos Villanueva

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera especial y sincera a todos los docentes de la especialización en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI por contribuir al enriquecimiento de nuestros conocimientos en el extenso tema de la gerencia y administración de recursos relacionados con el mantenimiento, la dirección de personas, la formación de habilidades blandas y preparación temática para poder asumir los nuevos retos que esto demanda en el desarrollo y evolución constante de las actividades de mantenimiento como forma de crecimiento profesional para cada uno de nosotros.

Agradecemos de manera especial a la Empresa Acomeq Ingeniería S.A.S. por su total disposición para permitir el desarrollo de esta propuesta y brindarnos toda la confianza dentro de la organización, en especial al Ing. Oscar Sánchez como Gerente General y al Ing. Fabio Chinome como Director de Mantenimiento.

De igual manera agradecemos al Docente Fred Giovanni Murillo Rondón por contribuir con sus conocimientos en el asesoramiento del grupo para realizar trabajo de grado bajo su dirección, su apoyo, confianza, y dinamismo, además de contribuir en nuestra formación como investigadores.

## **Resumen**

El presente proyecto investigativo pretende llevar a cabo un análisis estratégico de mantenimiento para los equipos livianos de construcción de la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S., por medio de este se determina cual es la estrategia de mantenimiento más adecuada a las necesidades de Acomeq Ingeniería S.A.S., de tal forma que se logre optimizar las operaciones, establecer la estrategia adecuada y plantear la propuesta de implementación.

Dentro del proyecto, se inicia realizando un diagnóstico de la situación actual tanto de sus procesos y de sus activos, posteriormente, se definen los objetivos y delimitación establecidos por la empresa para poder determinar y calificar a las diferentes estrategias, para luego escoger algunas de las estrategias de mantenimiento más reconocidas, con el fin de realizar la ponderación y evaluación de los criterios determinados anteriormente para poder encontrar la estrategia adecuada.

Luego de encontrar la estrategia de mantenimiento adecuada para la empresa, se plantean los pasos para que Acomeq Ingeniería S.A.S., pueda realizar una futura implementación, adicional a ello se establecen indicadores y medidas para que la empresa pueda crear planes de acción y mejora continua a la estrategia, con el fin de que se logren los objetivos y cumpla con las necesidades y mejore la disponibilidad y fiabilidad de los activos de Acomeq Ingeniería S.A.S.

**Palabras clave:** Mantenimiento, Basado en condición, Equipos livianos de construcción, Estrategia de mantenimiento, MBC, Disponibilidad, Obras Civiles, Confiabilidad, Costos, Indicadores de seguimiento, MTBF, Chequeos preoperacionales, Activos.

## Abstract

This research project intends to carry out a strategic analysis of maintenance for the light construction equipment of the company Acomeq Ingenieria S.A.S., through this it is determined which is the most appropriate maintenance strategy for the needs of Acomeq Ingenieria S.A.S., in such so that it is possible to optimize operations, establish the appropriate strategy and propose the implementation activities.

Within the project, it begins with a diagnosis of the current situation of both its processes and its assets, later, the objectives, limitations and scope desired by the company are defined in order to determine and qualify the different strategies, and then choose some of the most recognized maintenance strategies, in order to carry out the weighting and evaluation of the previously determined criteria in order to find the appropriate strategy.

After finding the appropriate maintenance strategy for the company, the steps are proposed so that Acomeq Ingenieria S.A.S. can carry out a future implementation, in addition to this, indicators and measures are established so that the company can create action plans and continuous improvement to the strategy, in order to achieve the objectives and meet the needs and improve the availability and reliability of the assets of Acomeq Ingenieria S.A.S.

**Keywords:** Maintenance, Condition base, Construction light equipment, Maintenance strategy, CBM, Availability, Civil engineering, Reliability, Costs, Indicators, MTBF, Preoperational inspections, Assets.

## Tabla de Contenidos

1. Título del Proyecto	16
2. Problema de Investigación	17
2.1 Descripción del Problema	17
2.2 Pregunta de investigación	18
3. Objetivos	19
3.1 Objetivo General	19
3.2 Objetivos Específicos	19
4. Justificación y descripción empresa caso de estudio	20
4.1 Justificación	20
4.2 Descripción de la empresa caso del estudio	21
5. Estado del Arte.	24
5.1 Nacionales	24
5.1.1 “Propuesta de Implementación de un Modelo de Mantenimiento Basado en Condición para Equipos de Aire Acondicionado en Sucursales Bancarias de Norte de Santander”.	24
5.1.2 “Desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento planificado para las máquinas de la empresa Manrique losada y compañía S.A.S”	25



5.1.3 “Elaboración del plan de mantenimiento basado en condición para la flota vehicular de mezcladoras de concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados.”	27
5.2 Internacionales	28
5.2.1 “Propuesta del plan de mantenimiento en el taller de maquinaria pesada de la Empresa Minera Castor, Ancash 2020”	28
5.2.2 “Plan de un servicio post-venta para maquinaria liviana en el sector de la construcción, Cuenca - Ecuador, 2018.”	29
5.2.3 “Propuesta de un programa de mantenimiento basado en condición para mejorar la disponibilidad de la flota de equipos de la empresa RD RENTAL – Sede norte ”	31
6. Marco Teórico	33
6.1 Planeación estratégica	33
6.2 Estrategias de mantenimiento	34
6.3 Estrategias de mantenimiento aplicables a maquinaria liviana de construcción	35
6.3.1 Mantenimiento Correctivo.	35
6.3.2. Mantenimiento preventivo	36
6.3.3. Mantenimiento Predictivo	37
6.3.4 Mantenimiento basado en condición	38
6.4 Confiabilidad	41
6.5 Disponibilidad	43

	10
6.6 Mantenimiento en maquinaria liviana de construcción a nivel de pequeña y mediana industria.	44
6.6.1 Industria de la Construcción	44
6.6.2 Maquinaria liviana	45
7. Marco Normativo	47
7.1 Norma ISO 55000	47
7.2 Norma ISO 14224	48
7.3 Norma ISO 17359	48
8. Marco metodológico de la investigación	50
8.1. Enfoque de Investigación	50
8.2 Tipos de Investigación	50
8.3 Fuentes información	52
8.3.1 Fuentes Primarias	52
8.3.2 Fuentes Secundarias	53
8.4 Análisis metodológico de objetivos	53
8.5 Análisis de metodologías a emplear para selección de estrategia de mantenimiento	55
9. Resultados y propuesta de solución	58
9.1 Identificación y diagnóstico inicial de los equipos	58
9.1.1 Identificación de equipos livianos de construcción, diagnóstico inicial y clasificación	58

	11
9.1.1.1 Diagnóstico por Tipo de Equipos.	60
9.1.1.2 Manuales del fabricante de los equipos.	64
9.1.1.3 Gráfica estado de equipos.	65
9.1.1.4 Clasificación ABC para los equipos livianos de construcción de Acomeq Ingeniería S.A.S.	66
9.1.1.5 Sondeo de Diagnóstico Estrategias de Mantenimiento al Personal Operativo de Equipos Livianos de Construcción en ACOMÉQ Ingeniería	69
9.1.1.6 Resumen del Sondeo de diagnóstico Estrategias de Mantenimiento al Personal Operativo de Equipos livianos de Construcción en ACOMÉQ Ingeniería S.A.S.	74
9.2 Evaluación y Selección de la Estrategia de Mantenimiento	75
9.2.1 Matriz de Valoración de Parámetros de Selección Estrategia de Mantenimiento	79
9.2.2 Matriz de Evaluación para Elección de Estrategia de Mantenimiento Adecuada para Equipos Livianos de Construcción	80
9.3 Propuesta de implementación del sistema de mantenimiento basado en condición	83
9.3.1 Análisis y propuesta de política de mantenimiento Acomeq Ingeniería S.A.S.	83
9.3.2 Caracterización del área de mantenimiento para Acomeq ingeniería S.A.S.	86
9.3.3 Desarrollo del Procedimiento de Mantenimiento para Equipos de Construcción Livianos Acomeq Ingeniería S.A.S.	88

	12
9.3.3.1 Diagrama de Flujo Proceso Mantenimiento Basado en Condición.	88
9.3.3.2 Diagrama de Flujo Proceso Chequeo preoperacional Equipos.	90
9.3.3.3 Implementación formatos LILA.	92
9.3.3.4 Indicadores de medición para mantenimiento equipos de construcción livianos Acomeq Ingeniería S.A.S.	94
9.4. Análisis Costo Beneficio Proyecto Implementación estrategia de mantenimiento para Acomeq Ingeniería S.A.S.	101
9.4.1 Costos Propuesta implementación Proyecto	102
9.4.2 Costos de afectación por inactividad de equipos por proyecto.	102
9.4.3 Costos Repuestos Mínimos Realización Mantenimiento Basado en Condición Equipos Acomeq Ingeniería S.A.S.	104
9.4.3.1 Presupuesto de adquisición de refacciones mínimas recomendadas para los equipos livianos de construcción Acomeq Ingeniería S.A.S.	105
9.4.3.2 Análisis de criticidad de refacciones mínimas para los equipos livianos de construcción Acomeq Ingeniería S.A.S.	107
9.4.4 Resultado ejercicio Análisis de costo beneficio	111
10. Conclusiones y Recomendaciones	113
10.1 Conclusiones	113
10.2 Recomendaciones	114
11. Lista de referencias	115

## Tabla de figuras

Figura 1. Ubicación Acomeq Ingeniería S.A.S.....	22
Figura 2. Modelo de Steiner para planeación estratégica .....	34
Figura 3. Evolución variable de monitoreo.....	40
Figura 4. Representación de la función general de fallo.....	42
Figura 5. Formula tiempo medio entre fallas.....	42
Figura 6. Formula tiempo medio entre reparaciones. ....	43
Figura 7. Fórmula para el cálculo de disponibilidad.....	44
Figura 8. Diagnóstico mezcladora Acomeq Ingeniería S.A.S. ....	60
Figura 9. Diagnóstico pulverizador Acomeq Ingeniería S.A.S. ....	61
Figura 10. Diagnóstico taladros Acomeq Ingeniería S.A.S. ....	61
Figura 11. Diagnóstico pulidoras Acomeq Ingeniería S.A.S.....	62
Figura 12. Diagnóstico sierras circulares Acomeq Ingeniería S.A.S.....	62
Figura 13. Diagnóstico lijadora de banda Acomeq Ingeniería S.A.S. ....	63
Figura 14. Diagnóstico esmeril de banco Acomeq Ingeniería S.A.S.....	63
Figura 15. Banco de manuales digitales equipos livianos de construcción Acomeq Ingeniería S.A.S. ....	64
Figura 16. Gráficas de estado de equipos por operatividad. ....	66
Figura 17. Histograma de Pareto .....	68
Figura 18. Sondeo de diagnóstico estrategias de mantenimiento Pagina 1 .....	70
Figura 19. Sondeo diagnóstico estrategias de mantenimiento Pagina 2 .....	71

Figura 20. Gráficas resultado del sondeo.....	73
Figura 21. Terminología del mantenimiento .....	76
Figura 22. Caracterización proceso de mantenimiento Acomeq Ingeniería S.A.S.....	87
Figura 23. Diagrama de flujo proceso de Mantenimiento Basado en Condición Acomeq Ingeniería S.A.S. ....	89
Figura 24. Diagrama de flujo proceso chequeo pre operacional Acomeq Ingeniería S.A.S. ....	91
Figura 25. Formato LILA checklist propuesto para equipo taladro demoledor. ....	93
Figura 26. Fórmula para el cálculo de disponibilidad.....	94
Figura 27. Formula confiabilidad .....	95
Figura 28. Formula tiempo medio entre fallas.....	96
Figura 29. Fórmula CPTT.....	97
Figura 30. Fórmula costo del mantenimiento / valor reposición .....	98
Figura 31. Fórmula rotación de inventarios .....	99
Figura 32. Matriz propuesta de indicadores.....	100
Figura 33. Presupuesto individual por equipos.....	106
Figura 34. Codificación PRCV para priorización de refacciones.....	109
Figura 35. Fórmula retorno de la inversión ROI.....	111

### **Lista de Tablas**

Tabla 1. Análisis metodológico objetivos	56
Tabla 2. Inventario de equipos livianos para construcción utilizados en Acomeq Ingeniería S.A.S.	59
Tabla 3. Cuadro de estado de equipos por operatividad	65
Tabla 4. Matriz de evaluación de criticidad	67
Tabla 5. Tabulación de resultados del sondeo	71
Tabla 6. Matriz de calificación de parámetros dentro de criterios para selección de estrategia de mantenimiento	78
Tabla 7. Matriz de calificación de estrategias de mantenimiento Vs. parámetros de control equipos	79
Tabla 8. Costos de propuesta de implementación proyecto	99
Tabla 9. Costos anuales por retrasos.	100
Tabla 10. Reducción de costos estimados con la estrategia de mantenimiento.	100
Tabla 11. Presupuesto general de refacciones	103
Tabla 12. Definición categorías por valor de inventario	105
Tabla 13. Definición intervalos criticidad por costo alquiler de inoperatividad	105
Tabla 14. Costos unitarios de alquiler de equipos por día	105
Tabla 15. Resultado aplicación PRCV	107

## **1. Título del Proyecto**

El título del proyecto que se describe a continuación es:

“Análisis estratégico de mantenimiento para equipos livianos de construcción para la empresa Acomeq ingeniería S.A.S.”



## **2. Problema de Investigación**

### **2.1 Descripción del Problema**

En la industria de la construcción a pequeña y mediana escala, existen compañías especializadas en brindar servicios de alquiler de maquinaria y equipo, las cuales contribuyen a la solución de problemas de carácter técnico y logístico a la hora de realizar un proyecto de obra, dentro de esta industria, existe de manera informal el manejo de maquinaria y equipo en términos de mantenimiento, evidenciando una cultura con tendencia a realizar reparaciones de emergencia.

Debido a lo anterior en dicha industria es muy frecuente que los equipos presenten fallas continuas, desencadenando la insatisfacción del cliente, altos costos de reparación y la indisponibilidad de los equipos, generando como consecuencia retrasos en los proyectos de construcción.

Dentro de las pequeñas industrias de la construcción y otros oficios se encuentra la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S, compañía con más de 20 años dedicada al suministro e instalación de sistemas de energías limpias, energías renovables, desarrollo de zonas húmedas como saunas, turcos, jacuzzis, piscinas, cuerpos de agua y duchas especiales; compañía la cual dentro de sus oficios y quehaceres requiere frecuentemente de equipos livianos de construcción, para poder ejecutar las adecuaciones físicas, instalación de los dispositivos y los acabados de las obras contratadas a la compañía; sin embargo Acomeq Ingeniería S.A.S., no es ajena a la problemática expuesta y debido a ello presenta problemas organizacionales, y uno de los principales factores es

su proceso de mantenimiento de equipos, el cual se realiza de manera deficiente, centrándose solamente en corregir los fallos que generan parada de equipo, a causa de la ausencia de una política de mantenimiento.

## **2.2 Pregunta de investigación**

De acuerdo a lo descrito anteriormente se genera la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la estrategia de mantenimiento idónea para minimizar los costos de mantenimiento, maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos livianos de construcción para la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S.?

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Analizar y seleccionar la estrategia de mantenimiento con el fin de maximizar la disponibilidad y confiabilidad de equipos livianos de construcción para la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Identificar las necesidades puntuales en términos de mantenimiento de equipos livianos de construcción de la empresa en el corto plazo, a través de un levantamiento de información y análisis de criticidad ABC, con el fin de obtener un diagnóstico general de los mismos.
- Evaluar las diferentes estrategias de mantenimiento y seleccionar la más adecuada, a través del análisis matricial, que maximice la disponibilidad, confiabilidad de los equipos y que se minimicen los costos de mantenimiento.
- Generar la propuesta de implementación de la estrategia de mantenimiento seleccionada, por medio de un procedimiento documentado, con el propósito de que la empresa tenga los lineamientos para una futura aplicación.

## **4. Justificación y descripción empresa caso de estudio**

### **4.1 Justificación**

Dentro de la industria de la construcción a mediana escala, se ha observado una falencia en términos de la gestión de mantenimiento de maquinaria y equipo, debido a lo anterior se evidencian malas prácticas y actividades de mantenimiento o incluso la total inexistencia de ellas; debido a estas malas prácticas se ve afectado el cliente final al retrasar sus obras y por ende genera inconformidad e insatisfacción, de igual manera las fallas causan indisponibilidad de los equipos, y adicional a ello genera altos costos de reparación.

Acomeq Ingeniería S.A.S., se constituye como “empresa dedicada al suministro e instalación de sistemas de energías limpias, energías renovables, uso racional de energía, llave en mano en el desarrollo de zonas húmedas como saunas, turcos, jacuzzis, piscinas, cuerpos de agua y duchas especiales” (Acomeq Ingeniería, 2022), compañía la cual dentro de sus trabajos utiliza los equipos livianos de construcción, por lo tanto esta no es ajena a esta problemática, y como resultado se observan ineficiencias como indisponibilidad de los equipos, baja confiabilidad, altos costos de reparación y retrasos en los tiempos de entrega de los trabajos que requieren la utilización de los mismos como complemento de las actividades de instalación, lo que también a su vez está conllevando a la disminución de competitividad y pérdida de mercado.

Es por ello que se encuentra en esta industria y específicamente en esta empresa, una gran oportunidad para encontrar y proponer la estrategia de mantenimiento adecuada para ella, y en concordancia con sus necesidades actuales.

Con una estrategia de mantenimiento adecuada, la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S. puede llegar a tener unos procesos más eficientes, y como principales resultados aumentar la disponibilidad, aumentar la confiabilidad, minimizar costos y optimizar sus tiempos de entrega de trabajos relacionados con el uso de los equipos en cuestión.

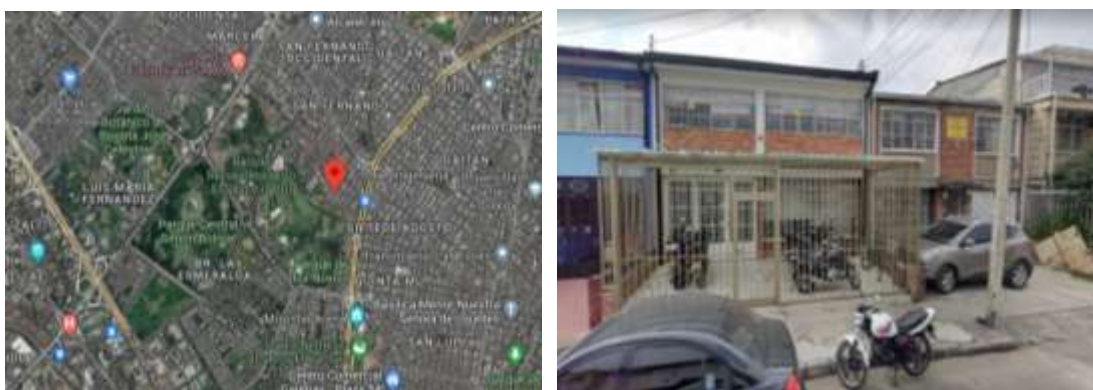
Por medio del desarrollo de esta investigación se espera poder realizar el análisis de algunas de las estrategias de mantenimiento más relevantes, y de allí proponer el punto de partida y procedimientos a seguir para llevar a cabo dicha estrategia, proporcionando herramientas útiles de medición de resultados (Indicadores de seguimiento en tablas de Excel formuladas).

Como resultado también tendremos una base para la industria de la construcción a pequeña y mediana escala, mediante el cual se pueden establecer actividades que contribuyan a la mejora de la cultura organizacional en términos de mantenimiento y para la industria sería conocimiento nuevo por medio de la articulación de dichas estrategias, las cuales proporcionan un contexto real del estado de las capacidades de mantenimiento a nivel de esta industria en su pequeño y mediana escala, de la misma manera contribuirá al desarrollo y posicionamiento de Acomeq Ingeniería S.A.S., como empresa que incorpora dentro de sus prácticas de ejecución de tareas el uso funcional de equipo liviano para la construcción, si la empresa decide acoger nuestra recomendaciones y utilizar la estrategia propuesta.

#### **4.2 Descripción de la empresa caso del estudio**

Acomeq Ingeniería S.A.S. es una empresa fundada en el año 2000 establecida en la ciudad de Bogotá, en la Carrera 51 # 64A - 69 (ver Figura 1), con el fin de ofrecer soluciones ingenieriles

enfocadas a la generación de energía, con énfasis en la eficiencia energética, posterior a ello la empresa decide expandir su campo de acción, desde el punto de vista de la generación de energía, por lo cual se decide a incluir la venta, instalación y comisionamiento, de equipos para la generación eficiente de vapor de alta y baja presión, equipos para el calentamiento de agua para piscinas y aguas sanitarias, de allí nace nuestra línea de bienestar.



*Figura 1. Ubicación Acomeq Ingeniería S.A.S. (Google, 2022).*

Con la línea de bienestar se genera una necesidad interna para poder cubrir los requerimientos del cliente, en donde se identifica la oportunidad para poder ejecutar las labores civiles y adecuaciones para el montaje de Piscinas, Saunas Jacuzzi entre otros; con la experiencia que se logró recopilar en las ejecuciones civiles, sobre el año 2009 se da la apertura de la nueva línea de negocio enfocada en arquitectura y obras civiles, en donde se incursiona en la elaboración de diseños arquitectónicos/civiles, y posterior ejecución de las mismas.

Por último y derivado de las anteriores líneas de negocio, se crean las dos y más recientes áreas de negocios en Acomeq Ingeniería S.A.S., en donde la primera línea se dedica a los servicios de mantenimiento postventa de los equipos de generación de energía, vapor y calentamiento de

agua; la última línea de negocio de Acomeq Ingeniería S.A.S., está asociada a la ejecución de asesorías técnicas e interventorías en temas de equipos y montajes de equipos de generación de energía.

Cabe aclarar que la información anterior fue suministrada de manera verbal por personal directivo de Acomeq Ingeniería S.A.S., para el desarrollo de esta propuesta.

