



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

MECÁNICA ELÉCTRICA

“Sistema de Gestión de Mantenimiento para Mejorar la Disponibilidad  
de los Equipos Críticos en la Planta de Agregados de la Ciudad de  
Trujillo – Perú”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTORES:**

Miranda Altamirano, Luis Ángel (ORCID: 0000-0003-4028-6093)

Vigo Rojas, Cesar Ely (ORCID: 0000-0002-1360-9769)

**ASESOR:**

Mg. Salazar Mendoza, Aníbal Jesús (ORCID: 0000-0003-4412-8789)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

SISTEMAS Y PLANES DE MANTENIMIENTO

TRUJILLO – PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

Dedicamos esta tesis a nuestros padres e hijos(as) que han sido nuestro apoyo durante toda nuestra etapa de formación.

A nuestros maestros que nos dieron las herramientas para nuestro desarrollo profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios quien nos bendice y lleva de la mano hacia un camino de bien tanto profesionalmente como espiritualmente. A nuestras familias que también se ven involucradas mediante el apoyo continuo para poder ser mejor cada día.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE DE CONTENIDOS .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. MÉTODOLÓGÍA.....	17
3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	17
3.2. Variables y Operacionalización:.....	17
3.3. Población y muestra .....	17
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
3.5 Procedimiento.....	19
3.6. Métodos de análisis de datos: .....	21
3.7 Aspectos Éticos: .....	21
IV. RESULTADOS.....	22
V. DISCUSIÓN .....	53
VI. CONCLUSIONES.....	56
VII. RECOMENDACIONES .....	57
REFERENCIAS.....	58
ANEXO.....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i> .....	18
<b>Tabla 2.</b> <i>Fallas de los vehículos de la empresa de septiembre a diciembre de 2020</i> .....	22
<b>Tabla 3.</b> <i>Fallas de los vehículos de la empresa de septiembre a diciembre de 2020</i> .....	23
<b>Tabla 4.</b> <i>Fallas de los vehículos de la empresa de enero a abril de 2021</i> .....	24
<b>Tabla 5.</b> <i>Fallas de los vehículos de la empresa de enero a abril de 2021</i> .....	25
<b>Tabla 6.</b> <i>Indicadores de los vehículos de la empresa de septiembre a diciembre de 2020</i>	26
<b>Tabla 7.</b> <i>Indicadores de los vehículos de la empresa de enero a abril de 2021</i> .....	27
<b>Tabla 8.</b> <i>Indicadores promedio de los vehículos de la empresa</i> .....	28
<b>Tabla 9.</b> <i>Análisis de criticidad de las unidades móviles I</i> .....	30
<b>Tabla 10.</b> <i>Análisis de criticidad de las unidades móviles II</i> .....	31
<b>Tabla 11.</b> <i>Análisis de criticidad de las unidades móviles III</i> .....	32
<b>Tabla 12.</b> <i>Análisis de criticidad de las unidades móviles IV</i> .....	33
<b>Tabla 13.</b> <i>Análisis de criticidad de las unidades móviles V</i> .....	34
<b>Tabla 14.</b> <i>Hoja de información de la maquina VOLVO FMX 440</i> .....	35
<b>Tabla 15.</b> <i>Hoja de información de la maquina SCANIA P420</i> .....	36
<b>Tabla 16.</b> <i>Hoja de información de la maquina VOLVO NL12</i> .....	37
<b>Tabla 17.</b> <i>Hoja de información de los Cargadores Frontales CAT (938 G, 950G, 962H) ...</i>	38
<b>Tabla 18.</b> <i>Hoja de información de los Excavadores CAT (320 DL y 329 D2) .....</i>	39
<b>Tabla 19.</b> <i>Hoja de información de Trituradora de quijada Athegsur</i> .....	40
<b>Tabla 20.</b> <i>Hoja de información de Zarandas vibratorias Athegsur (1 y 2)</i> .....	41
<b>Tabla 21.</b> <i>Hoja de información de Grupo electrógeno Diesel CAT</i> .....	42
<b>Tabla 22.</b> <i>Análisis del Número de prioridad de riesgos I</i> .....	43
<b>Tabla 23.</b> <i>Análisis del Número de prioridad de riesgos II</i> .....	44
<b>Tabla 24.</b> <i>Indicadores promedio de los vehículos de la empresa post mejora</i> .....	47
<b>Tabla 25.</b> <i>Beneficio por reducción de horas perdidas</i> .....	49
<b>Tabla 26.</b> <i>Costos por mantenimiento predictivo</i> .....	49
<b>Tabla 27.</b> <i>Costos en mantenimiento preventivo</i> .....	50
<b>Tabla 28.</b> <i>Resumen de los costos en mantenimiento</i> .....	51
<b>Tabla 29.</b> <i>Inversión en activos</i> .....	51

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Curva de la bañera</i> .....	8
<b>Figura 2.</b> <i>Curva P-F</i> .....	9
<b>Figura 3.</b> <i>Ponderación del FF</i> .....	13
<b>Figura 4.</b> <i>Ponderación del IO</i> .....	14
<b>Figura 5.</b> <i>Ponderación del FO</i> .....	14
<b>Figura 6.</b> <i>Ponderación del CM</i> .....	14
<b>Figura 7.</b> <i>Ponderación del SHA</i> .....	14
<b>Figura 8.</b> <i>Matriz de criticidad</i> .....	15
<b>Figura 9.</b> <i>Gráfico de costos de mantenimiento</i> .....	16
<b>Figura 10.</b> <i>Análisis de muestra</i> .....	17
<b>Figura 11.</b> <i>Procedimiento</i> .....	20
<b>Figura 12.</b> <i>Gráfico de disponibilidad de la maquinaria de la empresa</i> .....	28
<b>Figura 13.</b> <i>Gráfico de confiabilidad de la maquinaria de la empresa</i> .....	29
<b>Figura 14.</b> <i>Gráfico clasificación de las fallas mediante el NPR</i> .....	44
<b>Figura 15.</b> <i>El cambio del aceite del motor</i> .....	45
<b>Figura 16.</b> <i>Horas de funcionamiento</i> .....	46
<b>Figura 17.</b> <i>Disponibilidad post mejora</i> .....	48
<b>Figura 18.</b> <i>Confiabilidad post mejora</i> .....	48

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> <i>Disponibilidad de activos</i> .....	11
<b>Ecuación 2.</b> <i>Tiempo medio de inactividad</i> .....	11
<b>Ecuación 3.</b> <i>Tiempo medio de reparación</i> .....	12
<b>Ecuación 4.</b> <i>Confiabilidad de un activo</i> .....	12
<b>Ecuación 5.</b> <i>Mantenibilidad de un activo</i> .....	12
<b>Ecuación 6.</b> <i>Criticidad total por riesgo</i> .....	13
<b>Ecuación 7.</b> <i>Criticidad total por riesgo</i> .....	13

## RESUMEN

En la presente investigación tiene como objetivo principal, establecer un sistema de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos críticos de la planta de agregados de la ciudad de Trujillo-Perú. La metodología planteada, fue de tipo aplicada, bajo el diseño cuasi experimental, donde se pudo evaluar el estado inicial de mantenimiento de los equipos y maquinaria en la planta de agregados. para determinar sus indicadores iniciales, para así realizar un análisis de criticidad a los equipos y maquinaria en la planta de agregados. con la finalidad de clasificarlos en críticos, semicríticos o no críticos. Y poder desarrollar un Plan de Mantenimiento Preventivo que permita reducir las fallas en los equipos y maquinaria en la planta de agregados., para después determinar los nuevos indicadores de gestión de mantenimiento relacionado a los tiempos de paradas en los equipos y maquinaria en la planta de agregados y finalmente evaluar los costos para la implementación del sistema de gestión de mantenimiento y proyectar el beneficio económico, así como el retorno de la inversión.

**Palabras clave:** Sistema de Gestión de Mantenimiento, Disponibilidad de Equipos Críticos, Planta de Agregados.

## **ABSTRACT**

The main objective of this research is to establish a maintenance management system to improve the availability of critical equipment at the aggregates plant in the city of Trujillo-Peru. The proposed methodology was of an applied type, under the quasi-experimental design, where the initial state of maintenance of the equipment and machinery in the aggregates plant could be evaluated. to determine its initial indicators, in order to carry out a criticality analysis to the equipment and machinery in the aggregates plant. in order to classify them as critical, semi-critical or non-critical. And to be able to develop a Preventive Maintenance Plan that allows to reduce the failures in the equipment and machinery in the plant of aggregates, to later determine the new indicators of maintenance management related to the downtimes in the equipment and machinery in the Aggregates plant and finally evaluate the costs for the implementation of the maintenance management system and project the economic benefit, as well as the return on investment.

**Keywords:** Maintenance Management System, Critical Equipment Availability, Aggregate Plant.



## **I. INTRODUCCIÓN**

El área de mantenimiento de una planta, centra su fin en brindar confiabilidad en las operaciones de los diversos sistemas de producción, así mismo en la eficiencia del uso de los equipos, los cuales garanticen que cada una de las etapas del proceso se cumplan, las cuales inician en planear, organizar, controlar y ejecutar los métodos de conservación de equipos y las funciones, que apuntan a ir más allá de las reparaciones (Gutierrez Pulido, 2010). Es por ello que implementar un plan de mantenimiento, se convierte una ventaja importante, para una planta, ya que permite reducir las paradas, a causa de fallas, obteniendo como resultado un trabajo organizado y debidamente planificado.

En el Perú existe una gran variedad rubros, que se conforman por las distintas actividades económicas, las cuales permiten el desarrollo sostenible de la economía como son: las agroexportadoras, la agroindustria, la pesca, la minería formal, el turismo, la construcción civil y metalmecánica entre otros. Respecto a la construcción, podemos decir que es uno de los pilares del desarrollo de esta nación, siendo esta industria la encargada de generar tareas esenciales que acentúan de una manera positiva nuestra economía y la región La Libertad no es esquivada a este desarrollo ya que se vive una expansión demográfica exponencial debido a alta densidad poblacional concentrada en un área reducida, así como varias construcciones privadas y estatales de gran envergadura exigen grandes cantidades de materiales de construcción, uso de maquinaria pesada y liviana, además de la creación de puestos de trabajo como es la mano de obra debidamente calificada y no calificada (BOLETÍN DE ESTADÍSTICAS, 2008).

Una consecuencia de esta labor, es la gran demanda de agregados que forman parte del grupo de materiales de construcción y entre la gran variedad existente tenemos a las que generan mayor demanda en la industria como son: grava (gruesos) y arena (finos). Este tipo de agregados se obtiene al pasar las rocas de mayor tamaño y peso previamente estudiadas, por una serie de máquinas que fracturaran la roca con la finalidad de obtener los agregados mencionados, con las características deseadas como su rugosidad, dureza y tamaño para finalmente ser destinados al área constructora del país. Existen temporadas en las que se realizan varios proyectos de gran envergadura al mismo tiempo, lo que genera una gran

demanda de agregados, según sea el crecimiento nacional, con la ejecución de proyectos de construcción civil (Basauri, 2019).

Para cumplir con esta demanda se explotan las canteras destinadas para dicho fin, en esta etapa la maquinaria debe de operar bajo condiciones óptimas de funcionamiento para dar como resultado final, un producto de calidad el cual será utilizado en la construcción de viviendas, pistas, edificios, entre otros. Sin embargo, la gran mayoría de estas empresas dedicadas al rubro de los agregados no cuentan asesoramiento técnico, ni logístico para mantener sus equipos en estado de funcionamiento óptimo, lo que les permitiría trabajar de manera eficaz y cumplir con la gran demanda de insumos (agregados), ello les provoca paradas recurrentes, ya sea parcial o en su totalidad en los distintos equipos o maquinaria que afectan la producción de la planta.

Definida la problemática, se procedió a realizar la formulación del problema: ¿Cómo mejorar la disponibilidad de los equipos críticos en la planta procesadora de agregados de la ciudad de Trujillo?

Debido a que la tesis se ha basado en el mejoramiento del indicador principal del mantenimiento, se ha procedido a determinar las justificaciones respectivas, bajo tres aspectos fundamentales: Justificación técnica, estableciendo estrategias para mejorar la disponibilidad de los equipos críticos de la planta procesadora de agregados; Justificación económica, porque al realizar un mantenimiento preventivo y un mantenimiento autónomo, se obtiene una mayor confiabilidad del equipo, menor vida útil y por lo tanto una reducción de costos por mal funcionamiento del equipo y su Justificación Ambiental, se concentra que al trabajar con equipos de alta disponibilidad y programas de mantenimiento periódico evitará su falla repentina y por ende la fuga de líquidos u otros materiales, y evitará el uso excesivo de cercas industriales, lubricantes industriales y otros materiales. representa la contaminación ambiental y la generación de residuos peligrosos con un impacto significativo en el medio ambiente.

Planteadas las justificaciones de la investigación, es necesario determinar el objetivo general, el mismo que obedece a establecer un sistema de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos críticos de la planta de

agregados de la ciudad de Trujillo-Perú, lo cual requiere tener en cuenta como objetivos específicos a los siguientes:

i) Evaluar el estado inicial de mantenimiento de los equipos y maquinaria en la planta de agregados para determinar sus indicadores iniciales.

ii) Realizar un análisis de criticidad a los equipos y maquinaria en la planta de agregados con la finalidad de clasificarlos en críticos, semicríticos o no críticos.

iii) Desarrollar un Plan de Mantenimiento Preventivo que permita reducir las fallas en los equipos y maquinaria en la planta de agregados

iv) Determinar los nuevos indicadores de gestión de mantenimiento relacionado a los tiempos de paradas en los equipos y maquinaria en la planta de agregados;

v) Evaluar los costos para la implementación del sistema de gestión de mantenimiento y proyectar el beneficio económico, así como el retorno de la inversión.

De acuerdo a lo prescrito en los objetivos, se ha planteado entonces, la siguiente hipótesis: Mediante la implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento, se mejorará la Disponibilidad de los Equipos Críticos en la Planta de Agregados de la Ciudad de Trujillo – Perú.

## II. MARCO TEÓRICO

El establecimiento de un sistema de gestión del mantenimiento es fundamental para garantizar el funcionamiento óptimo y eficiente de los equipos o máquinas. Para corroborar la tesis se buscó una formación relacionada con el tema, y así el autor pudo generar resultados positivos en el informe de prácticas, donde el autor implementó un plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos de la planta general. fallas mayores y la aplicación de una metodología de análisis de tareas de mantenimiento (MTA) para un plan de mantenimiento preventivo de menos de 250 horas de falla. El autor finalizó estableciendo los indicadores técnicos para medir el desempeño de la propuesta y su mejora continua (Elizondo, 2016).

Asimismo, en otra investigación, el autor haciendo uso de la técnica TPM, elaboro una propuesta, para la implementación de un plan de mantenimiento de equipos, en una empresa constructora (Villena, 2017). Para ello, el autor diseñó varios métodos: un método que comparaba el desempeño de diferentes equipos en base a los requerimientos y prioridades de la empresa, un método personalizado de análisis y efectos modales de fallas (FMEA), logrando analizar 142 modos de falla de equipos. más crítico, también desarrolló un modelo para calcular la disponibilidad mecánica y la confiabilidad operativa de los equipos. Para finalizar el autor implementó un plan piloto de mantenimiento, donde obtiene como resultado, el aumento en un 35% de la disponibilidad en los equipos, además mediante el software Risk Simulator realizó el análisis económico y sensibilidad, comprobando que su propuesta es viable y rentable.

En otra investigación referente, los autores elaboraron un plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada en una empresa que brinda servicios de construcción (Martinez & Buevas, 2014). Para lograr el fin, los autores, crearon formatos de orden de servicios, lista de chequeo, que ayudaron a recolección de datos, que les permitió calcular indicadores de disponibilidad de máquinas por cada mes. Los autores lograron mejorar en un 9% la disponibilidad de máquinas con la implementación del plan de mantenimiento durante tres meses comprobando así su efectividad de su propuesta.

Se encontró otro trabajo de investigación donde los autores elaboraron un plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada en una empresa que

brinda servicios de construcción (Martinez & Buelvas, 2014).

Para lograr el fin, los autores, crearon formatos de orden de servicios, lista de chequeo, que ayudaron a recolección de datos, que les permitió calcular indicadores de disponibilidad de máquinas por cada mes. Los autores lograron mejorar en un 9% la disponibilidad de máquinas con la implementación del plan de mantenimiento durante tres meses comprobando así su efectividad de su propuesta.

En forma similar, (Chávez, 2019) en su investigación desarrolló un plan de mantenimiento preventivo para una cantera, en el cual realizó un análisis crítico de los equipos de la empresa, en este caso una trituradora de mandíbulas, un cono y una pantalla de fallas, de manera que un plan de mantenimiento preventivo plan de acción y plan de formación. Como resultado, pudo reducir el tiempo de inactividad por mantenimiento en 203 horas, con un tiempo de actividad promedio de 59 horas hasta la falla, 9 horas de tiempo de inactividad y 87% de disponibilidad. Finalmente, se realizó un análisis de costo-beneficio, que resultó en la implementación de un mantenimiento con una TIR del 54%, un período de recuperación de 1 año, 7 meses y 23 días y un indicador de costo - Utilidad de S / 1, 75, lo que podría demostrar que su propuesta era rentable para la empresa bajo análisis.

También, (Nij, 2017). realizó un estudio para minimizar paros no programados en una empresa de agregados. Para lograr este fin, realizó el análisis de paros no programados con el diagrama de Ishikawa y también realizó un análisis con el diagrama de Pareto, verificando las paradas vitales que comprenden el 80% de los efectos del sistema de producción (molino, secador y transportadores de materia prima). Luego el autor implementó el plan de mantenimiento preventivo, elaborando un programa, obteniendo resultados en un periodo de dos meses, ello determinó el aumento de la disponibilidad de los equipos de 67,74 % a 75%, así como la confiabilidad de 2,1 horas a 3,875 horas, sin embargo, obtuvo resultados negativos en la mantenibilidad con un aumento 1 a 1,29 horas de respuesta a las fallas.

Se encontró otro trabajo de investigación, donde el autor implementó un plan de mantenimiento preventivo a un cargador frontal 962H para aumentar su disponibilidad de máquina (Mosquera, 2018).

Para lograrlo, el autor realizó un análisis crítico de los componentes mecánicos del cargador 962H anterior, para lo cual utilizó dos metodologías, el diagrama de Ishikawa y la metodología FMEA, logrando categorizar los componentes mecánicos más críticos, luego el autor llevó a cabo preventivas plan

de mantenimiento que fue monitoreado durante un período de 6 meses, logrando como resultado un aumento en la disponibilidad de la máquina en un 13%, el consumo de componentes críticos también se redujo en un 77%.

En otro trabajo de investigación, el autor elaboró una propuesta de plan de mantenimiento preventivo basado en RCM, para una chancadora primaria FULLER (Zavala, 2018).

Para lograrlo, el autor realizó un análisis crítico de la planta de chancado para determinar si el chancador primario es el dispositivo más crítico, tomando en cuenta 5 factores (daño al personal, impacto ambiental, impacto en la producción, costos de reparación y promedio). tiempo de reparación), también realizó un Análisis de Impacto y Modo de Falla Crítica (FMEA), en el cual identificó el componente más crítico como el eje principal de la trituradora. En conclusión, el autor realizó un pronóstico estadístico para su propuesta, en el cual determinó que la implementación de su plan de mantenimiento preventivo daría como resultado un aumento en la producción del 1 al 5%, una disponibilidad del 1 al 5% y menores costos generales de mantenimiento entre 1 y 10%. Por lo que el autor recomienda su implementación en la empresa.

Se encontró un estudio, donde el autor optimizó los indicadores de mantenimiento, para aumentar para productividad en una planta chancadora de agregados (Orellana, 2013).

El autor realizó un análisis de equipos críticos, con base en los reportes operativos diarios para lo cual siguió los indicadores de mantenimiento por 12 meses, el autor realizó cambios al sistema de gestión de mantenimiento donde mejoró los formatos de reporte y agregó otro indicador, logrando la disminución del tiempo de trabajo de 168,21 horas a 158,25 horas, también logró un aumento en la disponibilidad de equipos del 86,85% al 89,69%, demostrando que su propuesta es factible.

Finalmente, es necesario tener en cuenta en segundo plano, el trabajo de investigación referente a un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para una trituradora primaria FULLER (Zavala, 2018), donde el autor realizó un análisis de criticidad en el área de trituración para determinar si el chancador primario es el equipo más crítico, para lo cual se tomó en cuenta 5 factores (daño al personal, impacto ambiental, impacto en la producción, costo de reparación y tiempo promedio de reparación), además se realizó un Análisis de Criticidad de Modo de Falla y Efecto

(FMECA), donde determiné que el componente más crítico es el eje principal de la trituradora. Para concluir, el autor realizó una proyección estadística de su propuesta donde determinó que, si se aplica su plan de mantenimiento preventivo, se logra un aumento de producción entre 1-5%, una disponibilidad entre 1 a 5% y menores costos de mantenimiento general. entre 1 y 10%. Por lo que el autor recomienda su aplicación en la empresa.

Una vez establecidos nuestros trabajos previos referentes a la investigación, en el enfoque conceptual que reforzará el desarrollo de la tesis, se ha considerado inicialmente a:

La palabra mantenimiento, que se conceptualiza habitualmente como el conjunto de actividades que se realizan con la finalidad de conservar los equipos, maquinarias e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible manteniendo una alta disponibilidad y eficiencia en su operación o desarrollo (García, 2017).