De acuerdo a lo anterior y puntualmente, se evidencia que en la línea de negocio de arquitectura y obras civiles, la empresa no cuenta con ninguna gestión de mantenimiento para su maquinaria y equipo liviano de construcción, a pesar que se encuentran diferentes equipos destinados a prestar apoyo en dichas tareas, para lo cual en dicho proyecto se pretende identificar una estrategia adecuada para ejecutar las labores de mantenimiento a los equipos de esta línea de negocio, y que a su vez esto desencadene en una mejora significativa en el funcionamiento de los equipos y confiabilidad de los mismos; posteriormente a la identificación de la estrategia, se pretende dar unos lineamientos a la empresa para un futuro uso y su implementación.

## **5. Estado del Arte.**

### **5.1 Nacionales**

#### ***5.1.1 “Propuesta de Implementación de un Modelo de Mantenimiento Basado en Condición para Equipos de Aire Acondicionado en Sucursales Bancarias de Norte de Santander”.***

En el año 2018 los Ingenieros Rincón y Rojas, realizaron una monografía con el fin de realizar una propuesta para la implementación de un modelo de mantenimiento basado en condición para los equipos de aire acondicionado de una entidad bancaria en el departamento de Norte de Santander en Colombia, en dicho trabajo investigativo se realizó un análisis en cada uno de los equipos de aire acondicionado, con el fin de determinar la condición del equipo y monitorear su funcionamiento, es decir realizar un mantenimiento basado en condición; en este caso se planteó realizar mediciones periódicas (mensuales), para analizar el consumo actual de energía y comparar bajo los estándares teóricos del equipo, y determinar la condición del equipo y plantear unas acciones correctivas en caso que sea necesario, por ejemplo si el equipo presenta desviaciones en un rango (porcentaje) moderado, se podría presupuestar mediciones más frecuente con el fin de monitorear el estado hasta el punto de no llevar a falla el equipo, si la condición o rango de falla incrementa, la idea es poder plantear acciones correctivas para ajustar el equipo y regresarlo a condición base de trabajo con el fin de evitar la indisponibilidad; por lo tanto se tomara este trabajo investigativo como referencia con el fin de poder identificar aquellas estrategias y metodologías utilizadas para poder aterrizar un modelo de mantenimiento basado en condición, y como dicho



modelo puede llegar a servir para el modelo de negocio de equipos de renta para pequeñas y medianas construcciones.

### ***5.1.2 “Desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento planificado para las máquinas de la empresa Manrique Losada y compañía S.A.S”***

En el año 2017 el Ingeniero Eduard Gutiérrez Sabogal propuso el desarrollo de la implementación de un plan de mantenimiento planificado para las máquinas que componen los activos de la empresa Manrique Losada y Compañía S.A.S. que tiene como objeto de negocio la realización de obras civiles en el departamento del Huila, con sede en la ciudad de Neiva, el cual tiene como propósito identificar las falencias de mantenimiento de los equipos asociados a la empresa y ejecutar la implementación propuesta inicialmente por medio de un levantamiento de los equipos utilizados en las obras civiles de la empresa incluyendo técnicas de identificación y codificación de los mismo, tanto pesados como livianos, para luego realizar un análisis de criticidad en un lapso de tres meses, logrando identificar los activos que representan inconvenientes técnicos para lograr el objetivo de negocio de la compañía de manera crítica y además clasifica los equipos catalogados como no críticos para su respectivo manejo dentro de una política de mantenimiento y adecuación de los mismos para generar un mejoramiento tanto en disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad por medio de un desarrollo estructurado del denominado plan de mantenimiento planificado, basado en técnicas de mantenimiento preventivo, la elaboración de procedimientos de inspección, ajuste / limpieza y lubricación, además de la evaluación y estudios de factibilidad de repuestos de acuerdo a lo analizado en la parte de criticidad

con sus respectivo costeo, y finalmente la concepción de indicadores de gestión universales para la medición de los factores anteriormente nombrados.

El Ingeniero Gutiérrez afirma que el éxito de esta implementación está en el manejo de un software que sea capaz de administrar el plan de mantenimiento y contribuya con la medición eficaz de los indicadores de gestión propuestos para los conceptos de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad, generando una mejora continua en la gestión de mantenimiento, además del control y el seguimiento del proceso de manera sistemática.

También estima conveniente adoptar una política de gestión ambiental y de seguridad y salud en el trabajo para el área de mantenimiento por medio del fortalecimiento de la evaluación de riesgos y peligros por medio de una matriz de riesgos y su respectivo procedimiento, estructurado a las acciones de mantenimiento, además del plan de gestión ambiental para realizar la recolección y disposición adecuada de residuos líquidos y sólidos generados de las actividades de mantenimiento de manera segura y que puedan minimizar la afectación que estos causan al medio ambiente.

Si bien este trabajo de investigación involucra el desarrollo e implementación del plan de mantenimiento dentro de una empresa que maneja equipos de construcción pesados también incluye ciertos equipos livianos, que son objeto de nuestra propuesta de investigación y que serán analizados para contribuir al desarrollo de la misma en la implementación de un plan de mantenimiento para este tipo de equipos livianos, siendo esto tema clave para las pautas a seguir como referencia dentro de la ejecución de este proyecto.

### ***5.1.3 “Elaboración del plan de mantenimiento basado en condición para la flota vehicular de mezcladoras de concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados.”***

En el 2015, los ingenieros Leonardo Andrés Gutiérrez Arismendy y Holman Bocanegra Galeano decidieron elaborar un plan de mantenimiento basado en condición enfocado en mejorar la efectividad de los activos vehiculares críticos de una empresa productora de concretos, morteros y derivados con su proyecto de grado de especialistas en gerencia de mantenimiento, cuyo objetivo era el de reducir las horas de parada no programadas, aumentar la productividad del sistema y bajar los costos asociados al mantenimiento. Para lograr su objetivo, los ingenieros Gutiérrez y Bocanegra en primer lugar realizaron un diagnóstico del estado de los activos y una recolección de información técnica. De igual manera, elaboraron un programa de análisis de los lubricantes para identificar los sistemas de alta criticidad. Este análisis fue la base para seleccionar la estrategia y las herramientas predictivas, y a partir de allí determinar los aspectos claves como procedimientos y frecuencia de inspección, puntos de medición, rutas de muestreo, actividades preventivas, etc. Una vez diseñado todo el programa, procedieron a ejecutarlo, y como principal resultado se obtuvo la identificación de diversos problemas que, de no ser corregidos a tiempo, pueden originar fallas que impactarían significativamente en la producción, seguridad y medio ambiente; esta implementación la tomaremos como referencia para identificar falencias similares de la compañía en la cual se centra esta investigación, así como para proponer su respectiva gestión del mantenimiento de los equipos livianos para construcción.

## **5.2 Internacionales**

### ***5.2.1 “Propuesta del plan de mantenimiento en el taller de maquinaria pesada de la Empresa Minera Castor, Ancash 2020”***

En 2020 el ingeniero Richard Aguilar, desarrolló una propuesta de un plan de mantenimiento para equipos o maquinaria pesada utilizada en una empresa de minería llamada Castor, en el corregimiento de Ancash (Perú), en dicho trabajo investigativo, el ingeniero genera un plan de mantenimiento de los equipos o maquinaria pesada basado en confiabilidad o RCM, en el cual inicia determinando las necesidades o requerimientos de la compañía desde varios puntos de vista, como funcionalidad, mantenimiento, seguridad, ergonomía y medio ambiente, todo ello con el fin de poder determinar la criticidad y establecer una clasificación para poder identificar a qué equipos debemos priorizar nuestros esfuerzos en términos del nuevo plan de mantenimiento, posterior a ello, realizaron el levantamiento de las recomendaciones para los equipos a analizar, así poder identificar o tener claro que mantenimientos y en qué momentos se deben hacer de manera preventiva para garantizar u obtener una confiabilidad en el funcionamiento de las mismas; por último en dicha labor investigativa se dictan algunos parámetros y guías organizacionales para que dicha compañía pueda acoplar esta propuesta de plan de mantenimiento basado en confiabilidad.

Esta labor investigativa, nos va a ser muy útil para poder tomar como referencia para la gestión comparativa entre los diferentes modelos que se analizaran, y en caso que se determine que este sea el modelo más adecuado, también se tomara como guía para poder comenzar a

construir en conjunto un modelo que se adapte a las necesidades de la industria de la renta de equipos para la construcción, adicional a ello se podrá validar si dichos procedimientos establecidos en el plan de mantenimiento son eficientes o si en su defecto, se puede generar alguna mejora en los procesos que se acoplen y mejoren de tal forma que puedan tener un impacto positivo en la gestión de mantenimiento y a su vez en la disponibilidad de los equipos.

### ***5.2.2 “Plan de un servicio post-venta para maquinaria liviana en el sector de la construcción, Cuenca - Ecuador, 2018.”***

A mediados del año 2018 los Ingenieros Nelson Arévalo Bustos y Fredy Pesantes Palomeque proponen la factibilidad de la implementación de la empresa SERVICE CUSTOM AJA S.A. que tiene como objeto de negocio el mantenimiento de maquinaria liviana de la construcción mediante el empleo de procesos, tareas, tiempos y costos para tres tipos de máquinas más utilizadas en la ciudad de cuenca, el autor indica que en esta ciudad se adelantan obras civiles con este tipo de maquinaria, pero se evidencia que la misma presenta deficiencias en el servicio de mantenimiento debido a que en este lugar no se dispone de un centro de servicio de mantenimiento adecuado, que brinde un servicio óptimo y de excelente calidad, y que en la actualidad el mantenimiento de estos equipos se realiza de manera informal.

Los Ingenieros Arévalo y Pesantes destacan la problemática de la deficiencia encontrada a nivel local por falta de mano de obra especializada, la logística para ingreso, procesos de mantenimiento inexistentes, mínima adquisición de repuestos y control calidad del servicio ineficiente, a lo cual se centra en la realización de un proceso de mantenimiento el cual será

aplicado al centro de servicio autorizado que se pretende crear articulando con la propuesta de servicio post-venta de maquinaria liviana, dicho proceso de mantenimiento intervienen factores tan importantes como el análisis de la atención al cliente y propuesta a realizar para el mejoramiento continuo de este proceso, dentro de la implementación del servicio post-venta el autor analiza las actividades generadoras de valor para este servicio como son los planes de mantenimiento, reparación de averías, tipos de intervenciones en la maquinaria, sincronizando actividades como inspecciones visuales ,limpieza, cambio de fluidos, revisión y cambio de componentes como medidas de diagnóstico para realizar mantenimiento, el ingeniero Arévalo también hace alusión importante en el seguir los preceptos dados por el fabricante de los equipos para adaptar el plan de mantenimiento a lo esperado dentro del proyecto, además incorpora el sondeo por medio de encuestas a los usuarios de los equipos de construcción de la originarios de cuenca para determinar el impacto de la instalación de un centro de servicio autorizado en la ciudad. Para finalizar incorpora la estrategia de mantenimiento preventivo de los equipos y genera los costos para establecer el centro de servicio, tanto operativos como de inversión inicial necesarios para el funcionamiento además del punto de equilibrio y ROI.

Este trabajo de investigación puede ser de gran ayuda en la determinación de una propuesta con bases económicas dentro de la gestión y administración del mantenimiento estructurada en técnicas de mantenimiento preventivo y que es afín a la maquinaria liviana de construcción, la cual será objeto de estudio dentro del proyecto investigativo que se llevará a cabo.

### ***5.2.3 “Propuesta de un programa de mantenimiento basado en condición para mejorar la disponibilidad de la flota de equipos de la empresa RD RENTAL – Sede norte ”***

En el año 2020, en la ciudad de Chiclayo en PERÚ, el ingeniero Jhoel Pravia Rojas propuso un programa de mantenimiento basado en condición para mejorar la disponibilidad de la flota de equipos de la empresa RD RENTAL con el fin de obtener su título como ingeniero mecánico electricista, y cuyo objetivo principal fue investigar, analizar y evaluar algunos planes de mantenimiento centrados en la confiabilidad, que tiene como eje central el mantenimiento basado en la condición, aplicado al grupo electrógeno G1080-01 Mitsubishi, ubicado en esa empresa, dentro de su justificación se encuentra el aumento de fallos imprevistos y como consecuencia se observa la disminución de la disponibilidad y de la productividad. El ingeniero Pravia inicialmente analizó la data histórica de los grupos electrógenos con el fin de cuantificar los principales índices de mantenimiento, luego de este análisis del sistema del grupo electrógeno y la evaluación del mismo a través de un FMEA, también calculó la densidad de falla y determinó los siguientes resultados: Reducción de la tasa de falla en un 47% con respecto a 2017. El tiempo no disponible se redujo en un 93% debido a un análisis y evaluación de los sistemas críticos del Grupo Electrógeno, identificó los fallos potenciales, todas estas mejoras se obtuvieron al aplicar el mantenimiento basado en la condición. De igual manera se procedió a implementar el almacén con repuestos de alta rotación. Con esta aplicación el ingeniero Pravia logró alcanzar una reducción del 75% en costos, Con todos los procedimientos, se ha mejorado la disponibilidad del equipo intervenido y el ingeniero Pravia recomienda que este método se aplique a todos los grupos electrógenos de RD RENTAL, Teniendo en cuenta la investigación del ingeniero Jhoel Pravia

Rojas, se identifica que el mantenimiento basado en condición mejoró los indicadores de mantenimiento de la compañía RD RENTAL, y es por ello que se tomara como referencia para la propuesta de mantenimiento producto de esta investigación para la compañía Acomeq Ingeniería S.A.S.

Los anteriores documentos dentro del estado del arte realizado están referenciados en el Capítulo 11 (referencias bibliográficas) bajo nombre de autor(es).



## 6. Marco Teórico

### 6.1 Planeación estratégica

“La planeación estratégica es un proceso que se inicia con el establecimiento de metas organizacionales, define estrategias y políticas para lograr estas metas, y desarrolla planes detallados para asegurar la implantación de las estrategias y así obtener los fines buscados”. (Evoli-2009), de acuerdo al fundamento de la planeación estratégica se hace necesario analizar y obtener una estrategia favorable de mantenimiento que pueda ser aplicada a los equipos que realizan labores livianas de construcción en la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S. con el propósito de lograr el máximo rendimiento de las mismas con alto valor de mantenibilidad y aumento considerable de confiabilidad, para lo anterior en el caso de la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S., se desarrollará un plan de mantenimiento acogido de la evaluación de las diferentes estrategias planteadas con el debido análisis que derivara las condiciones y preceptos a seguir dentro del desarrollo de las tareas de implementación.

De acuerdo a Chiavenato (2017), los modelos de planeación estratégica conforman varias capacidades conforme se quiera desarrollar el planeamiento para formular la estrategia a seguir dentro de una proyecto u actividad. En este caso toma como referencia la escuela de carácter normativo, de igual manera cita el modelo de Steiner, (ver figura 2) el cual clarifica el objeto de la planeación estratégica, este se tomara como base para formular la metodología a usar dentro del modelo de mantenimiento adecuado para alcanzar el objetivo planteado dentro de este proyecto.



*Figura 2. Modelo de Steiner para planeación estratégica (Chiavenato, 2013)*

De lo anterior se toma en consideración evaluar dicha planeación con las tres premisas iniciales como la finalidad de la organización, valores y principios y la evaluación de fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades con el fin de obtener de manera clara el paso a seguir para proponer la implementación de la mejor estrategia de mantenimiento para los equipos livianos de construcción utilizables en los proyectos de obras civiles de la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S. y lo cual quedará consignado durante el desarrollo del ejercicio de planteamiento de la propuesta.

## 6.2 Estrategias de mantenimiento

Las estrategias de mantenimiento son todas aquellas decisiones o conjunto de acciones que una compañía o grupo de personas toman en torno al mantenimiento de unos equipos o máquinas,

con el fin de optimizar el funcionamiento y vida útil de los mismos, de acuerdo con las necesidades de la compañía.

### **6.3 Estrategias de mantenimiento aplicables a maquinaria liviana de construcción**

Es de gran interés para el mantenimiento de maquinaria liviana de construcción el análisis de técnicas que contribuyan al mejoramiento continuo de este proceso y su impacto dentro de la industria, para tener un punto de partida referente que abarque el propósito del mismo, a lo cual se estudiarán los niveles de mantenimiento y su posible aplicación dentro del ámbito de la maquinaria liviana de construcción

#### ***6.3.1 Mantenimiento Correctivo.***

El mantenimiento correctivo consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo. “El personal encargado de avisar de las averías es el propio usuario de los equipos y el encargado de las reparaciones el personal de mantenimiento.” (Navarro, 2009).

Este tipo de mantenimiento es el más utilizado a nivel de pequeña industria ya que presenta la posibilidad de realizar las reparaciones in situ al momento que el equipo presenta falla inminente la cual no pueda ser predecible, por lo tanto se debe tener en consideración disponer de los recursos técnicos y logísticos de manera inmediata para atender dicha reparación, sin importar los costes que se generan a corto plazo por este concepto, así mismo presenta varias desventajas entre las cuales están el disponer de un equipo de mantenimiento nutrido y listo para atender la falla, además del equipamiento necesario (repuestos y herramientas) para suministrar la solución al fallo y no

permite tener un seguimiento de la condición de la máquina, causando pérdida de información valiosa para llevar un registro histórico de eventos y así tomar decisiones en cuanto al ciclo de vida del mismo, pero se considera imprescindible en cuanto a la rápida acción de reparación y su consecuente efectividad para continuar con la operatividad del equipo.

### ***6.3.2. Mantenimiento preventivo***

“El mantenimiento preventivo tiene por misión conocer el estado actual, por sistema, de todos los equipos y programar así el mantenimiento correctivo en el momento más oportuno.” (Navarro, 2009).

Es la técnica de mantenimiento deseada por la mayoría de personal técnico y de planeación, ya que permite, por medio de subprocesos, controlar los sucesos previos a la falla del equipo y su incidencia en la producción, se considera que cuenta con buen rango de aplicación, al aportar ventajas efectivas en cuanto al rendimiento del equipo, al mantener por medio de variables controladas la eficiencia del mismo, como la disminución de frecuencias de mantenimiento permitiendo realizar diferentes actividades al mismo tiempo, distribuyendo estas de manera oportuna, permitiendo la organización del plan y evitando paradas prolongadas de los equipos.

En cuanto al coste generado por este tipo de mantenimiento es justificable usarlo frente al mantenimiento correctivo ya que la metodología necesita invertir un poco más en horas hombre y repuestos, pero causara menos traumatismos en las líneas de producción por la intervención metódica y planificada de los equipos, los métodos utilizados comúnmente dentro de esta técnica

están la lubricación programada, inspecciones visuales, controles estructurales del equipo, control corrosión y medición de temperaturas y vibraciones entre otros.

### **6.3.3. *Mantenimiento Predictivo***

“El mantenimiento predictivo consiste en el conocimiento permanente del estado y operatividad de los equipos, mediante la medición de determinadas variables. El estudio de los cambios en estas variables determina la actuación o no del mantenimiento correctivo.” (Navarro, 2009).

La ventaja que presenta esta técnica de mantenimiento frente a las demás es la velocidad con la que se obtiene la información del estado del equipo, ya que se brinda de manera inmediata, y esto ayuda a tomar las decisiones para intervención de mantenimiento, esta técnica realiza el análisis de mediciones de variables atribuibles al funcionamiento del equipo como vibraciones, temperatura, presiones, ruido entre otros. Lo cual indica el estado de los equipos y así se puede prevenir el fallo realizando la actividad de mantenimiento adecuada, siendo esto muy aprovechado por empresas donde se centra su equipamiento en líneas de producción. Como desventaja está el factor económico, el cual es alto, debido a los equipos e instrumentación requeridos para realizar las mediciones, además del personal capacitado e idóneo en realizar las mediciones o pruebas para determinar el estado de este.

#### ***6.3.4 Mantenimiento basado en condición***

“La forma de predecir la aparición de fallas más utilizada es mediante el relevamiento de las condiciones o síntomas que manifiestan los componentes de los equipos, de ahí el nombre de mantenimiento basado en las condiciones o CBM. Esta es la base difundida del mantenimiento predictivo y a diferencia del análisis estadístico que requiere una gran masa de datos históricos para establecer la probabilidad de falla, el CBM realiza relevamientos de los parámetros significativos de los elementos considerados críticos de los equipos.” (Gallarà y Pontelli, 2020).

Esta estrategia va de la mano con el mantenimiento predictivo, casi que contiene características similares en cuanto a la aplicación del método en los equipos o activos, pero debe señalarse que no son iguales, ya que el CBM analiza el comportamiento del activo en tiempo real, aportando datos de variables de utilización mecánica tales como desgaste, vibraciones, temperaturas, consumo energético excesivo entre otros, y de acuerdo a su metodología permite el monitoreo continuo del mismo y las condiciones cambiantes de funcionamiento inherentes a la utilización para así efectuar la toma de decisiones concerniente al momento óptimo de intervención del activo y de esta manera contribuir al correcto funcionamiento del mismo con base a su vida útil y la condición de trabajo asociada a su tarea específica.