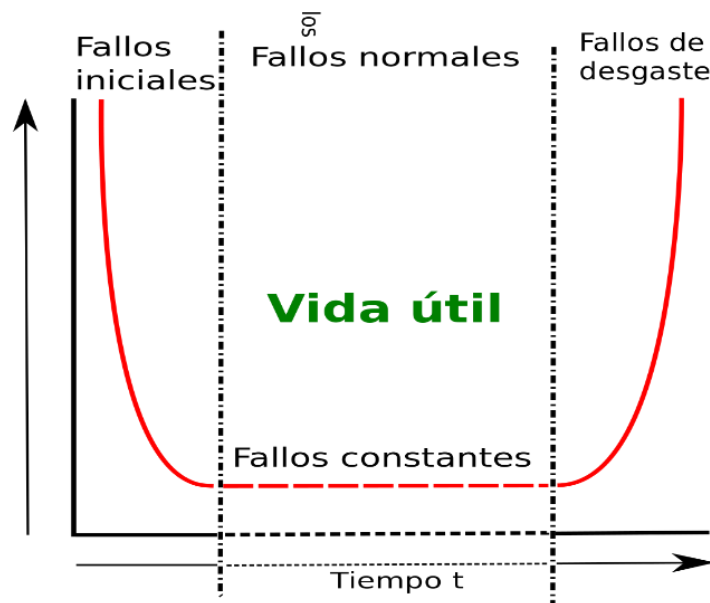
La evolución de Mantenimiento ha determinado el concepto del manteamiento correctivo o reactivo en una primera generación; en una segunda generación, correspondiente a la década de los cincuenta, donde hubo un incremento de máquinas, se produce el nacimiento del concepto de mantenimiento preventivo (Gonzales, 2018). A continuación, la tercera generación, del mantenimiento predictivo, es en la cual los procesos de la industria se han sometido a nuevos conceptos y la decisión de elección de la mejor técnica, que favorezcan a las empresas (Gonzales, 2018). Por último, en la cuarta generación, se desarrolla el concepto de mantenimiento productivo total, TPM, en el que se consideró, a los diferentes mantenimientos tomados de las primeras generaciones en conjunto y la participación de todos sus operarios, como estrategia; aparece el término confiabilidad en el mantenimiento, basado en los análisis de falla en los equipos, que es tomado como la metodología RCM. (ATS, 2019).

Por otra parte, dentro del mantenimiento moderno, se han identificado nuevas clases de mantenimiento, con la finalidad, de explicar las actividades que se desempeñan dentro del área, con la finalidad de justificar una nueva metodología o filosofía (Garrido, 2019). De las cuales se pueden enunciar a las siguientes:

➤ Mantenimiento de conversión, que involucra al mantenimiento correctivo. Este tipo de mantenimiento solo se realiza si la unidad no puede seguir funcionando. Sin producto un plan para dicho mantenimiento. Esto se aplica a los costos adicionales. otros tipos de mantenimiento no pueden justificarse. Este tipo de estrategia a veces se denomina estrategia de fracaso. (Duffuaa, 2019). Por otro lado, es necesario reducir el mantenimiento correctivo, es decir, se deben tomar medidas preventivas para aumentar las horas de funcionamiento del equipo. (Duffuaa, 2019).

➤ Mantenimiento preventivo (MP), mantenimiento programado realizado posibles fallas. Esto se puede hacer según el uso o las condiciones del dispositivo. Mantenimiento la prohibición se basa en el tiempo o el tiempo de uso, u horario establecido. Requiere un alto diseño, que se fundamenta en la curva de la bañera, en la cual se realiza una comparación con el número de fallas de un equipo en el tiempo, en el que se identificas tres etapas:

**Figura 1.** Curva de la bañera



Fuente: (Ebeling, 1997).

➤ Mantenimiento predictivo (MPd), debe entenderse como una metodología de intervención la máquina o aparato en el que se utiliza en el desarrollo de una variable particular que tiene realmente reconoce su desempeño y se mide fácilmente. (Gonzales, 2018). Significa una técnica basada en la medición de una variable en un dispositivo que utiliza una

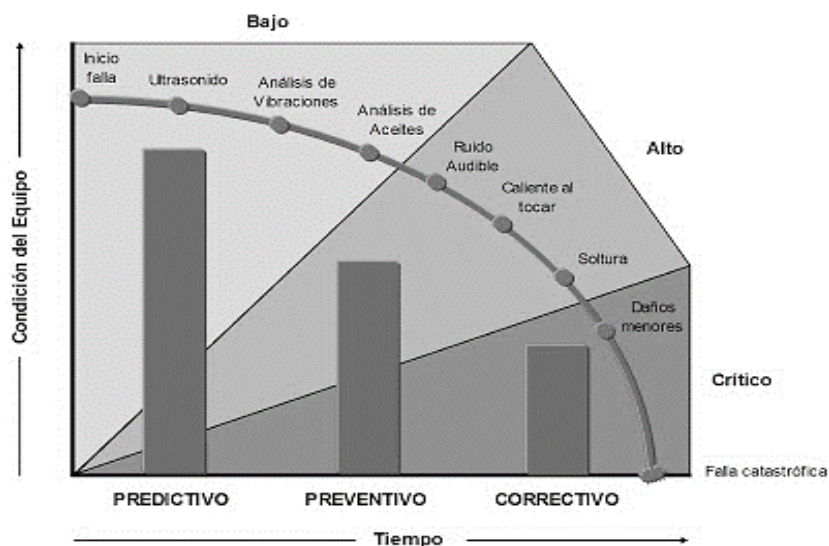


herramienta predictiva para determinar cuándo se realizará un servicio, si se trata de reparación, reemplazo de piezas o componentes, y para evitar fallas en el equipo.

La curva P-F se utiliza para explicar MP, donde indica los diferentes niveles de desgaste a los que está sometida la variable. Vemos que el eje de abscisa representa las unidades de tiempo y el eje de ordenadas el estado del dispositivo. En el punto P, se puede detectar el estado de una posible falla, que es el inicio de una posible falla que lleva a la parada del dispositivo; luego está el punto F, que indica un mal funcionamiento, es decir, cuando el equipo deja de funcionar porque el punto P no ha sido preprogramado (Gonzales, 2005).

La falla potencial, es el estado físico que se puede identificar e indica que está a punto de producirse un fallo funcional y los siguientes puntos ayudan a este proceso: Las técnicas que se implementan, pruebas no destructivas, el análisis del aceite, la termografía, o conocida como análisis de infrarrojo, el análisis vibracional y la inspección por ultrasonido.

**Figura 2.** Curva P-F.



Fuente: (Preditec, 2012)

➤ El Centro de mantenimiento de confiabilidad (RCM) se utiliza para determinar lo que debe hacer el futuro, para garantizar que el equipo aún se entregue, dentro de los límites establecidos de la capacidad de

confiabilidad inherente del equipo (Smith, 2000). El RCM se suma al contexto funcional, sed desde el que se relaciona con el serio a partir de preguntas sobre cada uno de los elegidos tales como: ¿Cuáles son las funciones? ¿Cómo pueden ser las fallas? ¿Las causas que lo generan? ¿Qué ocurre durante la falla? ¿Cómo prevenir? ¿Qué acontece de ser el caso, de no poder prevenir las fallas? El RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos: Consecuencia de las fallas no evidentes, en la seguridad y medio ambiente, operacionales, y no operacionales.

Para identificar, evaluar y prevenir posibles fallas e impactos que pueda tener una máquina, producto, servicio o proceso, se utiliza la herramienta Análisis de fallas y efectos (FMEA), la cual tiene los siguientes campos: Sistemas y funciones, los subsistemas, modo de falla, efecto, causa, índice de gravedad de modo de falla, frecuencia, detectabilidad y prioridad de riesgo.

➤ **Mantenimiento Autónomo:**

La participación de los operadores del proceso se considera un mantenimiento independiente. Esto obliga a los empleados a realizar tareas no específicas en su trabajo diario, como pequeños ajustes, limpiezas, inspecciones, análisis de fallas e investigación de mejoras (Salazar, 2016). El Instituto Japonés de Cuidado de las Plantas (JIPM) recomienda un procedimiento de autocuidado basado en siete pasos principales: Limpieza profunda, acciones correctivas en la fuente, preparación de estándares de inspección, inspección general, autónoma, estandarización y control autónomo pleno (Salazar, 2016).

*Los indicadores de gestión* son parámetros numéricos que brindan información sobre un factor crítico que ha sido identificado en diversos procesos de mantenimiento y producción, brindando una oportunidad de mejora continua en el desarrollo de las operaciones de una empresa mediante la aplicación de métodos y técnicas específicas. (Garrido, 2017).

Dentro de los principales indicadores, se tomaron en cuenta para la investigación:

✓ *La disponibilidad de activos:* se refiere a la capacidad de un dispositivo o componente de permanecer ininterrumpido en un estado funcional bajo ciertas condiciones y durante un período de tiempo, siempre que los recursos internos y externos necesarios estén disponibles. entregado.

**Ecuación 1.** *Disponibilidad de activos*

$$D (\%) = \left( \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right) \times 100$$

$$D (\%) = \left( \frac{hl - hp}{hl} \right) \times 100$$

Dónde:

*hl:* Horas laborables

*hp:* Horas de parada durante el periodo de evaluación

*MTBF:* Tiempo entre una falla y otra (h/p)

*MTTR:* Tiempo para la reparación (h/p)

✓ *El tiempo medio de inactividad (MTBF):* toma el tiempo medio entre dos interrupciones del servicio, utilizando el número total de horas del período de mantenimiento como numerador y el número de tiempos de inactividad como denominador:

**Ecuación 2.** *Tiempo medio de inactividad*

$$MTBF = \left( \frac{ht}{p} \right)$$

Dónde:

*MTBF:* Tiempo entre una falla y otra (h/p)

*ht:* Horas trabajadas / operación en un periodo de evaluación

*p:* Número de paradas en el tiempo de evaluación

✓ *El tiempo medio de reparación (MTTR):* es el tiempo medio que se tarda en las distintas paradas para reparar el mismo y se da durante el

período analizado:

**Ecuación 3. Tiempo medio de reparación**

$$MTTR = \left( \frac{hp}{p} \right)$$

Dónde:

**MTTR**: Tiempo medio para reparar

**hp**: Horas de parada durante la evaluación

**p**: Número de paradas en la evaluación

✓ *La confiabilidad de un activo*: es la probabilidad de que el equipo no falle por un tiempo determinado en las condiciones dadas (Saldaña, 2017).

**Ecuación 4. Confiabilidad de un activo**

$$R_{(t)} = e^{\left(-\frac{t}{MTBF}\right)}$$

Donde:

**R<sub>(t)</sub>**: % de confiabilidad del activo

**t**: Tiempo que se espera que el activo no falle.

**MTBF**: Tiempo medio entre fallas.

✓ *La mantenibilidad de un activo*: es la expectativa de que el trabajo que se está desarrollando en el equipo lo deje en condiciones de trabajo por un período de tiempo determinado, utilizando los recursos provistos para tal fin (García Mallqui, 2016).

**Ecuación 5. Mantenibilidad de un activo**

$$M_{(t)} = 1 - e^{\left(-\frac{t}{MTTR}\right)}$$

Donde:

**M<sub>(t)</sub>**: % de mantenibilidad del activo

**t**: Tiempo que se tarda en la reparación de activo.

**MTTR**: Tiempo medio entre la reparación

**Métodos de Análisis de Criticidad**: Existen muchos métodos para realizar un estudio de criticidad (Sedisa, 2021):

- Métodos Cualitativos
- Métodos Semi-cuantitativos
- Métodos Cuantitativos

Para identificar los equipos críticos se hace uso del método semi-cuantitativo, con el modelo de criticidad semi-cuantitativo “CTR” y se utiliza la siguiente ecuación (Sedisa, 2021).

**Ecuación 6. Criticidad total por riesgo**

$$CTR = FF * CF$$

Dónde:

**CTR:** Criticidad total por riesgo

**FF:** Frecuencia de fallas.

**CF:** Consecuencia de fallas.

La **FF** se evalúa a partir de la tasa estimada de incidencia de fallas. La ponderación de **FF** se muestra en la Figura 1.

**Figura 3. Ponderación del FF**

<b>Factor de Frecuencia (FF: Escala del 1 – 4)</b>	
mayor a 2 eventos al año	4
1 y 2 eventos al año	3
0,5 y un 1 evento al año	2
menos de 0,5 eventos al año	1

Fuente: (Sedisa, 2021)

Los CF se evalúan de acuerdo con la siguiente fórmula, que incluye factores tales como: impacto de trabajo de IO, impacto de flexibilidad de trabajo de FO, impacto de costo de mantenimiento de CM, impacto de seguridad, higiene, ambiente SHA, el que sea mayor. es importante para evaluar las consecuencias de fallas de equipos industriales y, finalmente, se observa que CTR, se calcula, haciendo uso de la ecuación (2)

**Ecuación 7. Criticidad total por riesgo**

$$CTR = FF * ((IO * FO) + CM + SHA)$$

- El IO registra porcentualmente la producción aproximada que se deja de obtener por día, debido a fallas ocurridas.

La ponderación del IO se muestra en la figura 2.

**Figura 4. Ponderación del IO**

<b>Impacto Operacional (IO: Escala del 1 – 10)</b>	
Pérdidas de producción superiores al 75%	10
Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%	7
Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%	5
Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%	3
Pérdidas de producción menor al 10%	1

Fuente: (Sedisa, 2021)

**Figura 5. Ponderación del FO**

<b>Impacto por Flexibilidad Operacional (FO: Escala del 1 – 4)</b>	
No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes	4
Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios	2
Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños	1

Fuente: (Sedisa, 2021)

**Figura 6. Ponderación del CM**

<b>Impacto en Costes de Mantenimiento (CM: Escala del 1 – 2)</b>	
Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 2000 dólares	2
Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 2000 dólares	1

Fuente: (Sedisa, 2021)

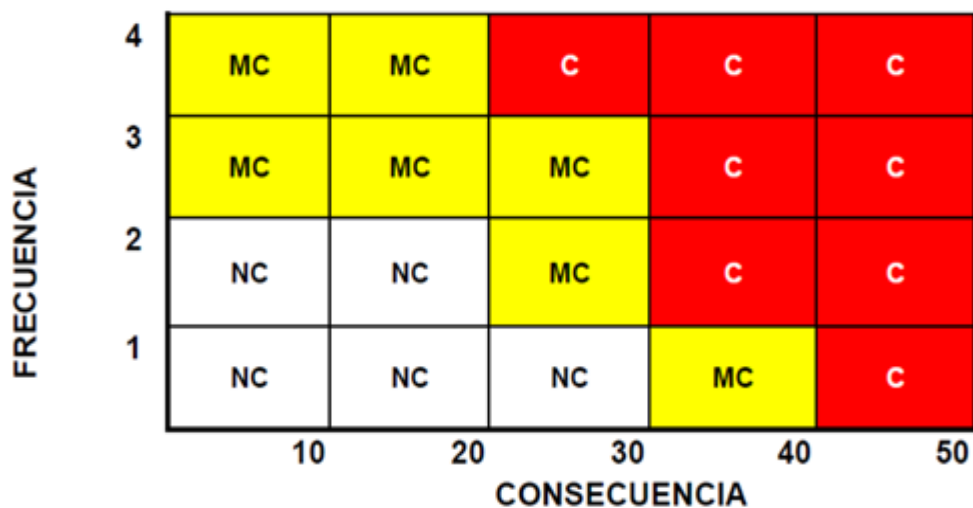
**Figura 7. Ponderación del SHA**

Impacto en la Seguridad, Higiene, Medio Ambiente (SHA: Escala 1 – 8)	
Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o accidente ambiental mayor (catatofico) que exceden los limites permitidos	8
Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración	6
Riesgo minimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas	3
No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales	1

Fuente: (Sedisa, 2021)

Obtenido el valor del índice de criticidad de cada equipo, éstos se clasificaron como crítico, medio critico o no crítico, de acuerdo con la matriz de criticidad de la Figura 8.

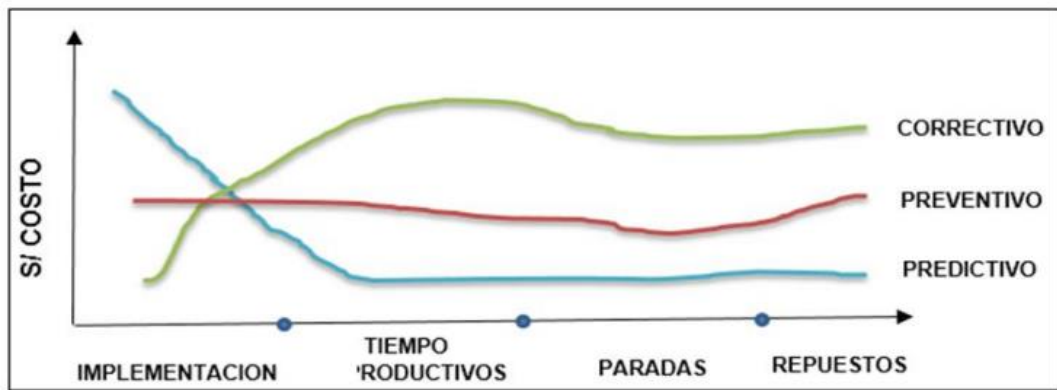
**Figura 8.** Matriz de criticidad



Fuente: (Sedisa, 2021)

Los costos de mantenimiento, desde el punto de vista administrativo, son tomados como uno de los factores más importante, de una organización, ya que la labor del ingeniero se centra en la habilidad de poder analizar y profundizar respecto de los costos de mantenimiento, ayudando así a manejar y controlar, que permita evitar el crecimiento en fallas.

**Figura 9.** Gráfico de costos de mantenimiento



Fuente: (Parra, 2012)



### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de la investigación.

3.1.1. **Tipo:** Aplicada

3.1.2. **Diseño:** Pre experimental.

El diseño es pre-experimental, ya que el grado de control es mínimo y prácticamente no hay manipulación de la variable independiente en comparación con el proyecto piloto real.

**Figura 10.** *Análisis de muestra*



*Fuente: Propia de investigador*

PM: Análisis de muestra

EST: Sistema de gestión de mantenimiento RCM

MUS1, MUS2: Porcentaje de observaciones de incremento en la disponibilidad

#### 3.2. Variables y Operacionalización:

##### 3.2.1 Variables independientes:

- Sistema de gestión de mantenimiento.

##### 3.2.2 Variables dependientes.

- La Disponibilidad de los equipos críticos en la planta de agregados de la ciudad de Trujillo.

**Operacionalización:** Ver Anexo 1

#### 3.3. Población y muestra

- *La población* considerada para esta investigación, estuvo comprendida por Todos los equipos de la planta de agregados de la ciudad de Trujillo, departamento de La Libertad.
- *La muestra estuvo conformada por* los equipos críticos analizados luego de una matriz de criticidad de la planta de agregados de la ciudad de Trujillo, departamento de La Libertad.

- *Muestreo*

Muestreo no probabilístico

### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

**Tabla 1.** *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

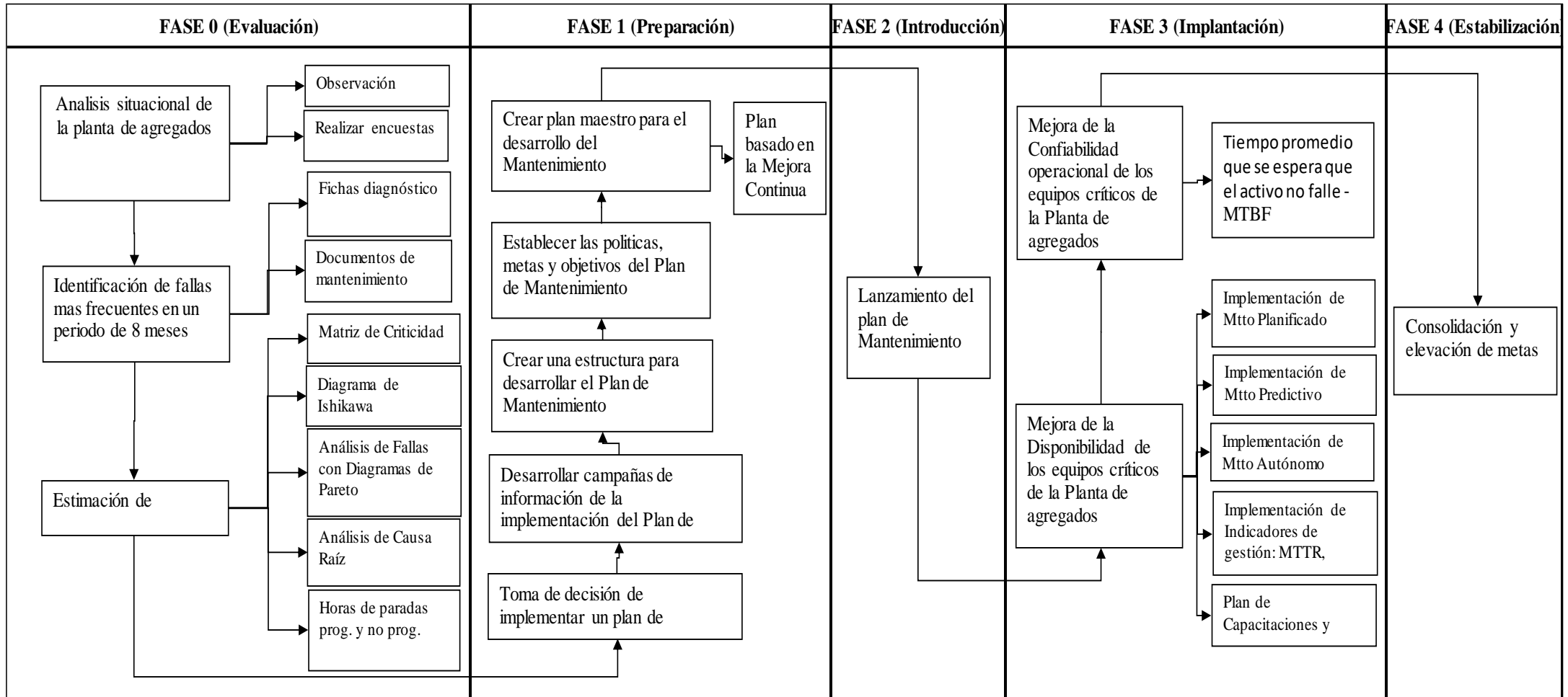
Técnica	Instrumento	Objeto	Objetivos	
Encuestas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cuestionario no estructurado</li> <li>● Check list</li> </ul>	Personal de mantenimiento y producción.	<p>Determinar el estado actual de la gestión de mantenimiento y el proceso de producción.</p> <p>Recopile información sobre averías y su frecuencia.</p> <p>Determinar el estado de operación, mantenimiento, gestión del mantenimiento y su impacto en el proceso productivo.</p>	
Observación	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Libreta de apuntes</li> </ul>	Equipos, componentes	<p>Describir las razones de la baja disponibilidad e identificar las razones que se abordarán en el proceso de producción.</p>	
Análisis Estadístico	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Diagrama Ishikawa</li> <li>● Análisis de Pareto</li> </ul>	Equipos, componentes	<p>se abordarán en el proceso de producción.</p>	
Cartilla de inspección del equipo antes de poner en marcha.	Cartilla, técnicas, list, diarios.	Fichas check reportes	Equipos, componentes.	<p>Inspeccionar y almacenar la información del equipo antes de la puesta en servicio, para cumplir con los estándares, de modo que cuando el equipo entre en servicio, sea confiable.</p>