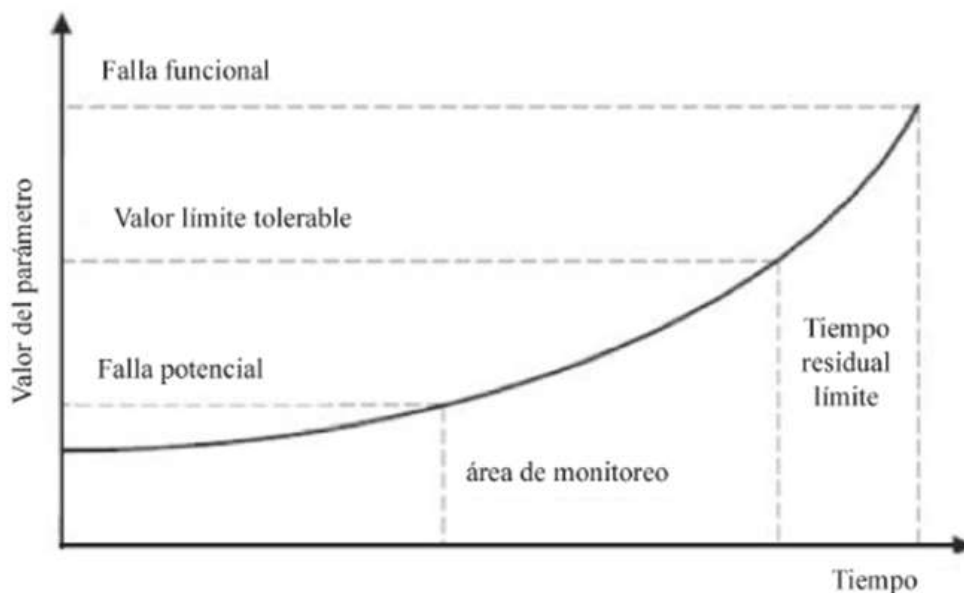
En función de lo planteado anteriormente, la aplicación del mantenimiento basado en condición idealiza los siguientes preceptos:

- La capacidad de poder anticiparse al fallo efectuando mediciones de los síntomas o de las señales que el equipo muestra durante su funcionamiento.

- Contribuir a conocer el ciclo de la vida útil del equipo con énfasis en los componentes considerados de carácter crítico dentro del mismo.
- Disminuir, y en lo posible prever las pérdidas en factores tales como los de calidad, operatividad, medio ambientales y de seguridad, aportando al proceso el aumento de la vida útil del equipo.
- Conservar el valor del activo, dando paso a la disminución de su depreciación.

La metodología descrita pretende realizar intervenciones más dirigidas y oportunas tratando de acercar el reemplazo a la falla funcional del elemento, con la ventaja de aumentar la disponibilidad del sistema. Se basa en el monitoreo de señales débiles emitidas por el componente y en la consiguiente interpretación del estado de deterioro. Para que esta política de mantenimiento sea efectiva, debe existir una correlación clara y sistemática entre los síntomas observables (variables a monitorear o inspeccionar) y la falla funcional del componente.

Sumado a esto, una de las características de la metodología descrita anteriormente es tener en cuenta los atributos de la variable de monitoreo de la condición del equipo y su evolución (ver Figura 3), complementando a lo anterior, Arata Andreani (2009) indica que “Adicionalmente el umbral de la variable de monitoreo que sea seleccionada (alarma), debe ser lo suficientemente oportuna para que permita tomar acciones para evitar la falla funcional del mismo”. Cumpliendo este precepto de análisis y luego de su aplicación la metodología será considerada eficiente para lograr una adecuada intervención de mantenimiento de los equipos.



*Figura 3. Evolución variable de monitoreo (Arata Andreani, 2009).*

En consecuencia con lo descrito anteriormente, el monitoreo de las variables que involucran el estado del equipo desde su puesta en funcionamiento, hasta el estado definitivo de falla, debe seguir una secuencia de acuerdo a la utilización del mismo, dividiendo esta en tres fases de evolución, en donde el primer evento está condicionado al momento de que el equipo presenta los primeros síntomas de falla en determinado tiempo de utilización, aquí se inicia seguimiento de esta condición rigurosamente en medida del aumento de síntomas, lo cual está determinado igualmente en un valor límite tolerable y un tiempo determinado dentro de la siguiente fase de monitoreo antes de que el equipo quede en condición de falla completa.

Durante esta condición y al presentar aumento del deterioro de su funcionalidad y rendimiento, se debe asegurar que se cuenten con los recursos y herramientas necesarias para intervenir el mismo dentro del umbral límite de falla total (tercera fase).



## 6.4 Confiabilidad

“La confiabilidad se define como la probabilidad que un elemento funcione, sin fallar, durante un tiempo determinado bajo condiciones ambientales y de entorno preestablecidas”. (Arata Andreani, 2009).

En la era moderna del mantenimiento industrializado, basado en equipos y maquinaria que integra una línea de producción, además de los mismos involucrados en la prestación de un servicio y la función de procesos misionales para identificar el objeto de un negocio centrado en mantenimiento dentro de estas industrias, se hace factible el análisis de los estados de los mismos que son dados por su utilización, cuando se encuentran en funcionamiento o en estado de falla, además de las condiciones intermedias de estos estados a los cuales se pueden atribuir afectaciones en las salidas o entregables de los equipos para los procesos a los cuales están acoplados y que pueden llevar a disminuir los mismos en términos de tiempo, calidad y cantidad respectivamente.

De acuerdo con Arata Andreani (2009) quien indica que “Fijadas las condiciones en las que se reconoce que el equipo o sistema está en falla bajo un entorno establecido, la confiabilidad de un elemento es función, solamente, del tiempo, cuyas características dependen única y exclusivamente de la distribución de probabilidades con la que la falla pueda modelarse en el tiempo”., se puede afirmar que el punto de partida es la evaluación de la confiabilidad del equipo o máquina como objetivo primordial en el desarrollo de la actividad de mantenimiento que involucra el bienestar del mismo, haciendo que con este concepto sea implementado en aras de incrementarlo en el equipo y pueda tener la capacidad de disminuir los costos relacionados con las fallas, a causa de su aplicación dentro de un indicador de seguimiento para el mantenimiento,

teniendo incidencia adicionalmente en el descenso de los costos en los repuestos e insumos que se derivan por la falta por la disminución de la falla.

La función de la confiabilidad  $R(t)$ , debe ir de la mano con la función de probabilidad de falla, que ayudará a comprender dicha probabilidad conforme a la falla del equipo en proporción del tiempo de utilización, y sus acumulaciones, lo cual es expresado como probabilidad de falla acumulada  $F(t)$ , (ver Figura 4).

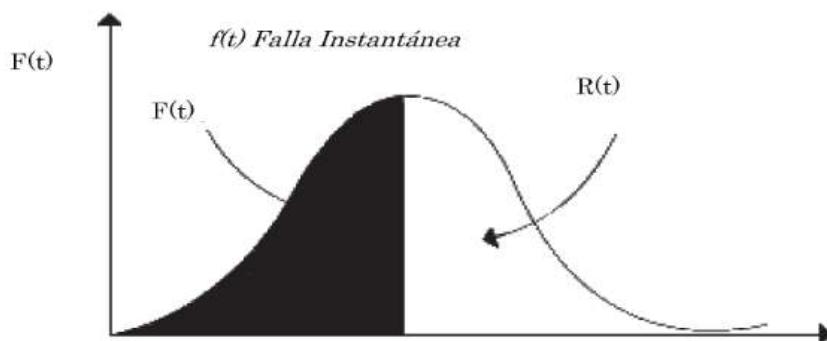


Figura 4. Representación de la función general de fallo (Arata Andreani, 2009).

Los indicadores para determinar la medición de la efectividad de la confiabilidad aplicada se basan en función del tiempo y eventos de falla transcurridos y acumulables, por lo tanto, se describen dos de los cuales se indican a continuación (Ver figura 5 y 6).

MTBF (mean time between Failure), tiempo medio entre fallas (%)

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total de funcionamiento}}{\text{numero de fallos}}$$

Figura 5. Formula tiempo medio entre fallas (Tabuyo Pizarro, 2015)

MTTR (mean time to repair) tiempo medio entre reparaciones (tiempo)

$$MTTR = \frac{\textit{tiempo total de inactividad}}{\textit{número de fallas}}$$

*Figura 6. Formula tiempo medio entre reparaciones. (Tabuyo Pizarro, 2015)*

Asumiéndose estos indicadores básicos para términos de confiabilidad de acuerdo a la estrategia de mantenimiento utilizada en elementos reparables y no reparables.

## **6.5 Disponibilidad**

“La disponibilidad refleja la posibilidad de utilización de una instalación desde el punto de vista técnico, es decir excluyendo las detenciones no originadas por falla del sistema. La disponibilidad se define como la razón o cociente del tiempo en que la instalación se puede ocupar y el tiempo total que incluye al anterior más el tiempo de reparación.” (Arata y Furlanetto, 2005).

Con lo afirmado anteriormente y adentrándose en el contexto de la utilización de los equipos y maquinaria, la disponibilidad toma parte como la concepción del instante en que el mismo queda en total disposición y es apto para ser utilizado, esta se calcula en función de la confiabilidad y mantenibilidad que se hayan obtenido en consecuencia de su uso, para que esto sea posible los factores involucrados que se deben calcular inicialmente con el fin de que este factor pueda ayudar a definir la toma de decisiones en cuanto a la probabilidad de adquirir un equipo o disponer de él, para realizar un mantenimiento en pro de alargar su ciclo de vida útil, por lo que es influyente en función de su estado y las fallas que este ha presentado, de acuerdo a Melo, Lara, y Jacobo (2009),” es una medida que suministra una imagen más completa sobre el perfil de

funcionalidad. La disponibilidad está basada únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación.” Por lo tanto, es un concepto totalmente infaltable en cuanto a la gestión de mantenimiento y que asegura una adecuada decisión en cuanto a la administración de los activos en función de la aplicación de la mantenibilidad, el indicador para medir la disponibilidad es el siguiente (ver Figura 7):

$$D = \frac{TO - \sum TA}{TO}$$

TO= Tiempo requerido.

TA= Tiempos de Paro

*Figura 7. Fórmula para el cálculo de disponibilidad (Torres, 2015).*

## **6.6 Mantenimiento en maquinaria liviana de construcción a nivel de pequeña y mediana industria.**

### ***6.6.1 Industria de la Construcción***

La industria o sector de la construcción es una cadena económica/comercial compuesta por cuatro grandes grupos en los cuales encontramos los minerales, materiales y elementos, construcción y comercialización, dicho sector en Colombia es supremamente importante económicamente para el país, ya que es uno de los sectores o actividades económicas que más ayudan a impulsar el PIB colombiano, para el año 2022 es uno de los sectores con mayor

crecimiento, con el 13.4% al cierre del tercer trimestre, según las estadísticas del Departamento Administrativo de estadística Dane (2021), y cerro en el año 2021 como la novena actividad que más aportó al PIB cerrando con el 4.72% del total; Según la Cámara de Comercio de Bogotá (2018), se contaban en la ciudad de Bogotá con 69000 empresas del sector de la construcción, donde el 77% son microempresas, y el restante son pequeñas, medianas y grandes empresas abarcando el 23%

Debemos tener en cuenta que la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S, a la cual se está realizando el estudio de investigación, es una empresa la cual está compuesta por 80 colaboradores, por lo que la constituye un modelo PYME, pero la implicación de este objeto dentro de la empresa, relacionado con este segmento de equipos livianos de construcción se considera muy pequeño y por lo tanto estaría dentro del rango del 98 % de las compañías en Colombia.

### ***6.6.2 Maquinaria liviana***

Se considera como maquinaria liviana a todos aquellos equipos pequeños o medianos los cuales para su funcionamiento no requieren ser tripulados y pueden ser operados con las extremidades, su principal fin es facilitar y optimizar aquellas labores manuales dentro de la industria de la construcción.

Dentro de los equipos livianos para construcción se puede mencionar algunos ejemplos como:

- Mezcladoras
- Apisonadoras

- Allanadoras de concreto
- Cortadoras de concreto
- Vibradoras de concreto
- Plumas grúa
- Taladros percutores (neumáticos / eléctricos)
- Pulidoras
- Aplicadoras de polydura

Es por ello que Acomeq Ingenieria S.A.S. dentro de sus activos cuenta con este tipo de maquinaria, por lo cual se incluyen dentro de la categoría de maquinaria liviana de construcción.

## 7. Marco Normativo

### 7.1 Norma ISO 55000

La norma ISO 55000 fue publicada por la International Organization for Standardization (ISO) en el año 2014, y esta sería la base para las normas ISO 55001 e ISO 55002, que dan las pautas para los sistemas de gestión de activos y los lineamientos para su correcta aplicación.

Antes de cualquier interrogante respecto a la norma, lo primero que se debe entender es que es un activo, y la ISO 55000 lo define de la siguiente manera, “Un activo es algo que posee valor potencial o real para una organización. El valor puede variar entre diferentes organizaciones y sus partes interesadas y puede ser tangible o intangible, financiero o no financiero.” (International Organization for Standardization, 2014).

De igual manera es importante aclarar qué es un sistema de gestión de activos, que la misma norma define como, “Un sistema de gestión de activos es un conjunto de elementos de una organización interrelacionados y que interactúan cuya función es establecer la política y los objetivos de la gestión de activos y los procesos necesarios para alcanzar dichos objetivos” (International Organization for Standardization, 2014). La norma brinda un enfoque bastante estructurado para el desarrollo y aplicación de todas las actividades relacionadas desde el sistema y hacia los activos.

Con un sistema de gestión de activos basado en la norma ISO 55000 se pueden obtener ventajas competitivas dentro de la organización como lo son la mejora en la eficiencia, mejora en la eficacia, mejoras en el desempeño financiero, así como también en los resultados y servicios.

## **7.2 Norma ISO 14224**

Según la International Organization for Standardization, (2016). Publica La norma ISO 14224, la cual proporciona parámetros clave para la taxonomía y parametrización de datos correspondientes de los activos, y es una base sólida para la recolección de datos confiables enfocados al registro de fallas de los activos.

De igual manera, la norma ISO 14224 permite realizar una división por así decirlo de los activos, de manera jerárquica y llegar al punto del ítem mantenible y de esta manera determinar la importancia o criticidad tanto de los equipos como de las fallas.

La norma mencionada también brinda la posibilidad de clasificar los modos de fallas y gestionar las actividades preventivas que podrían reducir la probabilidad de las fallas enlistadas.

## **7.3 Norma ISO 17359**

Según la International Organization for Standardization (2018). Publica la norma ISO 17359, en su última versión, la cual dicta parámetros clave para el monitoreo de condición de los distintos activos de una organización, junto con los parámetros también se debe seguir una secuencia de pasos desde el análisis de costo beneficio hasta definir las técnicas de monitoreo, que, de acuerdo al tipo de activo, se determina el nivel tecnológico o incluso si son monitoreos simples.



Luego de seguir esta norma se pueden tener bases sólidas para determinar el tiempo de mantenimiento, o mejor aún, cuáles son las actividades idóneas para los equipos incluyendo los sistemas o procesos de monitoreo continuo.

Como resultados esperados se encuentra una optimización de las actividades de mantenimiento, un aumento en la producción, disminución de averías, ahorro de costos, entre otras.

## **8. Marco metodológico de la investigación**

### **8.1. Enfoque de Investigación**

El enfoque cualitativo: “Utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación”. (Hernández Sampieri, 2014)

De acuerdo con el objetivo del proyecto investigativo aplicable a la solución del problema de investigación para la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S., se identificó que el enfoque investigativo adoptado es el enfoque cualitativo, ya que este se caracteriza por recolectar los datos y realizar su respectivo análisis, en cualquier etapa del proyecto con el propósito de solucionar el problema de investigación planteado.

### **8.2 Tipos de Investigación**

Los tipos de investigación que se llevarán a cabo durante el desarrollo del proyecto son los siguientes:

- **Investigación Descriptiva:** De acuerdo con Bernal (2010) “En tales estudios se muestran, narran, reseñan o identifican hechos, situaciones, rasgos, características de un objeto de estudio, o se diseñan productos, modelos, prototipos, guías, etcétera, pero no se dan explicaciones o razones de las situaciones, los hechos, los fenómenos, etcétera.”, dentro del propósito de aplicación de la investigación para el desarrollo del proyecto se basa en la descripción de las relaciones entre las diferentes estrategias de mantenimiento existentes

para adecuar la más viable y conveniente dentro del mantenimiento de un grupo de equipos livianos utilizados en la industria de la construcción por medio de una metodología evaluativa de criterios de utilización y optimización.

- Investigación Estudio de caso: Dentro de este tipo de investigación, Bernal (2010 ), afirma que “ El objetivo de los estudios de caso, mejor conocido como el método del caso, es estudiar en profundidad o en detalle una unidad de análisis específica, tomada de un universo poblacional”, basado en lo anterior se utilizara este tipo de investigación para el análisis de la situación del mantenimiento de las máquinas y equipos bajo su manejo, con criterios aplicables por medio de estrategias idóneas para la gestión del mantenimiento.
- Investigación Longitudinal: Para este concepto, Bernal (2010) indica que “en la investigación longitudinal se obtienen datos de la misma población en distintos momentos durante un período determinado, con la finalidad de examinar sus variaciones en el tiempo.” Para la aplicación de este tipo de investigación dentro del desarrollo del proyecto, se evaluarán diferentes estrategias de mantenimiento bajo las necesidades puntuales de la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S., dentro de sus procesos de trabajo de los equipos en las obras civiles para definir la estrategia más conveniente para ser propuesta.

Lo anterior se describe para comprender la relevancia de los tipos de investigación que se van aplicar durante las etapas de desarrollo de la propuesta.

### **8.3 Fuentes información**

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se realizará toma de datos y diagnósticos de los mismos por medio de visitas técnicas a las locaciones de la empresa y a las valoraciones que realizan previamente los operadores de la maquinaria, en el cual pueda ayudar a identificar el estado inicial, actividades recientes de mantenimiento y las acciones a tomar para restablecer las condiciones base del equipo.

Como segunda medida, se requiere realizar un levantamiento de las expectativas y necesidades de la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S., información la cual se obtendrá por medio de una entrevista al personal directivo encargado de los procesos de mantenimiento, (Gerente General y Director de Mantenimiento).

Adicionalmente se tomará como referencia varios autores y literatura relativa a las diferentes metodologías y estrategias de mantenimiento que se evaluarán y aplicarán a la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S.

#### ***8.3.1 Fuentes Primarias***

Como fuentes primarias de información se toman aquellos datos que no han sido manipulados o analizados, es decir, todos los datos que los operadores y personal de mantenimiento ha capturado referente a las fallas, recurrencias, presupuestos de mantenimiento, y disponibilidad de los equipos.

### **8.3.2 Fuentes Secundarias**

Como fuentes secundarias de información se toman como referencia libros de ingeniería de mantenimiento, manuales de los equipos para analizar, trabajos de grado (Tesis de especializaciones, maestrías o doctorados) que permitan tomar como referencia y guía para la resolución de obstáculos o dudas que puedan surgir en medio de dicho proyecto investigativo.

### **8.4 Análisis metodológico de objetivos**

Con base al planteamiento tenido en cuenta para determinar que el perfil investigativo aplicable es el enfoque cualitativo, y de acuerdo al planteamiento y cumplimiento de los objetivos de desarrollo del proyecto se requiere el análisis de la metodología a utilizar en la búsqueda de la solución al problema de investigación, de manera resumida (ver tabla 1):

OBJETIVOS		ANÁLISIS DE PROBLEMA	ACTIVIDAD	MÉTODO
GENERAL	ESPECIFICOS			
Analizar y seleccionar la estrategia de mantenimiento con el fin de maximizar la disponibilidad y confiabilidad de equipos livianos de construcción para la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S.	Identificar las necesidades puntuales en términos de mantenimiento de equipos livianos de construcción de la empresa en el corto plazo, a través de un levantamiento de información y análisis de criticidad ABC, con el fin de obtener un diagnóstico general de los mismos.	El departamento de mantenimiento de la empresa Acomeq Ingeniería no cuenta con una información real y efectiva del estado de los equipos utilizados para tareas livianas de construcción dentro de sus actividades de obras civiles	Se identifico el problema por medio de seguimiento, recopilación de datos (verificación de inventarios y visualización de estado de los equipos)	Observación directa del proceso.
	Evaluar las diferentes estrategias de mantenimiento y seleccionar la más adecuada, a través del análisis matricial, que maximice la disponibilidad, confiabilidad de los equipos y que se minimicen los costos de mantenimiento.	Al momento de la utilización de los equipos de maquinaria liviana de construcción se desconoce las tareas de mantenimiento y por consiguiente su estado actual por falta de una estrategia de mantenimiento aplicable a los mismos	Se realiza un análisis matricial de la estrategia de mantenimiento adecuada para los equipos livianos de construcción de acuerdo a las capacidades de mantenimiento de la empresa	Análisis y Verificación directa del proceso de mantenimiento
	Generar la propuesta de implementación de la estrategia de mantenimiento seleccionada, por medio de un procedimiento documentado, con el propósito de que la empresa tenga los lineamientos para una futura aplicación.	Debido al constante deterioro de los equipos y el desconocimiento del departamento de obras civiles y de mantenimiento acerca de las actividades para conservar la confiabilidad y disponibilidad de los mismos se generan pérdidas de carácter económico y retrasos en la culminación de las obras civiles en las que se utilizan estos equipos	Se realiza la implementación de la propuesta de mantenimiento como resultado del análisis de la estrategia mas adecuada para los equipos	Implementación, seguimiento y Verificación del proceso de mantenimiento aplicado

*Tabla 1. Análisis metodológico objetivos (Autores, 2022).*

## **8.5 Análisis de metodologías a emplear para selección de estrategia de mantenimiento**

A continuación, se nombrarán los modelos / metodologías a usar para el desarrollo del presente proyecto así:

- Sondeo de información por medio de encuestas

Para Hernández-Sampieri (2014), “Las encuestas de opinión son consideradas por diversos autores como un diseño o método (...) Generalmente utilizan cuestionarios que se aplican en diferentes contextos (entrevistas en persona, por medios electrónicos como correos o páginas web, en grupo, etc.)” con base en el anterior precepto y teniendo en cuenta el enfoque de la investigación se selecciona el método de sondeo por encuestas para realizar el análisis inicial del estado de los equipos livianos de construcción de la empresa Acomeq ingeniería S.A.S., y además para conocer las falencias relacionadas con el mantenimiento de los mismos, metodología a utilizarse con los empleados de la dirección de mantenimiento de la empresa.

La obtención de los resultados tendrá incidencia en la tabulación ordenada de los datos, y así se visualizará la tendencia de mantenimiento que se utilizará.

- Análisis de criticidad por clasificación ABC

La clasificación ABC es una metodología que permite evaluar la criticidad y clasificar los diferentes activos de una compañía con el fin de establecer la relevancia de cada activo para lograr los objetivos de una organización, de acuerdo con Parra y Crespo (2012), “las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar por su importancia los activos

de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos”., en dicha metodología se toman en cuenta parámetros a evaluar como Seguridad, Calidad, Oportunidad de producción, Tasa de ocupación, Frecuencia de parada y mantenibilidad.