*Fuente: Elaboración propia.*

### **3.5 Procedimiento.**

A continuación, se presenta el procedimiento para resolver los objetivos, aplicando la ingeniería La investigación está dividida en 5 fases bien definidas, la Fase 1 es la de Evaluación, donde se va a tomar los datos de la situación actual de la planta, la identificación de sus fallas recurrentes en base a tiempos de trabajo programado y no programado y la estimación de las variables con el uso de metodologías que nos permitan identificar los indicadores iniciales de la planta. En la Fase 2, se realizará el estudio de criticidad de los equipos de la compañía; la fase 3 será de determinación del plan de Mantenimiento como parte del sistema de gestión. En la fase 4, se determina el desarrollo de nuevos indicadores post mejora, proyectando variables del NPR, producto del AMEF; y, por último, en la Fase 5 se considera un estudio de costos de implementación del sistema de gestión de mantenimiento y recuperación de la inversión.

**Figura 11. Procedimiento.**



Fuente: Elaboración propia

### **3.6. Métodos de análisis de datos:**

Se realizó un análisis de la condición de los equipos críticos para determinar su confiabilidad y mantenibilidad para determinar su disponibilidad, recolectando datos y registrando un historial para cada equipo.

Los parámetros del proceso fueron desarrollados con estadística descriptiva.

En el análisis cuantitativo, se aplicará la ingeniería básica:

- Análisis de ingeniería para la disponibilidad de los equipos.
  - Muestras de análisis de aceite.
  - Costos de operación de los equipos
  - Costos de producción de la empresa.
  - Parámetros de operación de los equipos
  - Cálculo de la disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad.

Esto permitió la selección de las metodologías adecuadas para lograr la disponibilidad de los equipos y, al mismo tiempo, reducir los costos perdidos debido a la inactividad.

### **3.7 Aspectos Éticos:**

La información presentada en este estudio es de los autores, basada en la investigación y aplicación de los conceptos de mantenimiento, ingeniería mecánica y eléctrica obtenidos en la Universidad Cesar Vallejo - UCV, sin plagio de ningún tipo.

## IV. RESULTADOS.

### 4.1. Evaluar el estado inicial de mantenimiento de los equipos y maquinaria en la planta de agregados para determinar sus indicadores iniciales.

A continuación, se presentan fallas registradas por cada vehículo y maquinaria que generan paradas de máquina durante los meses setiembre a diciembre 2020.

**Tabla 2.** *Fallas de los vehículos de la empresa de septiembre a diciembre de 2020.*

N°	Vehículo	Falla	F	TPR (hr)
1	<b>Volquete Volvo FMX 440</b>	Roturas de mangueras de refrigerante	1	4
		Reemplazo de cilindros de embrague	1	2
		Reemplazo del sistema de embrague	1	8
1	<b>Volquete Volvo FMX 440</b>	Falla en el secador de aire	1	4
		Perdida de presión en la bomba de dirección	1	4
		Reemplazo de terminales de dirección	1	6
1	<b>Volquete Volvo FMX 440</b>	Reemplazo de zapatas y tambor de freno	6	4
		Reparación de crucetas de cardan	1	4
		Reparación del compresor de motor	1	8
2	<b>Volquete Scania P 420</b>	Reemplazo de zapatas y tambor de freno	6	4
		Reparación de reductores de diferencial	4	5
		Cambio de rodamientos en el tren delantero	1	4
2	<b>Volquete Scania P 420</b>	Reparación de reductores de diferencial	6	4
		Reparación de crucetas de cardan	3	4
		Reparación de bomba hidráulica de volteo	1	6
3	<b>Volquete Volvo NL 12</b>	Reemplazo de turbocompresor del motor	2	4
		Reparación de válvulas de frenado	4	2
		Reparación de válvulas de freno	3	2
		Cambio de cámaras de freno	6	2
3	<b>Volquete Volvo NL 12</b>	Reparación de reductores de diferencial	4	5
		Falla en el secador de aire	1	4
		Rotura de mangueras de freno	3	2
		Reparación del control de volteo	1	6
3	<b>Volquete Volvo NL 12</b>	Ruptura de fajas de transmisión	2	3
		Reemplazo del sistema de embrague	1	8
		Reemplazo de terminales de dirección	2	6
		Reemplazo de cilindros de embrague	1	5

Fuente: Registros de mantenimiento de la Empresa con la colaboración del personal del taller.

**Tabla 3.** *Fallas de los vehículos de la empresa de septiembre a diciembre de 2020*

N°	Maquinaria	Falla	F	TPR (hr)
1	Cargador frontal Cat. 938 G	Reemplazo de turbocompresor	1	6
		Fugas de aceite en cilindros hidráulicos	1	6
		Reemplazo ejes y bocinas de volteo	1	10
2	Cargador frontal Cat. 950 G	Reparación de bomba hidráulica	1	72
		Reparación de boque de válvulas	1	14
		Reparación del motor de arranque	1	5
3	Cargador frontal Cat. 962 H	Reemplazo de discos de freno	1	16
		Reparación de alternador	2	5
		Reemplazo de baterías	1	4
4	Excavadora Cat 320 DL	Reparación general de motor	1	120
		Reemplazo de tren de arrastre	1	30
		Reemplazo ejes y bocinas del implemento	1	26
5	Excavadora Cat 329 D2	Reemplazo del motor del ventilador	1	6
		Reparación de la bomba de refrigerante	1	5
		Reemplazo en el tren de arrastre	1	36
6	Trituradora de quijada Athegsur PE2436	Reemplazo de baterías	1	4
		Reparación de motor de arranque	1	6
		Desgaste del buje de los volantes	8	24
7	Zaranda – vibradora Athegsur	Desgaste de las mandíbulas impactoras	8	40
		Ruptura de correas	4	8
		Daño de motor eléctrico	1	10
8	Zaranda – vibradora Athegsur	Fisura de eje intermedio	2	10
		Resorte roto c/u	5	20
		Rotura de correas	4	8
9	Grupo electrógeno diesel Cat.	Falla de rodamientos de chumaceras	3	12
		Motor quemado	1	10
		Rotura de malla	4	16
8	Zaranda – vibradora Athegsur	Desgaste de malla		
		Fisura de eje intermedio	1	12
		Resorte roto c/u	3	6
8	Zaranda – vibradora Athegsur	Rotura de correas	3	6
		Falla de rodamientos de chumaceras	2	8
		Motor quemado	1	10
9	Grupo electrógeno diesel Cat.	Rotura de malla	6	9
		Desgaste de malla	3	12
		Daño en los bornes de la batería	5	10
9	Grupo electrógeno diesel Cat.	Carbonización	3	6
		Aire en el sistema de combustible	4	8
		Daño en los disyuntores y/o fusibles	9	27

Fuente: Registros de mantenimiento de la Empresa con la colaboración del personal del taller.

A continuación, se presentan fallas registradas por cada vehículo y maquinaria que generan paradas de máquina durante los meses enero a abril de 2021.

**Tabla 4.** *Fallas de los vehículos de la empresa de enero a abril de 2021.*

N°	Vehículo	Falla	F	TPR (hr)
1	<b>Volquete Volvo FMX 440</b>	Reparación de compresor y distribución	2	14
		Reparación de diferencial y reenvío	2	14
		Reparación de bomba de refrigerante	2	6
1	<b>Volquete Volvo FMX 440</b>	Reemplazo del sistema de embrague	1	8
		Reemplazo de tambor y zapatas de freno	6	6
		Reparación de motor de arranque	1	5
		Reemplazo de crucetas de cardan	3	4.5
1	<b>Volquete Volvo FMX 440</b>	Reemplazo del secador de aire	1	4
		Reparación del compresor de motor	1	8
		Reemplazo del turbocompresor	1	6
		Reparación del diferencial	2	8
2	<b>Volquete Scania P 420</b>	Reemplazo del turbocompresor	1	4
		Reemplazo de terminales de dirección	2	4
		Reemplazo de crucetas de cardan	3	4.5
		Reparación de transmisión	1	24
2	<b>Volquete Scania P 420</b>	Reemplazo del turbocompresor	2	4
		Reemplazo del sistema de embrague	2	8
		Ruptura de fajas de transmisión	1	4
3	<b>Volquete Volvo NL 12</b>	Fallas en el sistema de inyección de combustible	2	30
		Cambio de válvulas de motor y retenes	2	10
		Reparación de transmisión	1	24
		Reparación de bomba hidráulica de volteo	1	10
		Reparación de cilindro hidráulico de volteo	1	8
3	<b>Volquete Volvo NL 12</b>	Cambio de zapatas de freno	3	3
		Reemplazo de bomba de dirección	1	4
		Reparación de caja de dirección	1	6
3	<b>Volquete Volvo NL 12</b>	Ruptura de fajas de transmisión	2	3
		Reparación de caja de transmisión	1	24
		Reparación de diferencial	1	10
		Reemplazo de rodamientos de eje delantero	1	5

*Fuente: Registros de mantenimiento de la Empresa con la colaboración del personal del taller de mantenimiento.*



**Tabla 5. Fallas de los vehículos de la empresa de enero a abril de 2021.**

N°	Maquinaria	Falla	F	TPR (hr)
1	<b>Cargador frontal Cat. 938 G</b>	Reparación general de motor	1	96
		Fugas de aceite en cilindros hidráulicos	3	6
		Lavado de radiadores	2	5
2	<b>Cargador frontal Cat. 950 G</b>	Avería de la válvula de alivio del sistema hidráulico	1	4
		Falla del ventilador del motor	1	6
		Reemplazo de baterías	1	3
		Reemplazo de discos de freno	1	10
		Perdida de presión de aceite del motor	3	15
		Rotura de mangueras hidráulicas	1	3
3	<b>Cargador frontal Cat. 962 H</b>	Sobrecalentamiento en el motor	3	3
		Lavado de radiadores	1	4
			4	3
4	<b>Excavadora Cat 320 DL</b>	Reemplazo de empaquetadura de culata	1	16
		limpieza de radiadores		
		Cambio de enfriador de aceite de motor	4	4
		Reparación de bloque de válvulas	1	4
		Reemplazo de inyectores de combustible	1	8
5	<b>Excavadora Cat 329 D2</b>		1	6
		Cambio de bomba de refrigerante de motor	1	5
		Reemplazo de enfriador de aceite		
		Reparación del sistema de aire acondicionado	1	4
		Rotura de fajas de transmisión	1	6
		Reemplazo de ejes y bocinas del implemento	1	4
6	<b>Trituradora de quijada Athegsur PE1624</b>		2	12
		Desgaste del buje de los volantes	8	24
		Desgaste de las mandíbulas impactoras	7	35
		Ruptura de correas		6
		Daño de motor eléctrico	3	10
7	<b>Zaranda – vibradora Athegsur</b>		1	
		Fisura de eje intermedio	3	15
		Resorte roto c/u	5	20
		Rotura de correas	4	8
		Falla de rodamientos de chumaceras	3	12
		Motor quemado	1	10
		Rotura de malla	10	15
		Desgaste de malla	4	16
		Fisura de eje intermedio	2	12
		Resorte roto c/u	3	12
8	<b>Zaranda – vibradora Athegsur</b>	Rotura de correas	3	6
		Falla de rodamientos de chumaceras	2	8
		Motor quemado	1	10
		Rotura de malla	6	9
		Desgaste de malla	3	12
9	<b>Grupo electrógeno diesel Cat.</b>	Sulfatación de bornes de la batería	6	15
		Carbonización	4	8
		Aire en el sistema de combustible	6	9
		Daño en los disyuntores y/o fusibles	10	25

*Fuente: Registros de mantenimiento de la Empresa con la colaboración del personal del taller de mantenimiento.*

#### 4.1.1 Cálculo de la Disponibilidad y Confiabilidad iniciales

Con los datos obtenidos en las tablas anteriores se procedió a realizar los cálculos de la disponibilidad y confiabilidad correspondientes:

**Tabla 6.** *Indicadores de los vehículos de la empresa de septiembre a diciembre de 2020.*

<b>Vehículo</b>	<b>MTTR</b>	<b>MTBF</b>	<b>DISPONIBILIDAD</b>	<b>CONFIABILIDAD</b>
<b>Volquete Volvo FMX 440</b>	3.143	54.00	0.945	0.928610
<b>Volquete Scania P 420</b>	1.286	36.810	0.966	0.897039
<b>Volquete Volvo NL 12</b>	1.633	25.030	0.939	0.852339
<b>Cargador frontal Cat. 938 G</b>	7.330	259.630	0.973	0.984696
<b>Cargador frontal Cat. 950 G</b>	30.333	236.330	0.886	0.983219
<b>Cargador frontal Cat. 962 H</b>	6.250	193.750	0.969	0.979569
<b>Excavadora Cat 320 DL</b>	45.500	154.500	0.773	0.974445
<b>Excavadora Cat 329 D2</b>	12.750	187.250	0.936	0.978867
<b>Trituradora de quijada Athehsur PE1624</b>	3.900	34.190	0.898	0.889603
<b>Zaranda – vibradora Athehsur(1)</b>	3.140	24.450	0.886	0.849087
<b>Zaranda – vibradora Athehsur(2)</b>	3.320	38.790	0.921	0.902028
<b>Grupo electrógeno diesel Cat.</b>	2.430	35.670	0.936	0.893921

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 7.** *Indicadores de los vehículos de la empresa de enero a abril de 2021.*

<b>Vehículo</b>	<b>MTTR</b>	<b>MTBF</b>	<b>DISPONIBILIDAD</b>	<b>CONFIABILIDAD</b>
<b>Volquete Volvo FMX 440</b>	3.800	28.570	0.883	0.8693570
<b>Volquete Scania P 420</b>	4.380	54.960	0.926	0.9298101
<b>Volquete Volvo NL 12</b>	8.060	33.820	0.808	0.8884751
<b>Cargador frontal Cat. 938 G</b>	17.833	100.830	0.850	0.9611111
<b>Cargador frontal Cat. 950 G</b>	5.7500	172.250	0.968	0.9770478
<b>Cargador frontal Cat. 962 H</b>	2.273	62.450	0.965	0.9379675
<b>Excavadora Cat 320 DL</b>	4.7500	84.250	0.947	0.9536364
<b>Excavadora Cat 329 D2</b>	5.170	113.500	0.956	0.9653750
<b>Trituradora de quijada Athehsur PE1624</b>	3.950	33.530	0.895	0.8875443
<b>Zaranda – vibradora Athehsur(1)</b>	3.200	20.530	0.865	0.8230116
<b>Zaranda – vibradora Athehsur(2)</b>	3.450	32.150	0.903	0.8830231
<b>Grupo electrógeno diesel Cat.</b>	2.190	30.190	0.932	0.8759289

Fuente: Elaboración propia.

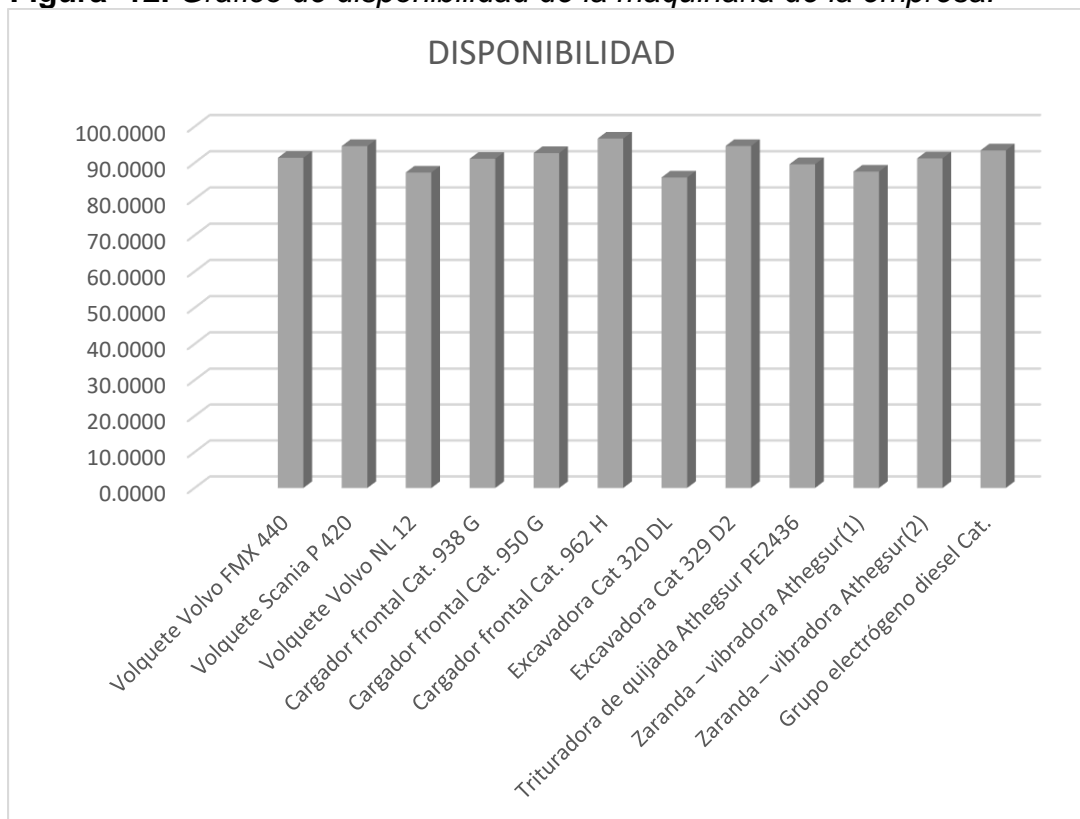
Con la data anteriormente tabulada, se ha procedido a calcular cada uno de los indicadores promedio de las máquinas en estudio; por lo tanto, los resultados correspondientes a disponibilidad y confiabilidad porcentuales referentes, quedaron determinados como se muestra a continuación:

**Tabla 8.** Indicadores promedio de los vehículos de la empresa

Vehículo	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
Volquete Volvo FMX 440	91.3804	89.8984
Volquete Scania P 420	94.6219	91.3424
Volquete Volvo NL 12	87.3144	87.0407
Cargador frontal Cat. 938 G	91.1129	97.2903
Cargador frontal Cat. 950 G	92.6973	98.0133
Cargador frontal Cat. 962 H	96.6818	95.8768
Excavadora Cat 320 DL	85.9565	96.4041
Excavadora Cat 329 D2	94.6342	97.2121
Trituradora de quijada Athegsur PE1624	89.6111	88.8574
Zaranda – vibradora Athegsur(1)	87.5670	83.6049
Zaranda – vibradora Athegsur(2)	91.2124	89.2525
Grupo electrógeno diesel Cat.	93.4293	88.4925

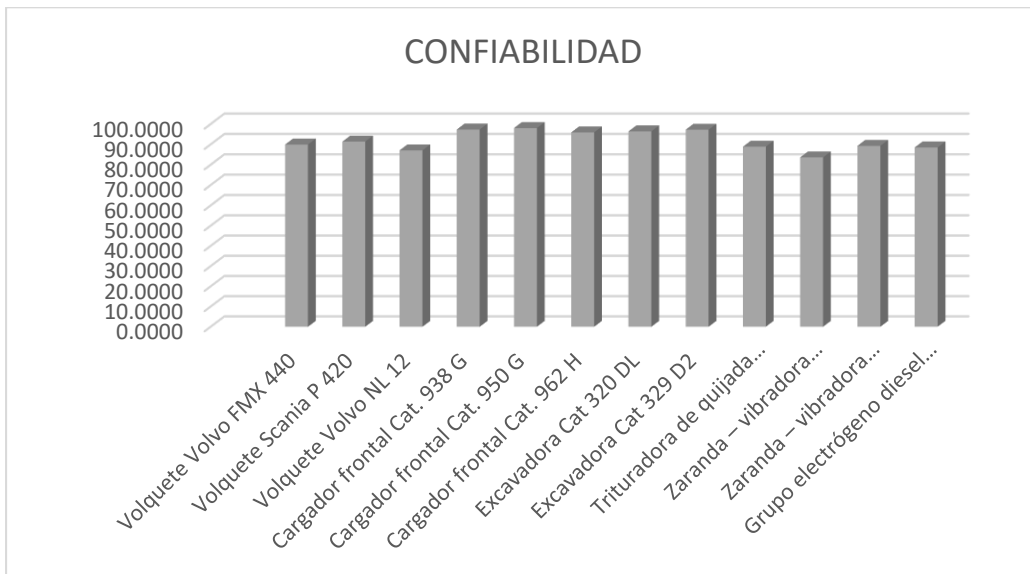
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 12.** Gráfico de disponibilidad de la maquinaria de la empresa.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 13.** Gráfico de confiabilidad de la maquinaria de la empresa.