Como resultado se obtienen tres categorías (ABC) en donde la categoría A indica los equipos más críticos, la categoría B se consideran equipos importantes y la clasificación C indica los equipos comunes o menos relevantes.

Se realizó la selección de esta metodología, ya que dentro de la gestión de activos y mantenimiento se toma como gran referente la serie de normas ISO 14224, en donde permite y promueve el desarrollo de dicha clasificación y jerarquización de activos con el fin de poder llevar a cabo una correcta recopilación de datos de mantenimiento.

- Indicadores de gestión

“Para cada tipo de empresa y para cada situación conviene desarrollar los indicadores propios que analicen el alcance de los objetivos fijados. En ocasiones, el exceso de información o sus defectos de presentación puede ocasionar confusiones en la valoración de los resultados. Es más práctico tomar sólo unos pocos parámetros importantes y profundizar en los que se desvíen de lo esperado. Podemos hacer una diferencia entre el control y los datos necesarios para la Dirección de Mantenimiento y los necesarios para la gestión operativa.” (Navarro Elola, 2009).

De acuerdo a lo anterior y como parte del desarrollo de los objetivos se realizan algunos indicadores de gestión para medir la evolución de la estrategia de mantenimiento adoptada en la propuesta, además estos servirán como referencia en la evaluación de factores determinantes para



la toma de decisiones en cuanto al sometimiento de los equipos livianos de construcción de Acomeq Ingenieria S.A.S. a mantenimiento, la adquisición de repuestos y herramientas adecuadas, la disponibilidad, confiabilidad, y costos del mantenimiento de los mismos.

Además del cumplimiento de metas trazadas en la política de mantenimiento ajustada y el seguimiento y mejora continua al proceso.

- Metodología de priorización de repuestos por criticidad y valor económico PRCV

De acuerdo a Contreras J. y Parra C., (2020) “El método propuesto combina dos técnicas ampliamente conocidas para clasificar los materiales. En primer lugar, se emplea la técnica XYZ (Brown, 2004) que consiste en determinar tres categorías (X, Y, Z) de materiales en función de su valor financiero.”

Para el desarrollo del proyecto se utiliza esta metodología, teniendo en cuenta que combina dos aspectos de alta importancia para Acomeq Ingenieria S.A.S., los cuales son la criticidad de los equipos y el valor de las refacciones recomendadas, como inventario en el almacén, con la intención de priorizar las refacciones y organizarlas de tal modo que permita evaluar los elementos necesarios para la ejecución del mantenimiento de los equipos livianos de construcción con base en su nivel crítico y contar con la disponibilidad adecuada para la utilización en las obras civiles que son objeto del negocio de Acomeq Ingenieria S.A.S

## **9. Resultados y propuesta de solución**

### **9.1 Identificación y diagnóstico inicial de los equipos**

Inicialmente se realizó una reunión con el Ing. Oscar Sánchez, Gerente general de la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S., con quien deliberamos respecto a la viabilidad del proyecto, definimos límites y condiciones del mismo y como conclusión dio vía libre al desarrollo de la propuesta.

Se estableció un cronograma de reuniones con periodicidad de 15 días en los cuales se evidenciarán los avances, al igual que se definió quién será el puente entre el grupo de trabajo y la empresa, que será el Ing. Fabio Chinome, Director de Mantenimiento, para mayor detalle se adjunta el acta de la reunión.

#### ***9.1.1 Identificación de equipos livianos de construcción, diagnóstico inicial y clasificación***

Luego de tener definidos estos parámetros iniciamos con el levantamiento de información de los equipos de manera visual, con el fin de tener tanto la información de los equipos para las respectivas hojas de vida, como para realizar un diagnóstico previo al desarrollo del proyecto.

Se procede luego de obtener dicha información a realizar el levantamiento de información siendo consignado en una hoja de cálculo para facilitar el tratamiento de datos, uno de los atributos dados para la clasificación del estado general de los equipos se dividió en tres conceptos, lo cuales permitieron realizar dicha clasificación siendo estos los siguientes:

- Estado operativo: el equipo se encuentra en condiciones básicas de uso y conserva sus características funcionales
- Estado operativo con novedades: El equipo no se encuentra en condiciones básicas de uso, conserva algunas de sus características funcionales que requieren ser atendidas para lograr recuperar su condición de operatividad.
- Estado inoperativo: el equipo no presenta ninguna condición básica de uso, ni conserva sus características funcionales por lo tanto no está disponible para su inclusión en los trabajos de obra civil para Acomeq Ingenieria S.A.S.

De acuerdo a las condiciones relacionadas con el estado de los equipos a evaluar se realiza la clasificación en la respectiva hoja de cálculo (ver Tabla 2), para el inicio del levantamiento de información así:

Nombre	Tipo de equipo	Marca	Funcion	Descripción	Estado
Mezcladora #1	Mezcladora	Stravoya	Mezclar concreto	Mezcladora de concreto con capacidad para 3 bultos	Inoperativo
Pulverizador #1	Pulverizador	GRACO	Aplicación texturas	Aplicadora en spray de texturas modelo Mark V	Operativo con novedades
Taladro martillo neumatico #1	Taladro neumatico	Bosch	Romper concreto	Taladro neumatico martillo de uso profesional	Operativo
Taladro martillo electrico #1	Taladro electrico	Dewalt	Romper concreto	Taladro electrico martillo marca Dewalt de 10 Kw	Operativo
Taladro electrico #1	Taladro electrico	Dewalt	Realizar perforaciones	Taladro percutor marca Dewalt de 1 Kw y madril de 3/8"	Operativo
Taladro electrico #2	Taladro electrico	Dewalt	Realizar perforaciones	Taladro percutor marca Dewalt de 1 Kw y madril de 3/8"	Operativo con novedades
Taladro electrico #3	Taladro electrico	Dewalt	Realizar perforaciones	Taladro percutor marca Dewalt de 1 Kw y madril de 3/8"	Operativo con novedades
Taladro electrico #4	Taladro electrico	Dewalt	Realizar perforaciones	Taladro percutor marca Dewalt de 1 Kw y madril de 3/8"	Operativo con novedades
Taladro electrico #5	Taladro electrico	Dewalt	Realizar perforaciones	Taladro percutor marca Dewalt de 1 Kw y madril de 3/8"	Operativo con novedades
Pulidora Electrica #1	Pulidora Electrica	Makita	Corte y pulido de metal, concreto, etc	Pulidora electrica de 7", marca Makita	Operativo con novedades
Pulidora Electrica #2	Pulidora Electrica	Makita	Corte y pulido de metal, concreto, etc	Pulidora electrica de 7", marca Makita	Operativo con novedades
Pulidora Electrica #3	Pulidora Electrica	Dewalt	Corte y pulido de metal, concreto, etc	Pulidora electrica de 7", marca Dewalt	Operativo con novedades
Pulidora Electrica #4	Pulidora Electrica	B&D	Corte y pulido de metal, concreto, etc	Pulidora electrica de 7", marca Black & Decker	Operativo con novedades
Pulidora Electrica #5	Pulidora Electrica	B&D	Corte y pulido de metal, concreto, etc	Pulidora electrica de 4-1/2", marca Black & Decker	Operativo con novedades
Pulidora Electrica #6	Pulidora Electrica	Bosch	Corte y pulido de metal, concreto, etc	Pulidora electrica de 4-1/2", marca Bosch	Operativo con novedades
Pulidora Electrica #7	Pulidora Electrica	Bosch	Corte y pulido de metal, concreto, etc	Pulidora electrica de 4-1/2", marca Bosch	Operativo con novedades
Lijadora de banda #1	Lijadora de banda	Milwaukee	Lijado y pulido de superficies de madera	Lijadora de banda profesional, maeca Milwaukee	Operativo
Esmeril de banco #1	Esmeril de banco	Dewalt	Pulido de partes metalicas y herramientas	Esmeril de doble disco, maeca Dewalt	Operativo con novedades
Sierra Circular #1	Sierra Circular	Truper	Corte de metal, concreto y madera	Cierra circular manual con discos intercambiables, marca Truper	Operativo
Sierra Circular #2	Sierra Circular	B&D	Corte de metal, concreto y madera	Cierra circular manual con discos intercambiables, marca B&D	Operativo con novedades

*Tabla 2. Inventario de equipos livianos para construcción utilizados en Acomeq Ingeniería, (Autores, 2022)*

#### **9.1.1.1 Diagnóstico por Tipo de Equipos.**

En general se encuentran equipos con bajo o cero niveles de mantenimiento, se habilitan únicamente con emergencias o por medio de un alquiler, generando sobre costos, tiempos extendidos en entrega de proyectos, indisponibilidad y/o baja confiabilidad, cuya razón principal es que no está dentro del sistema de gestión de mantenimiento general por políticas de la compañía.

Preliminarmente se observa la necesidad de plantear las políticas de mantenimiento en cuanto a estos equipos puntualmente y evaluar la posibilidad de replicar el sistema de mantenimiento resultado de esta investigación en las otras áreas de la compañía.

- **Mezcladora:** Se encontró equipo tipo mezcladora (ver figura 8) fuera de servicio, inicialmente por ruptura, con algunos detalles adicionales como llantas pinchadas, con suciedad acumulada de concreto e inicialmente el motor no se logra diagnosticar, se deben realizar las reparaciones de raíz y diseñar las rutinas de mantenimiento.



*Figura 8. Diagnóstico mezcladora Acomeq Ingeniería S.A.S. (Autores, 2022).*

- **Pulverizador:** Se encontró un pulverizador (ver Figura 9), en general en buen estado, pero cuya principal falla es el taponamiento de boquillas, lo que resulta en el cambio de las mismas en cada uso por falta de aplicación de limpieza, inspección, y ajuste, es necesario realizar el cambio de boquillas y generar un listado de chequeo pre y post operacional.



*Figura 9. Diagnóstico pulverizador Acomeq Ingeniería S.A.S. (Autores, 2022).*

- **Taladros:** Se encuentran 7 taladros en su mayoría eléctricos percutores, como el que se evidencia en la figura 10, en estado funcional, pero con alta probabilidad de falla, principalmente por falta de un correcto y continuo mantenimiento, la falla más común es el desgaste de escobillas y la existencia de concreto residual, generando intermitencias en la operación y malestar para el departamento de ingeniería como cliente final del equipo.



*Figura 10. Diagnóstico taladros Acomeq Ingeniería S.A.S. (Autores, 2022).*

- **Pulidoras:** Al igual que los taladros encontramos pulidoras (ver Figura 11) en general funcionales, pero con fallas comunes en las escobillas, con cero niveles de mantenimiento, en algunos casos y de acuerdo a la información recolectada, en el momento que se averían, se compran equipos nuevos y se disponen para dar de baja los averiados, generando sobre costos, y malestar para el departamento de ingeniería como cliente final del equipo



*Figura 11. Diagnóstico pulidoras Acomeq Ingeniería S.A.S. (Autores, 2022).*

- **Sierra circular:** Se encontraron 3 sierras circulares (ver Figura 12), operativas y en buen estado, es necesario realizar algunos ajustes y cambio de bujes.



*Figura 12. Diagnóstico sierras circulares Acomeq Ingeniería S.A.S. (Autores, 2022).*

- **Lijadora de banda:** Equipo en excelentes condiciones operativas y estructurales como se ve en la figura 13, este es un equipo relativamente nuevo, por ende, se requiere de una estrategia de mantenimiento para conservar su estado y prolongar la vida útil.



Figura 13. Diagnóstico lijadora de banda Acomeq Ingeniería S.A.S. (Autores, 2022).

- **Esmeril de banco:** Se encuentra un esmeril (ver Figura 14), marca Dewalt, operativo y en buen estado salvo el switch de encendido que tiene una modificación y debe ser reemplazado.



Figura 14. Diagnóstico esmeril de banco Acomeq Ingeniería S.A.S. (Autores, 2022).

### 9.1.1.2 Manuales del fabricante de los equipos.

Con el fin de complementar el diagnóstico, se realiza la descarga de los manuales de partes, operación y mantenimiento, directamente de los sitios web de los fabricantes, (ver figura 15), los cuales serán una base importante dentro de la estructuración del plan de mantenimiento propuesto.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
Esmeril Dewalt - DW752-B3-T1-Manual de Partes	02/10/2022 8:35 p....	PDF Document	75 KB
Esmeril Dewalt - DW752-B3-T1-Manual de Usuario	02/10/2022 8:37 p....	PDF Document	532 KB
Euipo pulidora TexSpray Mark V - Manual de Partes	02/10/2022 9:19 p....	PDF Document	3.689 KB
Euipo pulidora TexSpray Mark V - Manual Usuario	02/10/2022 7:39 p....	PDF Document	8.265 KB
Lijadora de banda Milwaukee - 5936 - (767A) - Manual de Usuario	02/10/2022 8:42 p....	PDF Document	645 KB
Lijadora de banda Milwaukee - 5936-(767A)- Manual de Partes	02/10/2022 8:40 p....	PDF Document	85 KB
Martillo demoledor electrico Bosch - GSH27VC- Manual de Partes	02/10/2022 8:11 p....	PDF Document	170 KB
Martillo demoledor electrico Bosch - GSH27VC- Manual de Usuario	02/10/2022 8:07 p....	PDF Document	2.463 KB
Pulidora Dewalt - D28491-B3-T5- Manual de Partes	02/10/2022 7:59 p....	PDF Document	126 KB
Pulidora Dewalt - D28491-B3-T5- Manual de Usuario	02/10/2022 8:00 p....	PDF Document	5.307 KB
Pulidora Pretul - ESMA412p2 - Manual de Partes	02/10/2022 9:28 p....	PDF Document	554 KB
Pulidora Pretul - ESMA412p2 - Manual de Usuario	02/10/2022 9:27 p....	PDF Document	285 KB
Sierra Circular BlackandDecker-T1-CS1020-B3 - Manual de Partes	02/10/2022 8:16 p....	PDF Document	125 KB
Sierra Circular BlackandDecker-T1-CS1020-B3- Manual de usuario	02/10/2022 8:18 p....	PDF Document	580 KB
Sierra Circular Truper -SICI-7-1-4A3 - 11004 - Manual de Usuario y partes	02/10/2022 8:30 p....	PDF Document	586 KB



Figura 15. Banco de manuales digitales equipos livianos de construcción Acomeq

Ingeniería S.A.S (Autores, 2022)



### 9.1.1.3 Gráfica estado de equipos.

Luego de realizar el diagnóstico inicial del estado de los equipos de acuerdo a su condición, se procede a tomar dicha información para evaluar estadísticamente los equipos y proceder con el análisis de las diferentes estrategias de mantenimiento, de igual manera iniciar con la realización de formatos y listas de chequeo para la ejecución de las actividades de mantenimiento de acuerdo al plan que se seleccione y la respectiva migración de información al software de mantenimiento para posterior control.

De acuerdo a la información obtenida se realiza la clasificación del estado de los equipos, la cual puede ser observada en la tabla 3 así:

Estado	Cantidad	%
Inoperativo	1	5%
Operativo	5	25%
Operativo con novedades	14	70%
<b>Total general</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>

Tabla 3. Cuadro de estado de equipos por operatividad (Autores, 2022)

Con lo consignado en el cuadro anterior se grafica la información (ver Figura 16), para mostrar el estado de los equipos.



*Figura 16. Gráficas de estado de equipos por operatividad (Autores, 2022).*

#### **9.1.1.4 Clasificación ABC para los equipos livianos de construcción de Acomeq Ingeniería S.A.S.**

La clasificación ABC o también conocido como análisis de criticidad de activos (ACA) permite a la empresa conocer la relevancia que cada activo tiene para poder alcanzar los objetivos económicos y no económicos de la organización, así como el riesgo que implica el tener o no tener estos activos disponibles para trabajar; para la aplicación de esta metodología, generalmente se toman los criterios de Seguridad, medio ambiente y calidad, Oportunidad de producción, Tasa de Ocupación, Frecuencia de parada, Mantenibilidad, posterior a ello se evalúa cada activo en los anteriores criterios, informando si el riesgo u oportunidad es alta como A, si es medio como B y si es bajo como C, al final logrando una ponderación de 3, 2 y 1 respectivamente.

Posterior a la evaluación de criticidad para cada activo, se establece que los equipos que tengan un porcentaje ponderado superior al 60%, se consideran que son los activos críticos categoría A, los activos que se encuentren con una criticidad ponderada entre el 35 y 50% se considerarán como categoría B y por último los equipos que tenga una criticidad menor al 35% se consideran como una criticidad tipo C, en la teoría y práctica, la estrategia de mantenimiento en este caso focalizarse en poner los esfuerzos para mantener los activos tipo A funcionando ya que son los que más impacto y riesgo tienen en la operación de la empresa en dado caso que el activo llegue a fallar.

Para los equipos livianos de construcción de Acomeq ingeniería S.A.S., se considera relevante para el desarrollo de dicho proyecto que se debe clasificar adecuadamente cada tipo de

activo, con el fin de poder identificar en cuáles son los equipos más críticos para empresa y establecer acciones más rigurosas en algunos de sus activos, para ello se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Seguridad, medio ambiente y calidad
- Oportunidad de producción
- Tasa de Ocupación
- Frecuencia de parada
- Mantenibilidad

Para efecto de este proyecto y ponderación de criticidad, se tomarán cada uno de los anteriores criterios con el mismo peso, a continuación, en la tabla 4 se ilustra la evaluación para establecer la matriz de criticidad de equipos:

Activo	Seguridad	Calidad	Oportunidad de producción	Tasa Ocupación	Frecuencia de parada	Mantenibilidad	Criticidad	Clasificación
Aplicadora de Poliduria	B	A	B	C	A	B	67%	A
Taladro Electrico	A	B	C	A	A	C	61%	
Mezcladora (trompo)	B	C	B	C	A	B	50%	B
Taladro Neumatico	A	C	C	C	A	B	44%	
Lijadora de banda	B	B	C	C	A	C	39%	
Pulidora Electrica grande	A	C	C	C	A	C	33%	C
Pulidora Electrica pequeña	A	C	C	C	A	C	33%	
Sierra circular	A	C	C	C	A	C	33%	
Esmeril de banco	A	C	C	C	A	C	33%	

*Tabla 4. Matriz de evaluación de criticidad (Autores, 2022)*

Adicional a ello se procede a realizar un histograma de Pareto, con el fin de poder realizar la clasificación y priorización de los equipos a los cuales Acomeq ingeniería S.A.S., debería enfocarse y tomar como punto de partida, para realizar una futura implementación (ver figura 17), ya que si se prioriza la implementación en los equipos críticos, se podría estar aplicando la ley del 80-20, es decir que se atacarían o se ejecutaría mantenimiento focalizado en el 20% del total de los equipos que causan un 80% de las paradas o de ineficiencias en los proyectos ejecutados por Acomeq Ingeniería S.A.S.

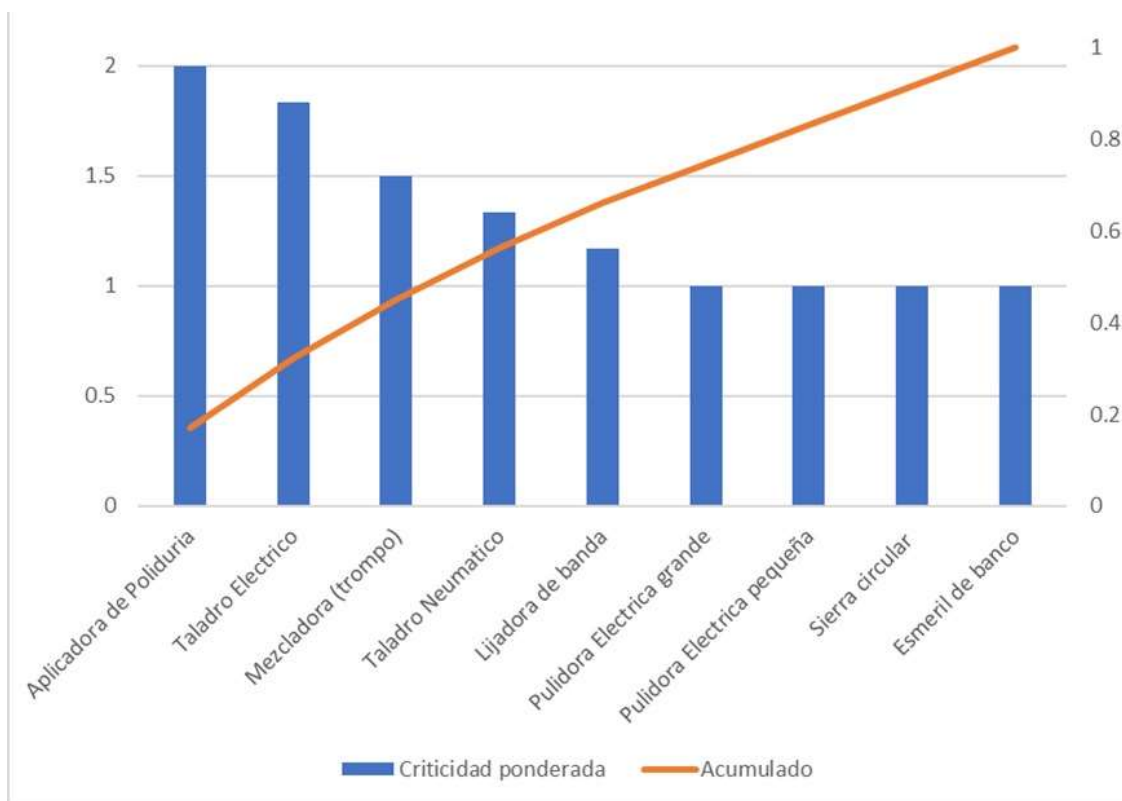


Figura 17. Histograma de Pareto (Autores, 2022)

Si se presta atención al histograma creado, se identifica que la prioridad para implementación de la metodología de mantenimiento a proponer sería las categorías A y B, que cubre los siguientes equipos: apisonadoras, aplacadora de poliduria, taladros eléctricos, mezcladoras, taladro neumático, y lijadora de banda.