Fuente: *Elaboración propia.*

## 4.2 Elaboración del análisis de criticidad de los equipos, análisis de modo y efecto de fallos y valorar el número de prioridad de riesgo.

Se procedió a realizar un diagrama de flujo, indicando la secuencia que se realiza para designar a las fallas de cada uno de los equipos móviles, esto nos servirá para poder mantener el orden durante el análisis de criticidad de los equipos.

### 4.2.1. Análisis de Criticidad.

**Tabla 9.** Análisis de criticidad de las unidades móviles I

Resumen De Fallas	Frecuencia	Consecuencia				Impacto a S.H.A	IO*FO+CM+SHA	Nivel De Criticidad
		Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de Mantenimiento				
Sistema de Refrigeración	4	7	2	2	4	20	MC	
Sistema de embrague	4	7	1	2	4	13	MC	
Secador de aire	4	6	2	1	3	16	MC	
<b>Volquete Volvo FMX 440</b> Sistema de dirección	4	9	4	2	8	46	<b>C</b>	
zapatas de freno	4	8	1	1	7	17	MC	
Sistema de transmisión	4	9	4	2	5	47	<b>C</b>	
motor de arranque	3	10	2	2	4	26	MC	
compresor de motor	4	8	3	2	4	30	<b>C</b>	

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 10. Análisis de criticidad de las unidades móviles II**

	Resumen De Fallas	Frecuencia	Consecuencia				IO*FO+CM+SHA	Nivel De Criticidad
			Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de Mantenimiento	Impacto a S.H.A		
<b>Volquete Scania P 420</b>	Sistema de frenos	4	8	1	1	6	15	MC
	Sistema de transmisión	4	10	4	2	6	48	C
	Reparac. bomba hidráulica de volteo	3	7	1	2	5	14	MC
	Reemplazo del turbocompresor	4	9	2	2	5	25	C
	Reemplazó de terminales de dirección	4	10	4	1	7	48	C
	Reemplazo del sistema de embrague	4	10	1	2	4	16	MC
	Motor y sistema de combustión	4	10	1	2	3	15	MC
<b>Volquete Volvo NL 12</b>	Sistema de frenos	4	8	4	2	6	40	C
	Falla en el secador de aire	3	6	1	2	3	11	MC
	Sistema de embrague	4	10	1	2	4	16	MC
	Sistema de dirección	4	10	4	2	7	49	C
	Sistema de transmisión	4	10	4	2	6	48	C

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 11. Análisis de criticidad de las unidades móviles III**

	Resumen de fallas	Frecuencia	Consecuencia			Impacto a S.H.A	IO*FO+CM+SHA	Nivel De Criticidad
			Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de Mantenimiento			
<b>Cargador frontal Cat. 938 G</b>	Reparación general de motor	4	6	1	2	4	12	MC
	Sistema hidraulico	4	5	4	2	8	30	C
	Sistema de refrigeracion	4	5	2	1	5	16	MC
	Sistema de carga y descarga	3	7	2	2	7	23	MC
<b>Cargador frontal Cat. 950 G</b>	Sistema hidráulico	4	8	2	2	5	23	C
	Falla del ventilador del motor	3	7	1	1	2	10	MC
	Reemplazo de discos de freno	3	7	2	1	5	20	MC
<b>Cargador frontal Cat. 962 H</b>	Reparación del motor de arranque	4	10	4	1	4	45	C
	Reemplazo de discos de freno	3	7	2	1	6	21	MC
	Sistema de refrigeracion	4	6	2	1	2	15	MC
	Reemplazo de baterías	4	8	4	1	4	37	C
	Reparación de alternador	4	8	4	1	4	37	C
	Sistema hidráulico de aceite	4	10	1	2	7	19	MC

Fuente: elaboración propia.



**Tabla 12.** Análisis de criticidad de las unidades móviles IV

	Resumen de fallas	Frecuencia	Consecuencia			Impacto a S.H.A	IO*FO+CM+SHA	Nivel De Criticidad
			Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de Mantenimiento			
<b>xcavadora Cat 320 DL</b>	Reparación general de motor	3	10	4	2	5	47	<b>C</b>
	Arrastre	3	6	3	2	4	24	<b>MC</b>
	Implementos	3	5	2	1	4	15	<b>MC</b>
	Sistema de refrigeracion	4	8	3	1	5	30	<b>C</b>
	Reparacion de motor	4	10	4	2	7	49	<b>C</b>
<b>Excavadora Cat 329 D2</b>	Reparación/cambio de la bomba de refrig.	4	7	1	2	2	11	<b>MC</b>
	Reemplazo en el tren de arrastre	3	6	1	2	4	12	<b>MC</b>
	Reemplazo de enfriador de aceite	4	9	1	1	3	13	<b>MC</b>
	Reparación de motor de arranque	4	10	4	1	4	45	<b>C</b>
	Sistema de transmision	3	10	3	1	4	35	<b>C</b>
<b>Trituradora de quijada Atheqsur</b>	Reemplazo de ejes y bocinas del implemento	3	5	1	1	2	8	<b>MC</b>
	Desgaste del buje de los volantes	4	6	2	1	4	17	<b>MC</b>
	Desgaste de las mandíbulas impactoras	4	8	2	2	5	23	<b>C</b>
	Ruptura de correas	4	10	1	1	5	16	<b>MC</b>
	Daño de motor eléctrico	4	9	4	2	6	44	<b>C</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 13. Análisis de criticidad de las unidades móviles V**

	Resumen de fallas	Frecuencia	Consecuencia			Impacto a S.H.A	IO*FO+CM+SHA	Nivel De Criticidad	
			Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de Mantenimiento				
Zaranda – vibradora Athegsur(1)	Fisura de eje intermedio	4	9	3	2	4	33	C	
	Resorte roto c/u	4	9	3	1	4	32	C	
	Rotura de correas	4	10	3	1	5	36	C	
	Falla de rodamientos de chumaceras	4	10	3	2	7	39	C	
	Motor quemado	4	10	4	2	6	48	C	
	Rotura de malla	4	8	1	2	5	15	MC	
	Desgaste de malla	4	9	1	1	4	14	MC	
	Fisura de eje intermedio	4	6	3	2	4	24	C	
Zaranda – vibradora Athegsur(2)	Resorte roto c/u	4	5	2	1	4	15	MC	
	Rotura de correas	4	8	2	1	5	22	C	
	Falla de rodamientos de chumaceras	4	10	3	2	7	39	C	
	Motor quemado	4	10	4	2	6	48	C	
	Rotura de malla	4	6	3	1	5	24	C	
	Desgaste de malla	4	5	3	1	4	20	C	
	Grupo electrógeno diesel Cat.	Sistema de arranque	4	10	4	2	6	48	C
		Sistema de combustible	4	10	4	1	4	45	C
Sistema de generacion		4	10	4	1	4	45	C	

### 4.3. Desarrollar un Plan de Mantenimiento Preventivo que permita reducir las fallas en los equipos y maquinaria en la planta de agregados

#### 4.3.1. Análisis de Modo y Efecto de Fallas (A.M.E.F.)

En los siguientes cuadros, se desarrollan las AMEF para cada falla crítica de cada máquina. A través de la elaboración de las hojas de información y decisiones.

**Tabla 14.** Hoja de información de la maquina VOLVO FMX 440

Hoja De Información RCM	Maquina Volvo Fmx 440		Ingeniero Supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla Funcional	Modo De Falla	Efecto De Falla		
Dirigir las ruedas delanteras como respuesta de las acciones del conductor con el fin de proporcionar el completo control direccional del vehículo.	Perdida de presión en la bomba de dirección. Desgaste excesivo de los terminales de dirección.	Debido al continuo trabajo de ascenso y descenso de la máquina, el <b>SISTEMA DE DIRECCIÓN</b> sufre desgaste en sus terminales y por este efecto, la bomba decae en presión.	De acuerdo al grado de desgaste, es posible que no se consiga reparar correctamente los defectos de la bomba y terminales y el sistema no adquiera la fortaleza necesaria para seguir operando. Se recomienda cambiar terminales completos y bomba de dirección.		
La Transmisión, representada como la parte del Tren de potencia de la maquinaria, lo constituyen los siguientes componentes: Convertidor de Torque, Caja de Transferencia de entrada, Transmisión de Velocidades, Transmisión cardánica, Transmisión Diferencial, Mandos Finales (Incluye los Sistemas de Frenos y/o Embragues direccionales); cuya función principal es lograr que: Torque, Velocidad (Motor) = Torque, Velocidad (Carga)	Bloqueo de sistemas del accionamiento de transmisión cardánica y descontrol de la unidad.	Por excesiva humedad y esfuerzo mecánico, el <b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b> e bloquea y paraliza la unidad.	Paralización de la unidad, por imposibilidad de transmisión de velocidad hacia el elemento cardanico, por ende, a todo el sistema de trasmisión.		
Aumentar la presión del fluido compresible (aire) mediante un intercambio de energía entre la máquina y el fluido, en el cual el trabajo realizado por el compresor es transferido al fluido aumentando su presión y energía cinética para la combustión.	Incapacidad de realizar suministro de aire y bloqueo de los lóbulos del compresor, impidiendo el arranque y performance del motor.	Por deficiencia en la admisión de aire (mal filtración /polución exagerada), el <b>COMPRESOR DEL MOTOR</b> sufre trabamiento de los elementos de alta presión y se produce la paralización en la combustión	Paralización de la unidad, por imposibilidad de poder realizar trabajo de accionamiento del sistema de combustión del motor.		