#### **9.1.1.5 Sondeo de Diagnóstico Estrategias de Mantenimiento al Personal Operativo de Equipos Livianos de Construcción en ACOMAQ Ingeniería**

Con el fin de conocer el panorama del personal de ACOMAQ Ingeniería que tienen contacto o relación con los equipos livianos de construcción, se realizó una encuesta a 25 personas con 10 preguntas relacionadas tanto al mantenimiento actual de los equipos livianos de construcción como a la posibilidad de implementar una estrategia de mantenimiento de estos equipos (ver Figuras 18 y 19), partiendo de este punto se realizó una tabulación de los datos (ver Tabla 5), y posteriormente se graficaron para obtener una visual del punto de vista del personal operativo (ver Figura 20), lo cual está demostrado a continuación:

**Sondeo de diagnóstico estrategias de mantenimiento al personal operativo de equipos livianos de construcción en ACOMAQ Ingeniería SAS**

Nombre: \_\_\_\_\_ Cargo: \_\_\_\_\_

1. ¿Cuáles han sido los problemas que ha evidenciado dentro del área de construcción e ingeniería?

- a. De calidad
- b. De mantenimiento
- c. De personal operativo
- d. De seguridad

2. ¿Usted ha sido capacitado oficialmente en la operación de los equipos livianos de construcción?

- a. SI
- b. NO

3. ¿Con que frecuencia utiliza o tiene contacto con los equipos livianos de construcción?

- a. Diario
- b. Semanal
- c. Mensual
- d. Por proyecto

4. ¿Qué impacto tienen las fallas de los equipos livianos de construcción livianos en sus actividades laborales?

- a. Ninguno
- b. Bajo
- c. Medio
- d. Alto
- e. Muy alto

5. ¿Considera que las fallas en los equipos livianos de construcción afectan la operación dela rea de construcción e ingeniería?

- a. Si afectan
- b. No afectan

6. ¿Conoce alguna estrategia de mantenimiento?

- a. SI
- b. NO

*Figura 18. Sondeo de diagnóstico estrategias de mantenimiento Pagina 1(Autores, 2022)*

7. ¿De acuerdo a su conocimiento que tipo de mantenimiento ejecutan en los equipos livianos de construcción?

- a. Preventivo
- b. Correctivo
- c. De emergencia
- d. NS/NR

8. ¿En qué medida considera necesario la implementación de una estrategia de mantenimiento?

- a. Innecesario
- b. Poco necesario
- c. Necesario
- d. Muy necesario

9. ¿Está de acuerdo con la implementación de una estrategia de mantenimiento para los equipos livianos de construcción?

- a. Si estoy de acuerdo
- b. No estoy de acuerdo
- c. Me es indiferente
- d. NS/NR

10. ¿Cree usted que con una buena estrategia de mantenimiento para los equipos livianos de construcción, disminuirán la insatisfacción de los clientes?

- a. Si creo que disminuyan
- b. No creo que disminuyan
- c. Esto no influye en la satisfacción del cliente
- d. NS/NR

*Figura 19. Sondeo diagnóstico estrategias de mantenimiento Pagina 2 (Autores, 2023)*

1. ¿Cuáles han sido los problemas que ha evidenciado dentro del área de construcción e ingeniería?	
a. De calidad	3
b. De mantenimiento	15
c. De personal operativo	5
d. De seguridad	2

2. ¿Usted ha sido capacitado oficialmente en la operación de los equipos livianos de construcción?	
a. SI	1
b. NO	24

3. ¿Con qué frecuencia utiliza o tiene contacto con los equipos livianos de construcción?	
a. Diario	4
b. Semanal	3
c. Mensual	2
d. Por proyecto	16

4. ¿Qué impacto tienen las fallas de los equipos livianos de construcción livianos en sus actividades laborales?	
a. Ninguno	0
b. Bajo	2
c. Medio	3
d. Alto	8
e. Muy alto	12

5. ¿Considera que las fallas en los equipos livianos de construcción afectan la operación de la rea de construcción e ingeniería?	
a. Si afectan	25
b. No afectan	0

6. ¿Conoce alguna estrategia de mantenimiento?	
a. SI	6
b. NO	19

7. ¿De acuerdo a su conocimiento que tipo de mantenimiento ejecutan en los equipos livianos de construcción?	
a. Preventivo	0
b. Correctivo	7
c. De emergencia	17
a. NS/NR	1

8. ¿En qué medida considera necesario la implementación de una estrategia de mantenimiento?	
a. Innecesario	0
b. Poco necesario	0
c. Necesario	21
d. Muy necesario	4

9. ¿Está de acuerdo con la implementación de una estrategia de mantenimiento para los equipos livianos de construcción?	
a. Si estoy de acuerdo	23
b. No estoy de acuerdo	0
c. Me es indiferente	1
d. NS/NR	1

10. ¿Cree usted que con una buena estrategia de mantenimiento para los equipos livianos de construcción, disminuirán la insatisfacción de los clientes?	
a. Si creo que disminuyan	22
b. No creo que disminuyan	1
c. Esto no influye en la satisfacción del cliente	1
d. NS/NR	1

Tabla 5. Tabulación de resultados del sondeo (Autores, 2022)



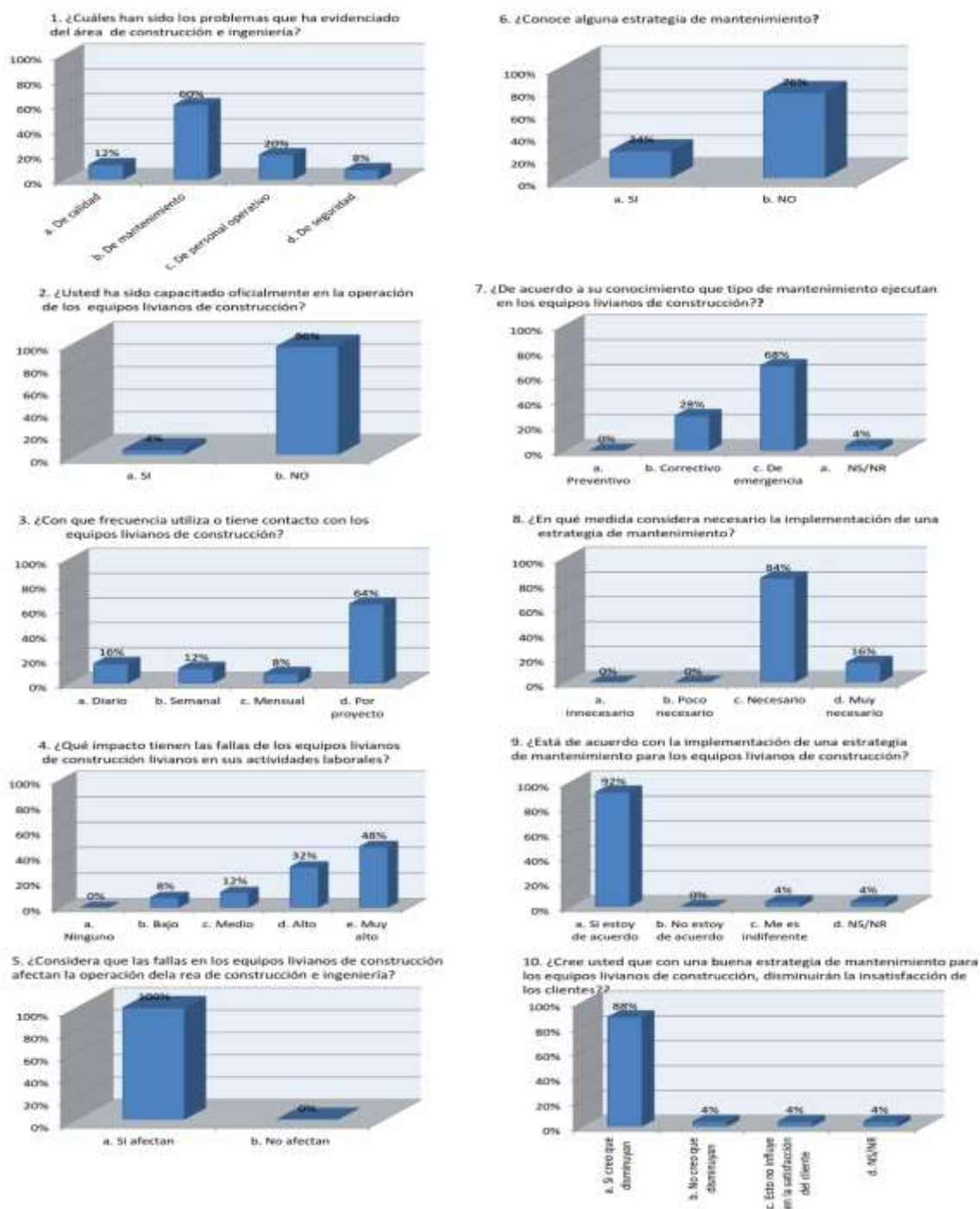


Figura 20. Gráficas resultado del sondeo (Autores, 2022)

### **9.1.1.6 Resumen del Sondeo de diagnóstico Estrategias de Mantenimiento al Personal Operativo de Equipos livianos de Construcción en ACOMAQ Ingeniería S.A.S.**

Luego de aplicar, tabular, graficar y analizar el sondeo al personal en ACOMAQ Ingeniería S.A.S., respecto a los equipos livianos de construcción tenemos las siguientes conclusiones o resumen:

- El **60%** de los problemas dentro del área de construcción e ingeniería, se derivan de fallas o falencias en el mantenimiento de los equipos livianos de construcción.
- Tan solo el **4%** del personal ha sido capacitado formalmente para la operación de los equipos livianos de construcción, y se puede deducir que algunos de los problemas puedan ser causados por mala operación.
- El **64%** de las personas que tienen contacto con el equipo, lo hacen de acuerdo a la asignación de cada proyecto, esto hace que se pierda la trazabilidad o responsabilidad de quien opera o no los equipos.
- El **48%** de las personas encuestadas, consideran que el impacto de las fallas en los equipos livianos de construcción en sus labores es muy alto.
- El **100%** de los encuestados, encuentran que las fallas en los equipos livianos de construcción afectan directamente la eficiencia y el desempeño del área de construcción de obras civiles.
- Se encontró que el **76%** de las personas que tienen contacto con los equipos livianos de construcción **no** conocen ninguna estrategia de mantenimiento.

- Los mantenimientos de emergencia predominan en los equipos livianos de construcción según el **68%** de las personas encuestadas.
- Se evidencia que el **84%** de las personas encuestadas consideran necesaria la implementación de una estrategia de mantenimiento para los equipos livianos de construcción y el **92%** de las personas encuestadas están de acuerdo con que se implemente.
- De igual manera el **88%** de las personas encuestadas consideran que la implementación de una correcta estrategia de mantenimiento tendrá como uno de los resultados la disminución de la insatisfacción de los clientes.

De acuerdo con los anteriores hallazgos es evidente la falencia en cuanto al tema de implementación, capacitación de personal y ejecución de actividades de mantenimiento para los equipos livianos de construcción que componen las obras civiles de Acomeq Ingeniería S.A.S., por lo tanto, estos hallazgos serán tenidos en cuenta para la realización de la evaluación y selección de la estrategia adecuada de mantenimiento aplicable a las necesidades de la organización.

## **9.2 Evaluación y Selección de la Estrategia de Mantenimiento**

A continuación, se tomará como referencia algunas de las estrategias de mantenimiento más relevantes, con el fin de poder estudiarlas, compararlas y seleccionar una de acuerdo con los requerimientos y las necesidades de la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S.

Las estrategias que se tomarán en cuenta para dicho proyecto investigativo serán, el mantenimiento preventivo, correctivo, predictivo y basado en condición, de acuerdo a la tipología

de mantenimiento reseñada por González (2005) y la cual esta detallada en la figura 21., siendo el punto de partida para la selección de las estrategias de mantenimiento.



*Figura 21. Terminología del mantenimiento (González, 2005)*

Adicional a ello se contemplarán como puntos de evaluación para la correspondiente selección de la estrategia los siguientes parámetros:

- **Resultados a corto plazo:** Se evaluará la velocidad en que la estrategia de mantenimiento puede empezar a generar resultados, desde el punto de vista de la empresa y el proyecto entre más rápido se puedan generar resultados, esto será más favorable.

- **Inversión de recursos:** En este parámetro se pretende evaluar el nivel de inversión de recursos que se puedan requerir al usar la estrategia de mantenimiento que se esté evaluando, teniendo en cuenta todos los recursos que este implica (mano de obra, partes, servicios, etc.), para efecto de nuestro proyecto, entre menor inversión requiera la estrategia, más conveniente será para Acomeq Ingeniería S.A.S.
- **Complejidad en la ejecución del mantenimiento:** En este caso se toma este parámetro con el fin de valorar qué tan difícil es la ejecución de la estrategia de mantenimiento desde todo punto de vista, la planeación, programación, realización de las actividades de mantenimiento, métodos utilizados en la estrategia, entre otros; a mayor complejidad de la estrategia de mantenimiento, este recibirá el menor puntaje y/o calificación
- **Exigencia Técnica:** Para este parámetro, se considera el nivel de educación y capacitación que el personal técnico de mantenimiento y operación requiere para poder llevar a cabo la operación y mantenimiento de acuerdo con los procedimientos de cada estrategia; para efecto de la compañía a mayor nivel de capacitación se requiera, se deberá calificar con un menor puntaje.
- **Disponibilidad:** Se evaluará la estrategia teniendo en cuenta la disponibilidad teórica que la aplicación de la misma pueda traer a los equipos, en este parámetro entre mayor disponibilidad pueda traer a los equipos, se le dará una mayor calificación

- **Tiempos de parada:** En este parámetro se tendrá en cuenta la cantidad de tiempo que la aplicación de la estrategia de mantenimiento pueda acarrear a los equipos para la ejecución de las actividades de mantenimiento, entre mayor tiempo de parada, menor va a ser la calificación
- **Programación y planeación:** En este aspecto se evaluará si la estrategia de mantenimiento da la capacidad o la oportunidad de poder ejecutar una planeación y programación de las actividades de mantenimiento, por lo cual a mayor capacidad de planeación permita la estrategia de mantenimiento, tendrá una calificación mayor, tendiendo a 5.
- **Capacitación y entrenamiento:** A pesar de que las diferentes estrategias de mantenimiento requieren nivel de capacitación o conocimiento técnico, en este criterio se evaluará la cantidad de personal que requiere tenerse capacitado para poder llevar a cabo la estrategia de mantenimiento, para lo cual, entre mayor cantidad de personal capacitado requiera, menor debe ser su puntuación.
- **Predicción de fallas:** En este criterio se evaluará la capacidad que brinda la estrategia de mantenimiento para poder predecir las fallas que los equipos puedan sufrir, es por ello que entre más permita la predicción mayor calificación tendrá.
- **Requerimientos de personal:** Para este parámetro, se evalúa la cantidad de personal requerido para poder llevar a cabo la ejecución de la estrategia de mantenimiento, desde el punto de vista de Acomeq ingeniería S.A.S., y las

limitantes de presupuesto, se estima que entre menor cantidad de personal mayor será su calificación.

- **Medición de vida útil del equipo:** Aquí se evaluará en qué medida la estrategia de mantenimiento puede aportar para poder cumplir con el ciclo de vida estimado por el fabricante, para lo cual entre mayor extienda el ciclo de vida la estrategia, mayor calificación tendrá.
- **Control y seguimiento:** Para este parámetro se evalúa qué tanta capacidad de control y seguimiento permite ejecutar la estrategia de mantenimiento, puesto que algunas estrategias no toleran llevar el seguimiento o control de las secciones y partes intervenidas o las gestiones de mantenimiento ejecutadas en los equipos.
- **Requerimientos de partes y repuestos:** En este parámetro se evalúa la cantidad de partes/repuestos en términos de cantidades, inventario y dinero a invertir para poder llevar a cabo cada una de las estrategias de mantenimiento.

### ***9.2.1 Matriz de Valoración de Parámetros de Selección Estrategia de Mantenimiento***

Posterior a la definición de cada una de las variables y/o parámetros a tener en cuenta para la ejecución de la matriz de comparación y selección de la estrategia de mantenimiento apropiada para Acomeq Ingeniería S.A.S., se establece una ponderación para cada uno de los parámetros (ver tabla 6), de acuerdo con las necesidades definidas por la organización en términos de dinero, mantenibilidad, tiempos y disponibilidad.

Parametro	Valoracion				
	1	2	3	4	5
Resultados corto plazo	Mas de 12 meses	Entre 9 y 12 meses	entre 6 y 9 meses	entre 3 y 6 meses	menos de 3 meses
Inversión de recursos	Mas del 75% del presupuesto anual	Entre el 75 y 60% del presupuesto	entre el 60 y 40% del presupuesto	entre el 40 y 20% del presupuesto	menos del 20% del presupuesto
Complejidad	Muy alta complejidad	Alta complejidad	media complejidad	baja complejidad	minima complejidad
Exigencia técnica	Muy alta exigencia	alta exigencia	media exigencia	baja exigencia	minima exigencia
Disponibilidad	Menos del 52%	entre el 53 y 64%	entre el 65 y 74%	entre el 75 y 84%	mayor al 85%
Tiempos de parada	Mas de 8 dias/mes	entre 6 y 8 dias/mes	entre 4 y 6 dias/mes	entre 2 y 4 dias/mes	menos de 2 dias/mes
Programación y planeación	Minima capacidad planeacion	baja capacidad planeacion	media capacidad planeacion	alta capacidad planeacion	muy alta capacidad planeacion
Capacitación y entrenamiento	20% del personal tecnico debe estar capacitado	40% del personal tecnico debe estar capacitado	60% del personal tecnico debe estar capacitado	80% del personal tecnico debe estar capacitado	100% del personal tecnico debe estar capacitado
Predicción de fallas	Minima capacidad prediccion	Baja capacidad prediccion	media capacidad prediccion	alta capacidad prediccion	muy alta capacidad prediccion
Requerimientos de personal técnico	Muy alta asignacion de personal	Alta asignacion de personal	media asignacion de personal	baja asignacion de personal	minima asignacion de personal
Medicion vida útil del equipo	Conservacion al 60% de la vida util	Conservacion al 70% de la vida util	Conservacion al 80% de la vida util	Conservacion al 90% de la vida util	Conservacion total de la vida util
Control y seguimiento	Minima capacidad de control y seguimiento	baja capacidad de control y seguimiento	media capacidad de control y seguimiento	alta capacidad de control y seguimiento	muy alta capacidad de control y seguimiento
Requerimientos de partes y repuestos	Maximo Volumen de repuestos	Alto Volumen de repuestos	Medio Volumen de repuestos	Bajo Volumen de repuestos	Minimo Volumen de repuestos

*Tabla 6. Matriz de calificación de parámetros dentro de criterios para selección de estrategia de mantenimiento (Autores, 2022)*

### **9.2.2 Matriz de Evaluación para Elección de Estrategia de Mantenimiento Adecuada para Equipos Livianos de Construcción**

Definida la información preliminar y la calificación de parámetros utilizados como criterios para la realización del plan de mantenimiento se realiza la matriz de evaluación de parámetros aplicados a las estrategias de mantenimiento, de acuerdo a lo anterior se define la utilización de 4 estrategias de mantenimiento para aplicar al análisis (Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento



preventivo, mantenimiento predictivo y Mantenimiento Basado en Condición), el criterio para evaluar estas estrategias obedece a factores relacionados con:

- **Tamaño de la organización:** Acomeq ingeniería S.A.S. utiliza equipos livianos de construcción para el apoyo de las obras civiles, siendo este parte del proceso de realización del proyecto, por lo tanto, solo son indispensables en una parte de la etapa y por consiguiente la cantidad de proyectos y la programación de los mismos genera que se requieran los equipos a disposición de los mismos,
- **Costos de los equipos:** los equipos están catalogados en su mayoría como herramientas manuales, las cuales presentan un desgaste a medida de su utilización constante de acuerdo al ritmo de trabajo de los proyectos de obra civil, a lo cual es necesario evaluar el costo del mantenimiento a los equipos contra la utilización de los mismos en ellos proyectos.
- **Personal de mantenimiento:** De acuerdo a la cantidad de equipos utilizados y al tipo de mantenimiento a realizar, se requiere de personal calificado y entrenado para el cumplimiento de dicho propósito.
- **Tipo de proyecto:** este factor es importante debido a la demanda de los equipos a utilizar de acuerdo al tipo de proyecto y su tamaño.
- **Ubicación operacional:** por la naturaleza de la actividad de Acomeq Ingeniería S.A.S. es relevante integrar los equipos a los diferentes proyectos, esto genera en todos los casos la rotación de los mismos, causando un análisis de disponibilidad y

necesidades de operación por ubicación, por lo tanto, se hace indispensable incluir este parámetro en la selección.

De acuerdo a los parámetros indicados en el análisis anterior, y en base a las prestaciones dadas por las estrategias de mantenimiento evaluadas, se realiza la selección y se elige la más adecuada conforme a las necesidades y estado actual de los equipos que componen el área de obras Civiles de Acomeq Ingeniería S.A.S., (ver tabla 7), adaptando estos resultados a la matriz y efectuando la medición así:

Evaluación Estrategia de Mantenimiento				
Parámetro	Correctivo	Preventivo	Predictivo	Basado en condición
Resultados corto plazo	4	2	3	4
Inversión de recursos	2	2	3	4
Complejidad	4	3	2	4
Exigencia técnica	3	3	2	4
Disponibilidad	1	4	5	4
Tiempos de parada	2	2	3	4
Programación y planeación	1	3	4	3
Capacitación y entrenamiento	4	3	2	3
Predicción de fallas	1	3	5	4
Requerimientos de personal técnico	4	4	2	3
Medición vida útil del equipo	1	4	4	3
Control y seguimiento	2	4	4	3
Requerimientos de partes y repuestos	3	1	4	5
Total	32	38	43	48

*Tabla 7. Matriz de calificación de estrategias de mantenimiento Vs. parámetros de control equipos (Autores, 2022)*

Posterior a la evaluación de las diferentes estrategias de mantenimiento basado en los parámetros y necesidades de Acomeq Ingeniería S.A.S., se determina que bajo las condiciones actuales la estrategia de mantenimiento más adecuada es la de mantenimiento basado en condición.

### **9.3 Propuesta de implementación del sistema de mantenimiento basado en condición**

De acuerdo a la evaluación realizada tanto a los equipos como a las condiciones de la compañía, se determinó que la mejor estrategia de mantenimiento para los equipos de construcción de la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S., la estrategia del mantenimiento basado en condición, y a continuación se dictaran parámetros a manera de propuesta para que la empresa según lo decida implemente o no dicha estrategia.

#### ***9.3.1 Análisis y propuesta de política de mantenimiento Acomeq Ingeniería S.A.S.***

Con base en el análisis inicial de las estrategias de mantenimiento adecuadas para la continuidad y conservación de los equipos y maquinaria liviana de construcción de Acomeq Ingeniería S.A.S., y evidenciando la ausencia de una política clara de gestión de mantenimiento para este tipo de maquinaria, se hace necesaria la implementación de la misma, de acuerdo al resultado generado por la propuesta de los lineamientos del mantenimiento basado en condición, ya que el mantenimiento se encuentra direccionado a las fallas generadas por el funcionamiento continuo de los equipos sin un orden específico, ni un proceso que organice las actividades y escatime las necesidades de mantenimiento para las máquinas y equipos livianos de construcción que se involucran en la ejecución de las actividades de obras civiles de la empresa.

Inicialmente se identifica los factores que implican una necesidad para el mejoramiento de las actividades de mantenimiento, como es el hecho de que no existe una estrategia de mantenimiento para ser utilizada como un proceso que permita su capacidad de confiabilidad y disponibilidad para el desarrollo de las obras civiles en el momento que lo requiera la empresa.

Se utiliza el análisis de criticidad por equipos para determinar que los mismos dependiendo de su grado de afectación por su utilización, este es el punto de partida para determinar el plan de gestión de mantenimiento basado en condición de acuerdo a la necesidad de los mismos.

Ahora bien, con la identificación de esta falencia del área de mantenimiento y además de otras relacionadas con la consecución de repuestos (al no evidenciar el requerimiento de los mismos), capacitación del personal técnico que es inexistente y la inclusión de las áreas de ingeniería, SST, administrativa / financiera, y compras como apoyo para la gestión de mantenimiento y la mejora continua del proceso, se establece la siguiente política de Mantenimiento así:

### **POLÍTICA DE MANTENIMIENTO**

“Es política de ACOMAQ INGENIERIA S.A.S. el asesoramiento y ejecución de proyectos y soluciones integradas, innovadoras y llave en mano en arquitectura e ingeniería, bienestar y salud, mantenimiento, energía y eficiencia, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes y la normativa nacional e internacional, para tal fin, es de gran importancia que los equipos y maquinaria liviana de construcción que contribuyen al desarrollo de las obras civiles de los proyectos de la empresa, se encuentran en buen estado de mantenimiento, asegurando el estado óptimo de funcionamiento continuo, la confiabilidad y disponibilidad de los mismos, Iniciando con la planeación y programación de mantenimiento, hasta la continuidad de funcionamiento del equipo en condiciones óptimas, seguras y eficientes.”

Para tal fin, ACOMAQ INGENIERIA S.A.S. se compromete a:

1. Revisar, desarrollar y actualizar los planes y programas de mantenimiento basado en condición, siempre acorde a las recomendaciones de los fabricantes, y llevadas a la realidad de las necesidades de utilización por parte de la empresa.
2. Cumplir estrictamente con los tiempos y tolerancias de inspecciones, limpieza, ajuste, lubricación y cambio de componentes de acuerdo a lo recomendado por el fabricante.
3. Asegurarse que todo el personal involucrado en mantenimiento esté capacitado, y con las actitudes y aptitudes necesarias para realizar el adecuado mantenimiento de los equipos y maquinaria.
4. Realizar el mantenimiento con los materiales de calidad (completamente trazables y adecuada preservación) para el eficaz desarrollo de las actividades inmersas con estos.
5. Gestionar riesgos de seguridad en mantenimiento y promover la cultura proactiva de la seguridad.
6. Realizar todas las actividades de mantenimiento con las herramientas adecuadas y bajo ambientes seguros que permitan el desarrollo exitoso del mismo.
7. Asegurarse del estado óptimo de las herramientas utilizadas durante las actividades de mantenimiento.
8. Planear y desarrollar doctrinas y procesos de medición y control que mejoren el mantenimiento de los equipos y maquinaria de la empresa.
9. Mantener los registros de mantenimiento conforme al plan de gestión de mantenimiento de la empresa.

10. Gestionar y administrar de manera adecuada el presupuesto para el área de mantenimiento controlando los costos en beneficio de la organización.
11. Garantizar la calidad del mantenimiento como premisa fundamental del proceso para cumplir con lo estipulado en las políticas misionales de la organización.” (autores, 2022).

### ***9.3.2 Caracterización del área de mantenimiento para Acomeq ingeniería S.A.S.***

Para este fin se modela una caracterización con los resultados organizacionales esperados para el área de mantenimiento de Acomeq Ingeniería S.A.S., la cual además involucra a las demás áreas, como las destinadas para el apoyo del proceso (gestión de compras, almacén, SST, gestión administrativa y financiera.), además de las actividades generadas luego de la implementación de la estrategia de mantenimiento (basado en condición) como el desarrollo de listas de chequeo LILA, la solicitud de materiales y repuestos, la capacitación y entrenamiento de personal técnico etc. Además de la identificación de los entregables que se deben generar dentro del proceso para finalmente concluir, con las salidas del mismo y sus receptores finales, adecuando este procedimiento a la mejora continua del área de mantenimiento.

Esto se genera en un diagrama estructurado (ver Figura 22), que relaciona el proceso con entradas y salidas así:

ACOMEQ

CARACTERIZACIÓN PROCESO DE MANTENIMIENTO

PROCESO PROVEEDOR	ENTRADAS INSUMOS	SUBPROCESOS / ACTIVIDADES	RESPONSABLE	RESULTADOS ENTREGABLES	CLIENTES
Fabricantes	Vida límite de componentes Frecuencia de inspecciones	Planeación y programación del mantenimiento	Jefe de Mantenimiento	Control vencimientos de mantenimiento	Gestión Gerencial
Ingeniería	Reporte utilización equipos			Acta de análisis de mantenimiento	Gestión Comercial
Almacén	inventario equipos			Solicitud de materiales / insumos para reparación	Gestión de compras y almacén
Mantenimiento	Orden de trabajo Guías de inspección	Ejecución y supervisión mantenimiento basado en condición	Jefe de Mantenimiento  Personal Técnico	Registros de mantenimiento continuados y diferidos	Planeador Mantenimiento
Compras y Almacén	Repuestos e insumos con su trazabilidad Herramientas convencionales y/o especiales Servicios de mantenimiento tercerizado			Material para reparación, sobrante y/o dar de baja	Compras y Almacén
Área Administrativa y Financiera	Apoyo logístico			Copia orden de trabajo a taller externo	Gestión Administrativa y Financiera

PROCESO PROVEEDOR	ENTRADAS INSUMOS	SUBPROCESOS / ACTIVIDADES	RESPONSABLE	RESULTADOS ENTREGABLES	CLIENTES
Fabricantes	Documentación técnica	Gestión de documentación técnica	Jefe de mantenimiento	Documentos para aceptación	Gerencia
Gerencia	Requerimientos internos				
Centros de Capacitación	Capacitación y entrenamiento	Control y entrenamiento técnico	Jefe de Mantenimiento	Copia certificado cursos	Gerencia
Gerencia	Políticas y directrices gerenciales	Análisis de datos	Jefe de Mantenimiento Personal técnico	Informes de gestión	Gerencia

Figura 22. Caracterización proceso de mantenimiento Acomeq Ingeniería S.A.S.

(Autores, 2022)

Esta caracterización contribuirá a la organización eficaz del proceso de mantenimiento de Acomeq Ingeniería S.A.S. y ayudará a cumplir el objetivo propuesto para el mantenimiento de equipo y maquinaria liviana de construcción, alineándose a la misión y visión de la empresa.

### ***9.3.3 Desarrollo del Procedimiento de Mantenimiento para Equipos de Construcción Livianos Acomeq Ingeniería S.A.S.***

El procedimiento de mantenimiento basado en condición propuesto para los equipos livianos de construcción que posee la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S. se divide en dos aspectos de cumplimiento para el desarrollo de las actividades de mantenimiento como lo son el procedimiento de mantenimiento basado en condición y el chequeo pre operacional, los cuales se describen a generalidad dentro del proceso completo de mantenimiento así:

- Generalidades del procedimiento de mantenimiento basado en condición:

El proceso de mantenimiento se iniciará con el control estricto de las condiciones y estado de los equipos, dado esto por el monitoreo constante que se le ha realizado al equipo en su utilización en los diferentes proyectos de obra, estableciendo el seguimiento y personal relacionado en el proceso, para entender más a fondo el concepto de lo que se desea alcanzar en esta fase se establece el siguiente diagrama de flujo del proceso descrito a continuación.

#### **9.3.3.1 Diagrama de Flujo Proceso Mantenimiento Basado en Condición.**

Para la aplicación de la estrategia de mantenimiento basado en condición se genera un diagrama de proceso (ver figura 23), que explica de manera precisa los pasos necesarios para la



ejecución de la misma en los equipos que componen el lote de maquinaria liviana de construcción de Acomeq Ingeniería S.A.S. este proceso será aplicado en su totalidad por el Director de Mantenimiento y será el mismo, el encargado de efectuar revisión de los pasos generados durante el proceso, además de ser el gestor en el inicio, programación, asignación de personal técnico, ejecución y medición de resultados del proceso, además de trabajar en correlación con las demás direcciones o coordinaciones pertinentes, para que el proceso tenga los resultados esperados, la secuencia de aplicación se demuestra a continuación:

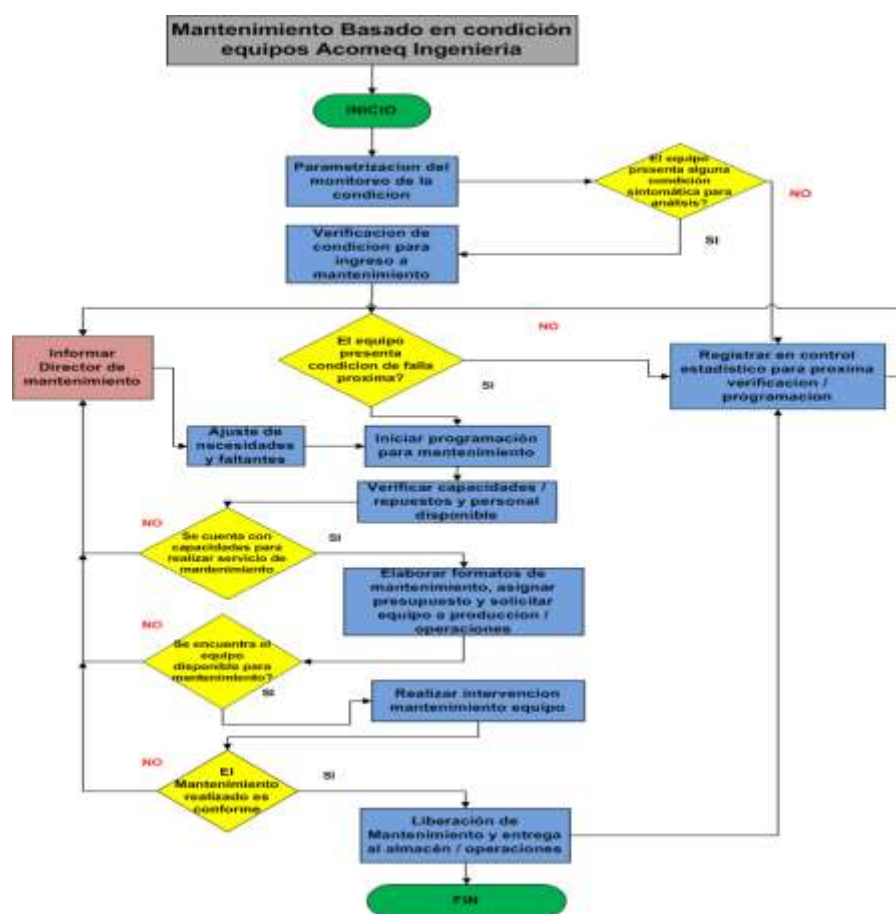


Figura 23. Diagrama de flujo proceso de Mantenimiento Basado en Condición Acomeq Ingeniería S.A.S., (Autores, 2022)

En caso de que el equipo esté en almacenamiento y el área comercial decida programar la utilización del mismo dentro de las actividades de construcción de obra civil, se debe establecer el chequeo preoperacional como estrategia inicial para la disposición del mismo dentro de este concepto como el primer paso antes de la entrega del equipo al personal de operarios de obras civiles, para tal fin se establece el proceso con el siguiente diagrama de flujo (ver figura 24), que contribuye a la comprensión más a fondo el concepto de lo que se desea alcanzar en esta fase dentro del proceso, el cual esta descrito a continuación.

#### **9.3.3.2 Diagrama de Flujo Proceso Chequeo preoperacional Equipos.**

Durante el proceso de entrega y salida de los equipos de maquinaria liviana de construcción se pueden presentar condiciones de falla de los mismos, lo cual repercute en la utilización de los mismos en las obras civiles a los cuales han sido programados, para evitar traumatismos en el desarrollo de estas obras el Director de mantenimiento de Acomeq Ingeniería S.A.S implementará el proceso de chequeo pre operacional de los mismos, el responsable de la ejecución de este chequeo inicial será el encargado del almacén general, se recomienda que este funcionario tenga experiencia en mantenimiento de equipos, para llevar a cabo el chequeo, en caso de que se encuentre un inconveniente relacionado con el funcionamiento del equipo, deberá reportar el hallazgo a la dirección de mantenimiento, la cual inicia con la activación del procedimiento para conducir las acciones de mantenimiento y activará el inicio, programación, asignación de personal técnico, ejecución y medición de resultados del proceso, siendo el mismo responsable de las acciones de mejoras necesarias para retornar al servicio los equipos ingresados a mantenimiento

en óptimas condiciones de utilización. de igual manera este proceso deberá trabajar en correlación con las demás direcciones o coordinaciones pertinentes, para que el proceso tenga los resultados esperados, la secuencia de aplicación se demuestra a continuación:

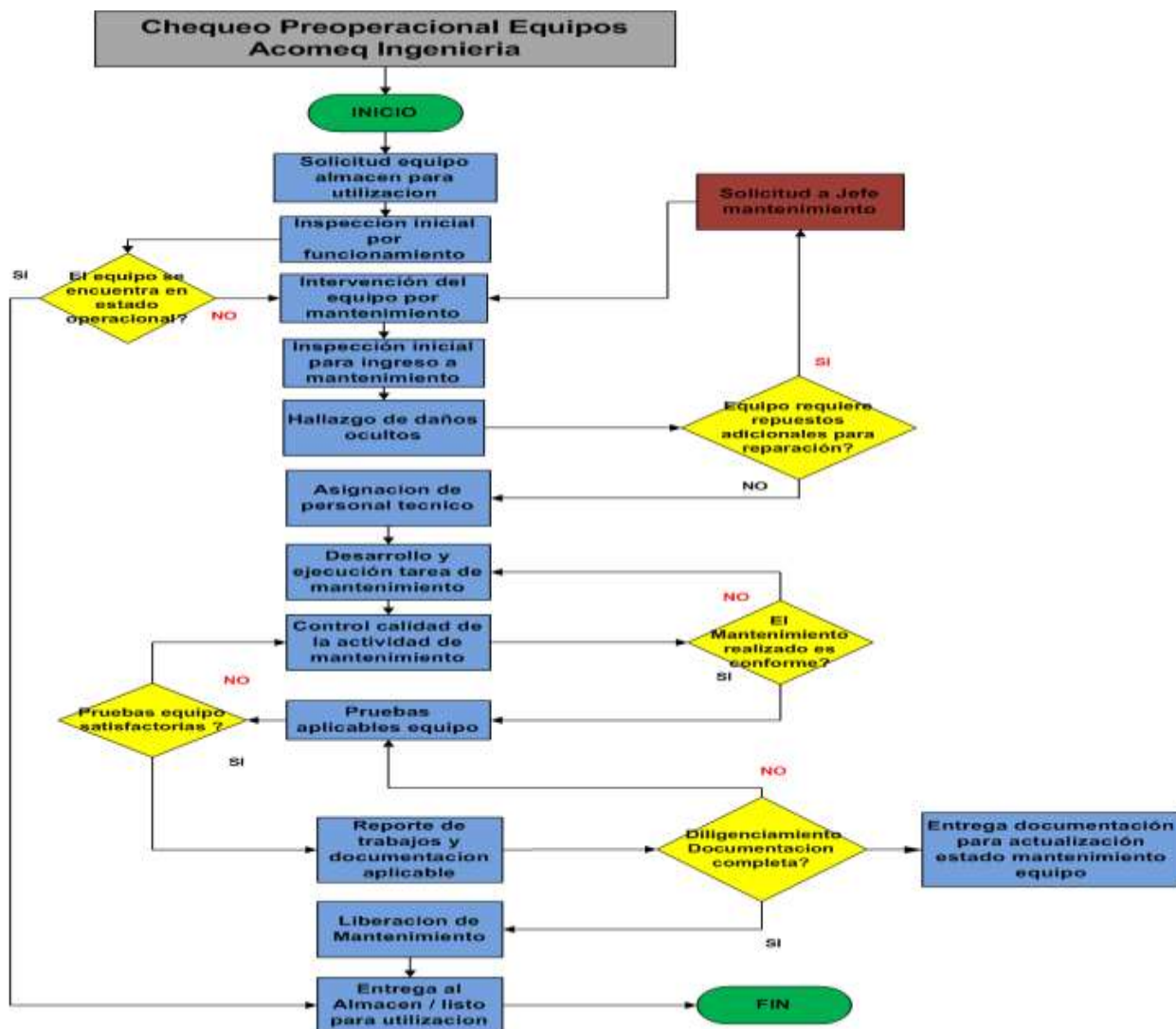


Figura 24. Diagrama de flujo proceso chequeo pre operacional Acomeq Ingeniería

S.A.S., (Autores, 2022)

### **9.3.3.3 Implementación formatos LILA.**

Una de las técnicas más comunes dentro de las diferentes estrategias de mantenimiento son los formatos LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación, Ajuste), que consiste en un modelo de lista de chequeo, en el cual se abarcan y evalúan los diferentes procesos para la verificación de la condición de un equipo o activo fijo, de esta manera obtener un panorama general del equipo junto con la ejecución de labores básicas de mantenimiento. De igual manera con estos resultados se pueden tomar decisiones respecto a futuras actividades.

Este formato (ver figura 25), será incluido en todos los eventos de mantenimiento tanto preoperacional como basado en condición, allí se consignará la información pertinente al estado del equipo y se llevará control del estado del mismo y sus observaciones, ya que de los resultados de evaluación del mismo dependerá la inclusión del equipo a mantenimiento basado en condición, pero de igual forma se recomienda incluir este formato de carácter obligatorio en el chequeo preoperacional para un eficiente resultado en cuanto al control de las condiciones del equipo para su utilización, el formato y su contenido se describe a continuación:

ACOMEQ INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

FORMATO LILA

EQUIPO: Taladro demoledor # \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

	Activiades	Bueno	Malo	N/A
<b>L</b>	Limpie el cable de alimentación eléctrica, eliminando restos de concreto			
	Limpie las maniguetas de operación con un trozo textil			
	Limpie las puntas/herramientas utilizadas			
	Limpie el porta herramientas eliminando cualquier rastro de suciedad			
	Limpie la estructura general del equipo, utilice aire a presión			
	Limpie la escobillas utilizando aire a presión			
<b>I</b>	Limpie el switch de encendido, eliminando objetos extraños y polvo			
	Inspeccione la alimentación eléctrica, clavija, cable y conexiones			
	Inspeccione el porta herramientas, que no tenga exceso de holgura			
	Inspeccione el seguro del porta herramienta para comprobar operación			
	Inspeccione el calibre de las escobillas, que estén en nivel aceptable			
	Inspeccione el switch de encendido, verificar correctamente en ON/OFF			
<b>L</b>	Inspeccione el motor y el equipo, atento a ruidos extraños			
	Lubrique el porta herramienta con grasa de bajo costo			
	Lubrique el buje del seguro de porta herramienta con aceite en spray			
	Aplique limpia contactos en clavija, conexiones y escobillas			
	Lubrique la caja de transmisión y sus piñones			
	Lubrique los rodamientos de agujas del cigüeñal			
<b>A</b>	Ajuste las conexiones eléctricas y clavija			
	Ajuste el seguro porta herramientas			
	Ajuste el filo de las puntas/ herramientas con el ángulo deseado			
	Ajuste tapas y cubiertas			
	Ajuste toda la tornillería en general			

Descripción de la condición actual, observaciones y recomendaciones:


Ejecutado por : \_\_\_\_\_ Revisado por: \_\_\_\_\_

Figura 25. Formato LILA checklist propuesto para equipo taladro demoledor (Autores, 2022).

### 9.3.3.4 Indicadores de medición para mantenimiento equipos de construcción

#### livianos Acomeq Ingeniería S.A.S.

Dentro del marco de la propuesta de implementación de la presente estrategia de mantenimiento que se está llevando a cabo para la empresa Acomeq Ingeniería S.A.S., se pretende proponer y establecer algunos indicadores con el fin de que la empresa posterior a su implementación pueda continuar trabajando en el ciclo PHVA, con el fin de establecer las modificaciones y/o posibles mejoras para que dicho plan y estrategia de mantenimiento tenga la eficacia correspondiente.

Debido a lo anterior se plantean los siguientes indicadores:

- Disponibilidad

Se considerará el cálculo de la disponibilidad (ver figura 26), con el fin de poder llevar un indicador de control en el cual se pueda ver que tanto tiempo basado en los históricos el equipo está disponible para ejecutar su trabajo.

$$D = \frac{TO - \sum TA}{TO}$$

TO= Tiempo requerido.

TA= Tiempos de Paro

*Figura 26. Fórmula para el cálculo de disponibilidad (Torres, 2015).*

En este indicador se pretende definir la cantidad de tiempo que el equipo se encuentra disponible para poder desempeñar sus funciones en los proyectos al cual ha sido asignado, este indicador arroja el valor de porcentaje, indicando qué cantidad de tiempo se encontró disponible para trabajar.

Se sugiere a Acomeq Ingeniería S.A.S., que tome como referencia un objetivo superior al 90% de disponibilidad, y que genere una alerta y/o acciones correctivas inmediatas cuando este indicador esté por debajo del 80% de disponibilidad.

- Confiabilidad (R)

Adicional a la disponibilidad, se debe tener en cuenta la confiabilidad, la cual otorga la probabilidad de que el equipo lleve a cabo su función a cabalidad, este modelo está basado en estadísticas e históricos que deben ser recopilados previamente por el área de mantenimiento para poder determinar este indicador

Para el cálculo de este indicador de confiabilidad tenemos dos vías las cuales se plantean por medio de la formula (ver figura 27):

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{mtbf}}$$

*Figura 27. Formula confiabilidad (Torres, 2015)*

La primera es determinar el valor de la variable  $\lambda$  (lambda) en el cual se busca la relación entre la cantidad de tiempo operativo que ha estado el equipo versus la cantidad de fallas que se presentaron en el periodo histórico de estudio, de la siguiente manera:

$\lambda$ =Cantidad de fallas/tiempo de operación

Posterior a encontrar el valor de  $\lambda$  se puede aplicar la primera fórmula en función del tiempo que se desea conocer la confiabilidad en un estimado de tiempo T.

t= Periodo de evaluación.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Para el segundo método de aplicación de confiabilidad se realiza basado en el cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF), como se describe en la figura 28, y el cual esta expresado como:

$$MTBF = \frac{\text{tiempo calendario} - \text{tiempo fallas}}{\text{tiempo calendario}}$$

*Figura 28. Formula tiempo medio entre fallas (Tabuyo Pizarro, 2015)*

Posterior a encontrar el tiempo medio entre fallas, se aplica la segunda fórmula para encontrar la aplicación de la confiabilidad

$$R(t) = e^{-\frac{t}{mtbf}}$$

Al aplicar la fórmula se puede determinar la confiabilidad en un periodo de tiempo T, al igual que en el anterior método.



Con este indicador se puede determinar la probabilidad en tiempo de que el equipo funcione adecuadamente, para ello se sugiere evaluar en ese tiempo T y determinar qué acciones a tomar o que riesgo de falla se pueda tener al momento de usar el equipo en T cantidad de semanas o horas, basado en los datos históricos, para dicho indicador se sugiere que si la confiabilidad está por debajo de un 65%, se recomienda revisar alguna alternativa de un sistema redundante o un equipo de respaldo en caso de falla, si la confiabilidad está entre el 66% y el 80% se considera que es una confiabilidad moderada el cual permite seguir adelante con el proyecto sugiriendo una revisión intermedia de la condición del equipo, durante el periodo de uso, y si la confiabilidad está por encima del 80% se sugiere continuar con los controles establecido por el sistema de mantenimiento basado en condición.

- Cantidad de proyectos terminados a tiempo (afectado por fallas en los equipos)

Se sugiere este indicador (ver Figura 29), con el fin de poder determinar la cantidad de proyectos que se han visto afectados por el incorrecto funcionamiento de los equipos,

$$CPTT = \frac{\text{proyectos totales} - \text{proyectos no finalizados a tiempo}}{\text{proyectos totales}}$$

*Figura 29. Fórmula CPTT (Autores, 2023)*

Se espera que cuando la estrategia de mantenimiento sea implementada, dicho indicador se ubique sobre el 95% que los proyectos sean implementados a tiempo sin retrasos, y un rango aceptable entre el 85% y 94%, si es que en algún momento el indicador llega a bajar de los rangos

sugeridos (bajo de 85%) se recomienda realizar una validación y asegurar que los procedimientos de mantenimiento se están cumpliendo o como segunda medida realizar un análisis de causa raíz para determinar las fallas, posibles soluciones y asegurar que los proyectos se finalicen a tiempo.

- Costo del mantenimiento sobre el valor de reposición

Con el fin de determinar si el mantenimiento de los equipos y el coste asociado al mismo está siendo la manera más eficiente, se plantea este indicador (ver figura 30), en donde se puede validar cual es el gasto anual de mantener cada equipo y se compara con el costo de reposición del equipo, así la empresa a futuro definirá si es mejor mantenerlo (reparar) o si es mejor llevar el equipo a falla y realizar su reemplazo por uno nuevo

$$CM \text{ vs } R = \frac{\text{suma costos mantenimiento de equipo anual}}{\text{valor de reposición}}$$

*Figura 30. Fórmula costo del mantenimiento / valor reposición (Tavares, 2000)*

La expectativa con este indicador es que se pueda determinar si en dicho momento es viable continuar manteniendo el equipo o si por el contrario es más factible realizar la reposición del equipo mediante la compra de uno nuevo; para ello se determinan los siguientes rangos, si el valor del indicador se encuentra entre el intervalo de 0% y 50% continuar automáticamente con el mantenimiento del equipo, si el indicador se encuentra entre el 51% y el 75% se sugiere hacer una evaluación adicional para determinar si la reparación o mantenimiento a efectuar extiende el ciclo de vida es igual o por lo menos a un 90% del tiempo de vida de un equipo nuevo, y si el indicador

se encuentra por encima del 75% se sugiere evaluar la posibilidad de realizar la adquisición de uno nuevo y reemplazar el existente.

- Rotación de inventarios

Debido a que se está sugiriendo tener un inventario de repuestos de los elementos más esenciales para la operación y mantenimiento de los equipos de Acomeq, se está proponiendo este indicador, (ver Figura 31), con el fin de poder determinar si los materiales que se tienen en el inventario realmente están teniendo rotación o no.

$$\text{Rotacion de inventarios} = \frac{\text{suma de las salidas de almacen}}{\text{cantidad media de stock}}$$

*Figura 31. Fórmula rotación de inventarios (De Diego, 2022).*

Entre más alto sea el número arrojado por el anterior indicador, significa que más ha rotado el inventario, por lo que se supondría a primera instancia que el inventario definido para mantener es el correcto, sin embargo, este se debe acompañar con los análisis de cada uno de los componentes, ya que, si se tiene una alta rotación para pocos equipos, quiere decir que los componentes se pueden estar presentando desgastes más rápidos o frecuentes de lo que deberían ser.

Con respecto de este indicador, se espera que la rotación de materiales sea lo más alto posible, y para ello se define que un estado saludable de la rotación el cual debería estar por encima del 85%, un estado aceptable se considera si la rotación de materiales del almacén se encuentra entre el 70% y 85%, y si la rotación del material es por debajo del 70% se sugiere hacer

un análisis del inventario actual, para poder actualizar los materiales, ingresando nuevos materiales que se estén consumiendo frecuentemente, así como excluyendo los de baja rotación y eliminando los obsoletos.

Para todos los anteriores indicadores, se ha diseñado una matriz en Excel, la cual se incluirá en el capítulo de anexos de dicho proyecto para el manejo y control futuro de Acomeq Ingeniería S.A.S.

En dicha matriz propuesta (ver Figura 32), se sugiere que el programador de mantenimiento sea el encargado de llevar la alimentación, seguimiento y control de los indicadores, además deberá tener en cuenta los comentarios en cada una de las celdas, así como las celdas que se deben diligenciar para realizar un correcto uso de la matriz, en este caso como se observa en la siguiente figura, los campos que se deben diligenciar son únicamente los campos marcados en rojo:


 <b>Matriz De Indicadores Propuestos Para Acomeq Ingeniería</b>	
<b>Datos para calculo de Disponibilidad y Confiabilidad (calculo en dias)</b>	
Tiempo total disponible	365
tiempo operativo	335
tiempo inoperativo	30
cantidad de fallas	5
Periodo de evaluacion de confiabilidad	10
<b>Disponibilidad</b>	<b>92%</b>
<b>Confiabilidad (1er metodo)</b>	<b>86.1%</b>
landa	1%
<b>Confiabilidad (2do metodo)</b>	<b>86.1%</b>
MTBF	67
<b>Costo del mantenimiento sobre el valor de reposición</b>	<b>10%</b>
Suma costos mto de equipo Anual	650
Valor de reposición	850
<b>Cantidad de proyectos terminados a tiempo (CCPT)</b>	<b>98%</b>
Proyectos Totales Ejecutados	200
Proyectos no finalizados a tiempo   a causa de una falla de equipo	5
<b>Rotación de Almacén</b>	<b>10%</b>
Valor materiales consumidos del Almacen (para mto)	100,000
valor materiales almacen	980,000

Figura 32. Matriz propuesta de indicadores (Autores, 2022).

Para el diligenciamiento se sugiere que el programador pida mensualmente los datos para que pueda llevar un registro histórico y se tenga trazabilidad de los datos y los hechos mes a mes, con estos datos y el correcto uso de la matriz de indicadores, la idea es que pueda identificar las oportunidades de mejora y las acciones a tomar en caso de encontrarse desviaciones en el proceso y los indicadores.

#### **9.4. Análisis Costo Beneficio Proyecto Implementación estrategia de mantenimiento para Acomeq Ingeniería S.A.S.**

Además de la implementación teórica que implica realizar un proyecto de propuesta para el análisis matricial de una estrategia de mantenimiento adecuada para los equipos livianos de construcción de Acomeq Ingeniería S.A.S., se deben evaluar los costos agregados a dicha implementación, de lo cual se deduce si la propuesta es acorde a la realidad financiera de la empresa y por lo tanto definir si esta es viable, analizando el costo y sus implicaciones, además de la ganancia o beneficio que resultará luego de realizado el ejercicio.

Para tal fin se establecen los costos de implementación de la propuesta (ver Tabla 8), seguido a esto se calculan los costos de afectación por inactividad de equipos por proyecto, además se analizan los costos asociados a los repuestos mínimos necesarios para labores de mantenimiento de los mismos y finalmente se ejecuta la relación de costo beneficio y retorno de la inversión, lo cual será analizado de la siguiente manera:

#### 9.4.1 Costos Propuesta implementación Proyecto

Para la propuesta de implementación del proyecto se generaron los siguientes costos los cuales se describen a continuación:

Rubro	Cantidad	Costo unitario	SubTotal
Horas estudiantes posgrado	528	\$ 15,000.00	\$ 7,920,000.00
Horas de entrenamiento y capacitacion	192	\$ 15,000.00	\$ 2,880,000.00
Contratacion personal (tecnico de mtto y Almacenista)	1	\$ 2,604,000.00	\$ 2,604,000.00
Computador	1	\$ 1,700,000.00	\$ 1,700,000.00
transportes	12	\$ 20,000.00	\$ 240,000.00
Equipos de proteccion personal	3	\$ 52,100.00	\$ 156,300.00
Herramientas de mano	1	\$ 220,000.00	\$ 220,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 15,720,300.00</b>

*Tabla 8. Costos de propuesta de implementación proyecto (Autores, 2023).*

Del anterior ejercicio se deduce que por costos de propuesta de implementación se genera un valor de \$15'720.300, seguido a esto se describen los costos de afectación por inactividad de equipos por proyecto, para estos datos se genera la participación de la Dirección de mantenimiento y de obras civiles de Acomeq Ingeniería S.A.S., en cuanto al suministro de los mismos para el cálculo de estos costos, los cuales se relacionan a continuación:

#### 9.4.2 Costos de afectación por inactividad de equipos por proyecto.

Según los cálculos y los datos compartidos por Acomeq Ingeniería S.A.S. (ver tabla 9), en promedio un día de mano de obra en proyectos está costando alrededor de \$1.335.385 y que en promedio cada proyecto está teniendo retrasos por 3 días, debido a las paradas o fallas de los equipos, por la cuales afecta o impide el desarrollo del proyecto.

Adicionalmente se estima que, por año, Acomeq Ingeniería S.A.S., está desarrollando 15 proyectos que implican obras civiles, por lo cual se proyecta que en total se esté teniendo un retraso anual de 45 días, lo que impacta financieramente la empresa en un valor aproximado de \$60.092.308

<b>Rubro</b>	<b>Cantidad/costos</b>
Costo mano de obra día /Proyecto	\$ 1,335,385
Cantidad promedio días de retraso/Proyecto	3
<b>Total costo retraso /Proyecto</b>	<b>\$ 4,006,154</b>
Cantidad de proyectos	15
<b>Total Costos de retrasos anuales</b>	<b>\$ 60,092,308</b>

*Tabla 9. Costos anuales por retrasos (Autores, 2023).*

De acuerdo con los históricos de fallas reportados en los proyectos por Acomeq Ingeniería S.A.S., Se logra identificar que aproximadamente el 50% de fallas se podrían prevenir tan solo con la aplicación de los procedimientos de mantenimiento aplicables a la propuesta (formatos LILA, inspecciones preoperacionales); teniendo en cuenta que actualmente los equipos son transportados a las locaciones de los proyectos, y al momento de realizar su uso varias veces, los equipos han estado averiados o fuera de rango de funcionamiento idóneo, lo cual conlleva a que se considere el traer un equipo de respaldo, o en caso de que no se cuente con el disponible, se procede con el alquiler del mismo, ocasionando sobre costos y retrasos en los proyectos.

Debido a lo anterior, se espera que por lo menos y como punto de partida objetivo se logre reducir el tiempo de retraso en los proyectos en un 50%, es decir pasar de 3 días a 1.5 días de retraso en promedio por cada proyecto efectuado, lo anterior queda descrito en la tabla 10, indicada a continuación:

Rubro	Cantidad/costos
Total Costos de retrasos anuales	\$ 60,092,308
Reduccion 50% de retrasos	\$ 30,046,154

*Tabla 10. Reducción de costos estimados con la estrategia de mantenimiento (Autores, 2023).*

Como se puede observar previo a la implementación de la estrategia de mantenimiento, en promedio se tienen costos por retrasos en los proyectos aproximadamente de \$60.092.308, sin embargo, con la propuesta de implementación de la estrategia de mantenimiento basada en condición se espera que tengamos reducciones de al menos el 50%, por lo cual se disminuye a \$30.046.154.

#### ***9.4.3 Costos Repuestos Mínimos Realización Mantenimiento Basado en Condición Equipos Acomeq Ingeniería S.A.S.***

Es de vital importancia junto con la estrategia definida contar con los elementos necesarios para su respectiva ejecución, de esta manera se realizó un análisis de criticidad de refacciones mínimas, de acuerdo a 2 principales parámetros, el valor financiero de las refacciones y su criticidad. Para realizar dicho análisis de refacciones utilizamos el método PRCV “Priorización de repuestos por criticidad y valor económico”, este método consiste en la combinación de las técnicas de priorización por jerarquización y la técnica XYZ de agrupación de refacciones por su valor.



### 9.4.3.1 Presupuesto de adquisición de refacciones mínimas recomendadas para los equipos livianos de construcción Acomeq Ingeniería S.A.S.

Con el fin de obtener un valor estimado del stock mínimo de refacciones para los equipos livianos, se realiza una valoración de estos elementos en el mercado (ver figura 33), tomando valores nominales de refacciones originales directamente con los distribuidores autorizados de cada marca y fueron tabulados por tipo de equipo demostrados a continuación:

INVENTARIO MINIMO DE REFACCIONES PARA EQUIPOS LIVIANOS DE CONSTRUCCION ACOMEQ INGENIERIA					
Equipo	PULIDORAS				
Item	Referencia	Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Subtotal
1	392574-01	1	Kit escobillas en carbon	\$ 48.000	\$ 48.000
2	N389509	1	Rodamiento trasero	\$ 29.000	\$ 29.000
3	N110359	1	Rodamiento delantero	\$ 42.000	\$ 42.000
4	636500-00	1	Switch	\$ 49.000	\$ 49.000
5	N286360	1	Piñon de potencia	\$ 45.000	\$ 45.000
1	N398020	1	Eje central herramienta	\$ 37.000	\$ 37.000
SUBTOTAL					\$ 250.000
IVA					\$ 47.500
TOTAL					\$ 297.500

INVENTARIO MINIMO DE REFACCIONES PARA EQUIPOS LIVIANOS DE CONSTRUCCION ACOMEQ INGENIERIA					
Equipo	LIJADORA DE BANDA				
Item	Referencia	Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Subtotal
1	22-18-0580	1	Set escobillas en carbon	\$ 47.000	\$ 47.000
2	02-04-0849	2	Rodamiento de bola	\$ 12.000	\$ 24.000
3	02-50-2435	1	Rodamiento de aguja	\$ 15.000	\$ 15.000
4	02-04-1201	1	Rodamiento de bola	\$ 12.000	\$ 12.000
5	02-04-0645	1	Rodamiento de bola	\$ 10.000	\$ 10.000
6	23-66-0166	1	Switch	\$ 27.000	\$ 27.000
SUBTOTAL					\$ 135.000
IVA					\$ 25.650
TOTAL					\$ 160.650

INVENTARIO MINIMO DE REFACCIONES PARA EQUIPOS LIVIANOS DE CONSTRUCCION ACOMEQ INGENIERIA					
Equipo	Mezcladora				
Item	Referencia	Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Subtotal
1	CIP518139	2	Banda de seccion 852 (correa)	\$ 90.000	\$ 180.000
2	CIP515557	1	Piñon de potencia	\$ 120.000	\$ 120.000
3	CIP492178	2	Rodamiento 6205 2RS	\$ 70.000	\$ 140.000
4	CIP510955	1	Rodamiento conico 2788	\$ 135.000	\$ 135.000
5	CIP224578	1	Braker 30 amp	\$ 143.000	\$ 143.000
6	CIP873457	2	Rodamiento 6202 2 RS motor	\$ 25.000	\$ 50.000
SUBTOTAL					\$ 768.000
IVA					\$ 145.920
TOTAL					\$ 913.920

INVENTARIO MINIMO DE REFACCIONES PARA EQUIPOS LIVIANOS DE CONSTRUCCION ACOMEQ INGENIERIA					
Equipo	ESMERIL				
Item	Referencia	Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Subtotal
1	5140013-68	2	Rodamiento de bolas	\$ 12.500	\$ 25.000
2	5140013-87	1	Switch principal	\$ 31.000	\$ 31.000
3	5140023-72	1	Capacitor de arranque	\$ 15.000	\$ 15.000
4	5140023-67	1	Estator	\$ 24.000	\$ 24.000
5				\$ -	\$ -
6				\$ -	\$ -
SUBTOTAL					\$ 95.000
IVA					\$ 18.050
TOTAL					\$ 113.050

INVENTARIO MINIMO DE REFACCIONES PARA EQUIPOS LIVIANOS DE CONSTRUCCION ACOMEQ INGENIERIA					
Equipo	TALADRO ROTO MARTILLO				
Item	Referencia	Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Subtotal
1	1 617 000 425	2	Set de escobillas en carbon	\$ 114.000	\$ 228.000
2	1 610 910 091	1	Kit de rodamientos general	\$ 350.000	\$ 350.000
3	1 615 430 015	1	Grasa antifriction y anigotao	\$ 180.000	\$ 180.000
4	1 610 210 213	1	Kit oring y empaques	\$ 67.000	\$ 67.000
5	1 617 200 124	1	Switch principal	\$ 77.000	\$ 77.000
6	2 617 205 124	1	Set sinceles rotomartillo	\$ 58.000	\$ 58.000
SUBTOTAL					\$ 960.000
IVA					\$ 182.400
TOTAL					\$ 1.142.400

INVENTARIO MINIMO DE REFACCIONES PARA EQUIPOS LIVIANOS DE CONSTRUCCION ACOMEQ INGENIERIA					
Equipo	PULVERIZADOR				
Item	Referencia	Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Subtotal
1	189920	1	Strainer (Filtro succion)	\$ 96.000	\$ 96.000
2	185978	1	Kit boquilla pulverizador MV	\$ 420.000	\$ 420.000
3	119541	1	Switch de encendido	\$ 25.000	\$ 25.000
4	244067	2	Filtro 60 mesh fluidos	\$ 112.000	\$ 224.000
5	117559	1	Junta torica MV incluye oring	\$ 65.000	\$ 65.000
6	193710	1	Kit empaquetadura	\$ 83.000	\$ 83.000
SUBTOTAL					\$ 913.000
IVA					\$ 173.470
TOTAL					\$ 1.086.470

INVENTARIO MINIMO DE REFACCIONES PARA EQUIPOS LIVIANOS DE CONSTRUCCION ACOMEQ INGENIERIA					
Equipo	SIERRA CIRCULAR				
Item	Referencia	Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Subtotal
1	5140050-70	2	Set escobillas en carbon	\$ 12.000	\$ 24.000
2	5140050-76	2	Kit rodamientos y bujes	\$ 36.000	\$ 72.000
3	5140049-01	2	Disco de corte	\$ 53.000	\$ 106.000
4	5140050-04	1	Switch principal	\$ 22.000	\$ 22.000
5	5140050-01	1	Cable de alimentacion	\$ 12.000	\$ 12.000
6	5140050-82	1	Tuerca de ajuste	\$ 8.000	\$ 8.000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 244.000</b>
<b>IVA</b>					<b>\$ 46.380</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 290.380</b>

INVENTARIO MINIMO DE REFACCIONES PARA EQUIPOS LIVIANOS DE CONSTRUCCION ACOMEQ INGENIERIA					
Equipo	TALADROS				
Item	Referencia	Cantidad	Descripcion	Valor unitario	Subtotal
1	992574-01	1	Kit escobillas en carbon	\$ 44.000	\$ 44.000
2	N389509	1	Rodamiento trasero	\$ 24.000	\$ 24.000
3	N110359	1	Rodamiento delantero	\$ 36.000	\$ 36.000
4	B36500-00	1	Switch	\$ 49.000	\$ 49.000
5	N386560	1	Piñon de potencia	\$ 39.000	\$ 39.000
					\$ -
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 192.000</b>
<b>IVA</b>					<b>\$ 36.480</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 228.480</b>

Figura 33. Presupuesto individual por equipos (Autores, 2023)

El resultado del ejercicio de obtener un estimado de costos de refacciones para los equipos livianos de construcción (ver Tabla 11) para someterlos a la estrategia de mantenimiento adecuada, es de gran ayuda para cuantificar los mismos costos de los repuestos necesarios para la programación de mantenimiento y facilitar el alistamiento mínimo de los mismos mediante gestión de la dirección de mantenimiento, con los resultados obtenidos se puede conseguir la totalización de los costos, así:

INVENTARIO MINIMO DE RAFACCIONES PARA EQUIPOS LIVIANOS DE CONSTRUCCION ACOMEQ INGENIERIA					
Equipo	EQUIPOS LIVIANOS DE CONSTRUCCION				
Item	Referencia	Cantidad	Descrpcion	Valor unitario	Subtotal
1		1	Refacciones mezcladora	\$ 768.000	\$ 768.000
2		1	Refacciones pulverizador	\$ 913.000	\$ 913.000
3		1	Refacciones rotomartillo	\$ 960.000	\$ 960.000
4		1	Refacciones taladros	\$ 192.000	\$ 192.000
5		1	Refacciones sierra circulares	\$ 244.000	\$ 244.000
6		1	Refacciones pulidoras	\$ 250.000	\$ 250.000
7		1	Refacciones esmeril	\$ 95.000	\$ 95.000
8		1	Refacciones lijadora de banda	\$ 135.000	\$ 135.000
10		1	Lubricantes general	\$ 88.000	\$ 88.000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 3.645.000</b>
<b>IVA</b>					<b>\$ 692.550</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 4.337.550</b>

Tabla 11. Presupuesto general de refacciones (Autores, 2023)

#### **9.4.3.2 Análisis de criticidad de refacciones mínimas para los equipos livianos de construcción Acomeq Ingeniería S.A.S.**

Se realizó el análisis de criticidad de los equipos con el método PRCV, que consiste en priorizar los repuestos o refacciones, jerarquizándolas de acuerdo a su criticidad y valor económico.

A continuación, se describe el procedimiento paso a paso para lograr el análisis requerido:

1. Se definen las categorías de las refacciones según su valor en XYZ con sus respectivos intervalos.
2. Se define la criticidad de las refacciones de acuerdo al costo del alquiler del equipo que estaría fuera de servicio por la falla o falta de esa refacción.
3. Calcular el valor de inversión en alquiler en \$/día por equipo imperativo, esto corresponde al costo de alquilar un equipo por día durante el tiempo entre la falla del equipo y la disponibilidad de la refacción en estudio
4. Calcular el valor total de las refacciones recomendadas en inventario y organizarlo de manera descendente de mayor a menor valor.
5. Calcular el valor acumulado desde el ítem con mayor valor de inventario hasta el de menor valor de inventario.
6. Calcular el porcentaje de valor acumulado respecto al valor total del inventario.
7. Calcular el valor de alquiler de acuerdo al tiempo de entrega estimado de las refacciones.

8. Clasificar cada una de las refacciones con la codificación PRCV, que nos arroja 9 posibles códigos conjugando los 2 parámetros evaluados, valor económico de las refacciones y costos de alquiler por inoperatividad.

Aplicación del método PRCV para el análisis de criticidad, priorización y jerarquización de las refacciones en inventario:

- Se definen las categorías de las refacciones según su valor (ver tabla 12).

CATEGORIA	VALOR	% VALOR ACUMULADO	%INTERVALO
Z	ALTO	65%	0% - 65%
Y	MEDIO	25%	66% - 90%
X	BAJO	10%	91% - 100%

Tabla 12. Definición categorías por valor de inventario (Autores, 2023)

- Se definen los rangos de criticidad de acuerdo al costo de alquiler del equipo de reemplazo para el equipo inoperativo (ver Tabla 13).

CATEGORIA	CRITICIDAD	VALOR ALQUILER INOPERATI
3	ALTO	>=\$1'501.000
2	MEDIO	\$501.000 >= VAD <=\$1'500.000
1	BAJO	<\$500.000

Tabla 13. Intervalos criticidad por costo alquiler de inoperatividad (Autores, 2023)

- Costo alquiler de equipos para reemplazar equipos inoperativos (ver Tabla 14).

TARIFAS DE ALQUILER BASE DE EQUIPOS REPOSICION ACOMEQ INGENIERIA					
Equipo	EQUIPOS LIVIANOS DE CONSTRUCCION				
Item	Referencia	Cantidad	Descrpcion	\$/día	Subtotal
1	MEZCLADORA	1	Refacciones mezcladora	\$ 160.000	\$ 160.000
2	D26411-B3	1	Refacciones pulverizador	\$ 340.000	\$ 340.000
3	D25481K-B3 SE	1	Refacciones rotomartillo	\$ 125.000	\$ 125.000
4	TE3 PERFO-CIN	1	Refacciones taladros	\$ 70.000	\$ 70.000
5	ACOLILLADORA	1	Refacciones sierra circulares	\$ 74.000	\$ 74.000
6	PULIDORA DE S	1	Refacciones pulidoras	\$ 63.000	\$ 63.000
7	ESMERIL DW	1	Refacciones esmeril	\$ 45.000	\$ 45.000
8	LIJADORA DW	1	Refacciones lijadora de banda	\$ 44.000	\$ 44.000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 921.000</b>
<b>IVA</b>					<b>\$ 174.990</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 1.095.990</b>

Tabla 14. Costos unitarios de alquiler de equipos por día (Autores, 2023)

- A. Se calcula el valor total de las refacciones recomendadas en inventario y organizamos de manera descendente de mayor a menor valor.
- B. Se calcula el valor acumulado desde el ítem con mayor valor de inventario hasta el de menor valor de inventario.
- C. Se calcula el porcentaje de valor acumulado respecto al valor total del inventario.
- D. Se calcula el valor de alquiler de acuerdo al tiempo de entrega estimado de las refacciones y el costo diario de alquiler de equipo.
- E. Al conjugar los dos parámetros evaluados (valor económico de las refacciones y costo de alquiler por inoperatividad), nos arroja 9 posibles códigos de clasificación (ver figura 34), se clasifica cada una de las refacciones con los parámetros anteriores y se obtiene como resultado la codificación PRCV (ver Tabla 15).

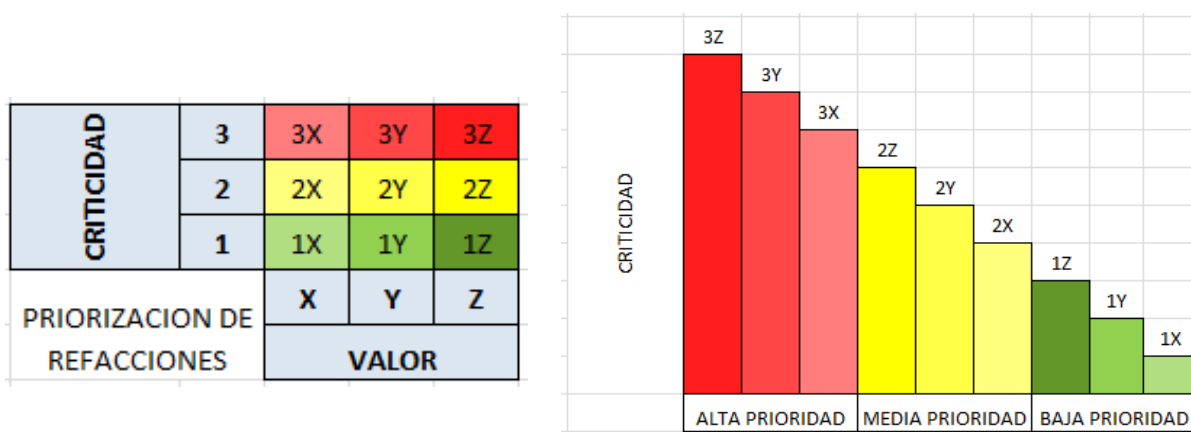


Figura 34. Codificación PRCV para priorización de refacciones (Autores, 2023).



#### **9.4.4 Resultado ejercicio Análisis de costo beneficio**

Para el análisis costo beneficio, Se toman como referencia los anteriores datos sobre los costos de inversión y los ahorros presupuestados con la implementación de la estrategia de mantenimiento; y es por ello que para poder llevar a cabo este análisis costo beneficio usaremos la tasa de retorno a la inversión ROI (ver figura 35), con la cual se determinará si la inversión es eficiente.

$$ROI = \frac{(ingresos - Inversion)}{Inversion}$$

*Figura 35. Fórmula retorno de la inversión ROI (Campo R., Domínguez M, Rodrigo V., 2014).*

Es decir que al aplicar los valores obtenidos previamente el ROI para el proyecto de implementación de la propuesta sería:

$$ROI = \frac{(30'046.154 - 15'720.300)}{15'720.300}$$

$$**ROI = 91%**$$

De acuerdo con el anterior resultado obtenido del cálculo del ROI, se establece que el proyecto es viable, ya que el valor resultante es positivo y adicionalmente esta inversión podría llegar a generar un 91% de rentabilidad; Adicionalmente el proyecto no solamente trae beneficios económicos para Acomeq Ingeniería S.A.S, la implementación de la estrategia de mantenimiento

también beneficia en la satisfacción final de cliente, al entregar los proyectos con menores retrasos a causa de la falla de los equipos; adicional con relación a los activos, la empresa garantizará que los equipos extiendan su vida útil (comparado con el modelo sin mantenimiento que lleva la empresa actualmente) y que sea más eficaz en términos de costos debido a que el equipo en la mayoría de casos no se deja llevar a falla, lo que generalmente conlleva a unos costos de reparación o sustitución del activo mayores al de mantenimiento.



## **10. Conclusiones y Recomendaciones**

### **10.1 Conclusiones**

Del resultado de la propuesta generada, y teniendo en cuenta los parámetros desarrollados, se plantean diferentes conclusiones, las cuales contribuyen a clarificar los resultados en sí y afirmarlos por medio de los desarrollos efectuados para la utilización de la propuesta como medio de resolución de objetivos; Inicialmente se concluye que para Acomeq Ingeniería S.A.S, es adecuada la estrategia de mantenimiento basado en condición, la cual resulta recomendada dentro de sus capacidades para mantener los equipos del departamento de obras civiles.

De igual manera se concluye que la aplicación de técnicas de mantenimiento adecuadas a la capacidad de las organizaciones permite evaluar el diagnóstico de la maquinaria y contribuye a encontrar las falencias que disminuyen la capacidad de ejecución de los trabajos a los cuales están asignados estos equipos, además de la disminución de los costos por reemplazos y efectividad en la toma de decisiones pertinentes al negocio.

Ahora bien, con la implementación de técnicas asertivas para el diagnóstico del estado de los equipos y maquinaria como la clasificación ABC y el levantamiento de información dentro de una organización a nivel de mantenimiento, se genera una herramienta de gran valor para determinar las acciones a seguir dentro del área de mantenimiento y llevar a cabo un registro histórico trazable y eficaz del estado de los mismos.

Adicional a ello se realizó un análisis financiero por medio del cual se determinó que la implementación de la estrategia de mantenimiento basado en condición para Acomeq Ingeniería

S.A.S es viable y podrá tener múltiples beneficios a corto y mediano plazo, tanto en el ámbito operacional como en el económico.

Con relación a la industria de maquinaria liviana de construcción, se evidencia un gran vacío en términos de mantenimiento, lo cual abre una ventana de oportunidades para los profesionales que laboran en este sector relacionado con el mantenimiento a nivel industria.

## **10.2 Recomendaciones**

- Se recomienda que Acomeq Ingeniería S.A.S. disponga a futuro de un software de control de estadística de mantenimiento CMMS, el cual permitirá potenciar y facilitar la programación, ejecución y control de las actividades de mantenimiento de manera eficaz y completa.
- Al momento de realizar la contratación de la persona encargada del almacén de equipos se recomienda que ésta tenga conocimientos y experiencia certificada en mantenimiento electromecánico industrial.
- Se recomienda que Acomeq Ingeniería S.A.S. implemente a mediano plazo un sistema de gestión de calidad que le permita llevar una administración de sus procesos de manera organizada y que sea basada en el ciclo de Deming - PHVA, esto contribuirá a fortalecer los procesos y en especial los indicadores de gestión, la comunicación asertiva entre dependencias y la integración de la dirección dentro de la cultura organizacional para su fortalecimiento a nivel nacional e internacional entre otros.

## 11. Lista de referencias

Arata Andreani, A. (2009). Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales: aplicación de la plataforma R-MES. Santiago de Chile, Chile: RIL editores. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/teinco/68060?page=105>.

Arata Andreani, A. (2009). Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales: aplicación de la plataforma R-MES. Santiago de Chile, Chile: RIL editores. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/teinco/68060?page=207>.

Arata Andreani, A. y Furlanetto, L. (2005). Manual de gestión de activos y mantenimiento. Santiago de Chile, Chile, RIL editores. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/teinco/67956?page=178>.

Arata Andreani, A. y Furlanetto, L. (2005). Manual de gestión de activos mantenimiento. Santiago de Chile, Chile: RIL editores. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/teinco/67956?page=861>.

Bernal, César A. (2010), Metodología de la investigación. Tercera edición, Colombia, Pearson Educación. Pg. 113, recuperado de: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>

Bernal, César A. (2010), Metodología de la investigación. Tercera edición, Colombia, Pearson Educación. Pg. 115, recuperado de <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>

Bernal, César A. (2010), Metodología de la investigación. Tercera edición, Colombia, Pearson Educación. Pg. 119, recuperado de <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>

Cámara de Comercio de Bogotá, (Septiembre de 2018) Industria de la construcción de Bogotá Región trabaja para mejorar su competitividad [https://www.ccb.org.co/Sala-de-prensa/Noticias-CCB/2018/Septiembre-2018/Industria-de-la-construccion-de-Bogota-Region-trabaja-para-mejorar-su-competitividad#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20un%20total,ellas%20\(77%20%25\)%20son%20microempresas](https://www.ccb.org.co/Sala-de-prensa/Noticias-CCB/2018/Septiembre-2018/Industria-de-la-construccion-de-Bogota-Region-trabaja-para-mejorar-su-competitividad#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20un%20total,ellas%20(77%20%25)%20son%20microempresas)

Campo Arranz R., Domínguez M del C., Rodrigo Raya V. (2014). Gestión de proyectos. Madrid, España: RA-MA S.A editorial y publicaciones. Pg. 55.

Chiavenato I. (2017). Planeación estratégica. fundamentos y aplicaciones. Ciudad de México D.F, México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. Pag 35.

Contreras, José & Parra, Carlos. (2020). Priorización de repuestos por criticidad y valor económico. método de análisis de criticidad de inventarios en mantenimiento. Sevilla, España: INGECON, Departamento de administración industrial, Escuela de Ingeniería, University of Seville, recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/344057375\\_PRIORIZACION\\_DE\\_REPUESTOS\\_PO\\_R\\_CRITICIDAD\\_Y\\_VALOR\\_ECONOMICO\\_METODO\\_DE\\_ANALISIS\\_DE\\_CRITICIDAD\\_DE\\_INVENTARIOS\\_EN\\_MANTENIMIENTO](https://www.researchgate.net/publication/344057375_PRIORIZACION_DE_REPUESTOS_PO_R_CRITICIDAD_Y_VALOR_ECONOMICO_METODO_DE_ANALISIS_DE_CRITICIDAD_DE_INVENTARIOS_EN_MANTENIMIENTO)

Dane (2022) Indicadores Económicos Alrededor de la Construcción (IEAC), recuperado el 09 de marzo de 2023, <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicadores-economicos-alrededor-de-la-construccion>

De Diego Morillo, A. (2022). Gestión de pedidos y stock. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, S.A. Pg. 42.

Evoli, J. (2009). Planeación estratégica. Santa Fe, Argentina, Argentina: El Cid Editor apuntes. Recuperado <https://elibro.net/es/ereader/teinco/28643?page=9>.

Gallara, I. y Pontelli, D. (2020). Mantenimiento industrial. Córdoba, Jorge Sarmiento Editor – Universitas. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/teinco/172527?page=79>.

Gallara, I. y Pontelli, D. (2020). Mantenimiento industrial. Córdoba, Jorge Sarmiento Editor – Universitas. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/teinco/172527?page=81>.

González Fernández, F.J., (2005). Teoría y practica del mantenimiento industrial avanzado. Madrid, España. Fundación Confemetal. Pg. 61, Recuperado de [https://www.google.com/books/edition/Teor%C3%ADa\\_y\\_pr%C3%A1ctica\\_del\\_mantenimiento\\_in/OzwXOAKv\\_QAC?hl=es&gbpv=1](https://www.google.com/books/edition/Teor%C3%ADa_y_pr%C3%A1ctica_del_mantenimiento_in/OzwXOAKv_QAC?hl=es&gbpv=1)

Google., (diciembre de 2022). Ubicación Acomeq Ingeniería, Google maps. <https://www.google.com/maps/place/Acomeq+Ingenier%C3%ADa/@4.6619752,74.0797841,15z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x15b05bb26efe1a9d!8m2!3d4.6619805!4d-74.0797913>

Gutiérrez Arismendy, L. A., y Bocanegra Galeano, H., (2015) Elaboración del plan de mantenimiento basado en condición para la flota vehicular de mezcladoras de concreto de una empresa productora de concretos, morteros y derivados (Trabajo de grado), Universidad ECCI, recuperado de. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/183>.

Gutiérrez Sabogal, E. A. (2017) Desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento planificado para las máquinas de la Empresa Manrique Losada y Compañía S.A.S. (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6338>

Hernández Sampieri R. Fernández Collado C., Batista Lucio P. (2014). Metodología de la Investigación Sexta edición, Ciudad de México D.F, México: Mc Graw Hill Education.

International Organization for Standardization. (Julio de 2014). ISO 55000:2014. Obtenido de Asset management — Overview, principles and terminology: <https://www.iso.org/standard/55088.html>

International Organization for Standardization. (Octubre de 2016). ISO 14224:2016. Obtenido de Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment: <https://www.iso.org/standard/64076.html>

International Organization for Standardization. (Enero de 2018). ISO 17359:2018. Obtenido de Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines: <https://www.iso.org/standard/71194.html>

Melo-González, R., Lara-Hernández, C., & Jacobo-Gordillo, F. (2009). Estimación de la confiabilidad-disponibilidad-mantenibilidad mediante una simulación tipo Monte Carlo de un sistema de compresión de gas amargo durante la etapa de ingeniería. Tecnología, Ciencia, Educación, 24(2), 93-104. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48213841002>

Navarro Elola, L. (2009). Gestión integral de mantenimiento. Barcelona, Spain: Marcombo. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/teinco/45905?page=32>.

Navarro Elola, L. (2009). Gestión integral de mantenimiento. Barcelona, Spain: Marcombo. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/teinco/45905?page=33>.

Navarro Elola, L. (2009). Gestión integral de mantenimiento. Barcelona, Spain: Marcombo. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/teinco/45905?page=36>.

Navarro Elola, L. (2009). Gestión integral de mantenimiento. Barcelona, Spain: Marcombo. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/teinco/45905?page=105>.

Parra, C., y Crespo A, (2012). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada en la gestión de activos. Sevilla, España: Ingeman. Pg. 58. Recuperado de: [https://books.google.com.co/books?id=8xsnQ1aMg2gC&printsec=frontcover&dq=an%C3%A1lisis+de+criticidad+de+activos+\(ACA\)&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjf7Mvt4s39AhUiRTABHVFmCHIQ6AF6BAgFEAI#v=onepage&q=criticidad&f=false](https://books.google.com.co/books?id=8xsnQ1aMg2gC&printsec=frontcover&dq=an%C3%A1lisis+de+criticidad+de+activos+(ACA)&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjf7Mvt4s39AhUiRTABHVFmCHIQ6AF6BAgFEAI#v=onepage&q=criticidad&f=false).



Pravia Rojas, Jhoel. (2020), Propuesta de un programa de mantenimiento basado en condición para mejorar la disponibilidad de la flota de equipos de la empresa RD RENTAL – Sede norte». Repositorio Institucional - UCV, 2020  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57240>.

Pesantes Palomeque F.S. y Arévalo Bustos N.A., (2018), Plan de servicio post-venta para maquinaria liviana en el sector de la construcción (Trabajo de grado), Universidad del Azuay, <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7753>

Rincón Vergel, Y.E. (2018), Propuesta de implementación de un modelo de mantenimiento basado en condición para equipos de aire acondicionado en sucursales bancarias de Norte de Santander. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/2039>

Salas, R. (2020). Propuesta del plan de mantenimiento en el taller de maquinaria pesada de la Empresa Minera Castor, Ancash 2020. (Trabajo de Investigación para optar el grado académico de Bachiller en Ingeniería Mecánica), Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica, Universidad Continental, Arequipa, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8683>

Statista (2022) *Distribución del producto interno bruto (PIB) por actividad económica en Colombia en 2021*, recuperado de <https://es.statista.com/estadisticas/1337044/distribucion-de-las-actividades-economicas-en-el-pib-de-colombia/>

Tabuyo Pizarro M., MF1182\_3 - Organización y gestión de los procesos de mantenimiento de las instalaciones eléctricas en el entorno de edificios y con fines especiales. (2015). Madrid, España: Editorial Elearning, S.L. Pg. 134.

Tavares Lourival A., Administración Moderna de Mantenimiento (2000), Brasil, Novo Polo Publicaciones Pg. 57.

Torres L.D. (2015). Gestión integral de Activos físico y Mantenimiento 1ra edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Alfaomega Grupo editor argentino. Pg. 36.

Torres L.D. (2015). Gestión integral de Activos físico y Mantenimiento 1ra edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Alfaomega Grupo editor argentino. Pg. 71.

Torres L.D. (2015). Gestión integral de Activos físico y Mantenimiento 1ra edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Alfaomega Grupo editor argentino. Pg. 187.