Fuente: elaboración propia

**Tabla 15. Hoja de información de la maquina SCANIA P420**

Hoja De Información RCM	Maquina Volvo Fmx 440		Ingeniero Supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla Funcional	Modo De Falla	Efecto De Falla		
La Transmisión, representada como la parte del Tren de potencia de la Maquinaria, cuya función principal es lograr que: Torque, Velocidad (Motor) = Torque, Velocidad (Carga)	Bloqueo de sistemas del accionamiento de transmisión cardánica y descontrol de la unidad.	Por excesiva humedad y esfuerzo mecánico, el <b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b> se bloquea y paraliza la unidad.	Paralización de la unidad, por imposibilidad de transmisión de velocidad hacia el elemento cardanico, por ende, a todo el sistema de trasmisión.		
Aumentar la presión aire mediante un intercambio de energía entre la máquina y el fluido, aumentando su presión y energía cinética para la combustión.	Incapacidad de realizar transferencia de aire a la turbina por deficiencia de compresor de aire, impidiendo el arranque y performance del motor.	Por deficiencia en la admisión de aire (falla en el compresor), el <b>TURBO-COMPRESOR</b> se bloquea en la admisión y se produce la paralización en la combustión.	Paralización de la unidad, por imposibilidad de poder realizar trabajo de accionamiento del sistema de combustión del motor. El daño deriva en el reemplazo del turbocompresor.		
Trasmitir potencia hacia las ruedas delanteras como respuesta de las acciones del conductor con el fin de proporcionar el completo control direccional del vehículo.	Perdida de presión en la bomba de dirección. Desgaste excesivo de los terminales de dirección.	Debido al continuo trabajo de desplazamiento de la máquina, los <b>TERMINALES DE DIRECCIÓN</b> sufren desgaste y el descontrol de trasmisión de la unidad obliga su intervención inmediata.	De acuerdo al grado de desgaste, es posible que no se consiga reparar correctamente los defectos de los terminales de dirección; por tal motivo, se decide cambiar terminales completos		

Fuente: elaboración propia

**Tabla 16.** Hoja de información de la maquina VOLVO NL12

Hoja De Información RCM	Maquina Volvo Fmx 440		Ingeniero Supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla Funcional	Modo De Falla	Efecto De Falla		
Parar o reducir el movimiento de uno o varios elementos. Su objetivo esencial no es otro que reforzar la seguridad en la conducción de este tipo de maquinaria.	El sistema de frenado, que transforma la energía cinética en energía térmica para forzar las zapatas hacia fuera y contra las tamboras, no controla.	Por desgaste y/o rotura de zapatas, éstas no actúan hacia fuera y contra las tamboras, por lo tanto, el <b>SISTEMA DE FRENOS</b> principal, no llega a ejercer control sobre las ruedas del vehículo.	Paralización de la unidad. Se actúa realizando mantenimiento general al sistema de frenos, iniciando por el sistema hidráulico, cambio de zapatas y rectificación de tamboras en torno.		
Dirigir las ruedas delanteras como respuesta de las acciones del conductor con el fin de proporcionar el completo control direccional del vehículo.	Perdida de presión en la bomba de dirección. Desgaste excesivo de los terminales de dirección.	Debido al continuo trabajo de ascenso y descenso de la máquina, el <b>SISTEMA DE DIRECCIÓN</b> sufre desgaste en sus terminales y por este efecto, la bomba decae en presión.	De acuerdo al grado de desgaste, es posible que no se consiga reparar correctamente los defectos de la bomba y terminales y el sistema no adquiera la fortaleza necesaria para seguir operando. Se recomienda cambiar terminales completos y bomba de dirección.		
La Transmisión, representada como la parte del Tren de potencia de la Maquinaria, lo constituyen los siguientes componentes: Convertidor de Torque, Caja de Transferencia de entrada, Transmisión de Velocidades, Transmisión cardánica, Transmisión Diferencial, Mandos Finales (Incluye los Sistemas de Frenos y/o Embragues direccionales); cuya función principal es lograr que: Torque, Velocidad (Motor) = Torque, Velocidad (Carga)	Bloqueo de sistemas del accionamiento de transmisión cardánica y descontrol de la unidad.	Por excesiva humedad y esfuerzo mecánico, el <b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b> se bloquea y paraliza la unidad.	Paralización de la unidad, por imposibilidad de transmisión de velocidad hacia el elemento cardánico, por ende, a todo el sistema de transmisión.		

Fuente: elaboración propia

**Tabla 17. Hoja de información de los Cargadores Frontales CAT (938 G, 950G, 962H)**

Hoja De Información RCM	Maquina Volvo Fmx 440		Ingeniero Supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla Funcional	Modo De Falla	Efecto De Falla		
Transmitir potencia hacia los pistones de levantamiento, usando aceite especial como medio de potencia.	Al transferir el aceite especial, para ejercer presión para el levantamiento del brazo mecánico de la unidad, éste no funciona por falta de presión hidráulica.	Por falta de nivel de aceite (Hidrolina) en el cilindro, el pistón del <b>SISTEMA HIDRAULICO</b> principal, no llega a su punto superior.	Alto consumo de aceite especial. El aceite puede pasarse al interior de los cilindros produciéndose la merma de este. Presencia de derrames locales.		
Mantener en óptimas condiciones la temperatura del motor, para el funcionamiento correcto de la unidad.	Recalentamiento de motor y señales de alerta activadas.	Por obstrucción interna en las celdas del radiador, el <b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b> se satura y se activan las alarmas indicativas.	Paralización inmediata de la unidad, para así evitar soplado de empaquetadura de culata y/c fundición de motor.		
Determinar el inicio de arranque de la unidad móvil, para el correcto funcionamiento del motor y demás complementos.	En intento de poner en servicio la unidad móvil, el arranque no activa y el motor no puede accionar el inicio de operaciones.	Por continuos arranques y paradas de la unidad, el deterioro del bobinado del <b>MOTOR DE ARRANQUE</b> es pronunciado y el funcionamiento nulo.	Paralización de la unidad móvil. Requiere reparación inmediata del motor de arranque o cambio, para el correcto funcionamiento general.		
Suministrar energía eléctrica a los controles y funciones del Cargador Frontal.	El alternador, no realiza la debida carga y las placas de baterías se deterioran prematuramente.	Al producirse deterioro prematuro de las placas de las <b>BATERÍAS</b> , éstas ya no suministran debida carga y deben ser reemplazadas.	Imposibilidad de continuación de operaciones del cargador frontal. Se requiere cambio de baterías y regulación de alternador para mantener la debida carga.		

Fuente: elaboración propia

**Tabla 18. Hoja de información de los Excavadores CAT (320 DL y 329 D2)**

Hoja De Información RCM	Maquina Volvo Fmx 440		Ingeniero Supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla Funcional	Modo De Falla	Efecto De Falla		
Trasmitir potencia para el arranque y funcionamiento de la excavadora. Cumple las funciones principales de accionamiento de la unidad.	Al estar próximo a sus horas límites de funcionamiento, el motor empieza a manifestar explosiones prematuras y baja frecuente en el nivel de aceite.	Se produce presencia de humos negros excesivos y la disminución frecuente de aceite, indicativos de próximo colapso y <b>REPARACIÓN GENERAL DE MOTOR.</b>	Paralización inmediata de la unidad. De continuar con operaciones, el efecto puede traducirse en rotura de anillos de pistones, deformación de los mismos y daño al sistema biela manivela de accionamiento general desde el cigüeñal.		
Gobierno y operación de los brazos primarios y secundarios, para el correcto funcionamiento de pala y excavadoras.	Las bocinas de los implementos presentan desgaste pronunciado y los retenes por vejez se agrietan y no cumplen su función de sellado de lubricante.	Las bocinas de los <b>IMPLEMENTOS</b> y sellos o retenes deteriorados, no permiten la correcta presurización del aceite hacia <b>MANDOS FINALES</b> y las excavadoras no tienen fuerza.	Pérdida de aceite de los mandos finales puede ocasionar paralización de la máquina. Cambiar retenes y bocinas de implementos.		
Mantener en óptimas condiciones la temperatura del motor, para el funcionamiento correcto de la unidad.	Recalentamiento de motor y señales de alerta activadas.	Por obstrucción interna en las celdas del radiador, el <b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b> se satura y se activan las alarmas indicativas.	Paralización inmediata de la unidad, para así evitar soplado de empaquetadura de culata y/o fundición de motor.		
Determinar el inicio de arranque de la unidad móvil, para el correcto funcionamiento del motor y demás complementos.	En intento de poner en servicio la unidad móvil, el arranque no activa y el motor no puede accionar el inicio de operaciones.	Por continuos arranques y paradas de la unidad, el deterioro del bobinado del <b>MOTOR DE ARRANQUE</b> es pronunciado y el funcionamiento nulo.	Paralización de la unidad móvil. Requiere reparación inmediata del motor de arranque o cambio, para el correcto funcionamiento general.		
Entregar la suficiente potencia para el movimiento de la unidad móvil, con la transmisión hacia los elementos rodantes.	Bloqueo de sistemas de transmisión por defecto inesperado de crucetas de accionamiento del sistema cardánico.	Por esfuerzo excesivo de la excavadora en trabajos de la planta, el <b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b> se bloquea y paraliza la unidad, pues el cardán no trasmite potencia al movimiento de las ruedas, debido a la ruptura de crucetas cardánicas.	Paralización de la unidad, por imposibilidad de transmisión de velocidad hacia el elemento cardánico.		

Fuente: elaboración propia

**Tabla 19.** Hoja de información de Trituradora de quijada Athegsur

Hoja De Información RCM	Maquina Volvo Fmx 440		Ingeniero Supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla Funcional	Modo De Falla	Efecto De Falla		
Reducir el tamaño y tamiz de piedra para agregados en chancadora de la empresa...	La máquina chancadora se para por defecto de trituración de la piedra.	Debido al desgaste excesivo de las <b>MANDIBULAS IMPACTADORAS</b> de la máquina trituradora, el proceso de chancado de piedra es defectuoso y se decide parar la máquina.	Paralización inmediata de la trituradora. De continuar con operaciones, el efecto puede traducirse en rotura de las mandíbulas impactadoras y cero producciones de piedra para la planta de agregados.		
Determinar el inicio de arranque de la trituradora, para el correcto funcionamiento de la unidad y demás complementos.	Sistema de aterramiento defectuoso y apertura de bobinas de estator. El motor queda "quemado"	Por continuos arranques y paradas de la unidad y humedad del medio ambiente, el deterioro del bobinado del <b>MOTOR ELÉCTRICO</b> es pronunciado y el funcionamiento nulo.	Paralización de la trituradora requiere reparación inmediata del motor o cambio, para el correcto funcionamiento general.		

Fuente: elaboración propia



**Tabla 20. Hoja de información de Zarandas vibratorias Athegsur (1 y 2)**

Hoja De Información RCM	Maquina Volvo Fmx 440		Ingeniero Supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla Funcional	Modo De Falla	Efecto De Falla		
Transmitir potencia del motor-reductor hacia el sistema de zarandeo de material para agregados	Vibración alta de la zaranda y trabamiento súbito, ocasionan fisura en el eje central.	Debido al movimiento de zarandeo vibratorio de la máquina, trabamiento del sistema y desgaste natural, se presenta fisura en el EJE INTERMEDIO DE LA ZARANDA, obligando a paralizar las operaciones productivas.	Paralización inmediata de la zaranda. De continuar con operaciones, el efecto puede traducirse en rotura completa del eje intermedio y repercusión en los elementos complementarios como son resortes, malla, etc.		
Amortiguación del sistema vibratorio de las zarandas Athegsur	Rotura de resortes de amortiguación de vibraciones de la zaranda Athegsur.	Debido al trabajo constante de amortiguación de las vibraciones, humedad excesiva y factores de orden mecánico, los <b>RESORTES</b> fallan por ruptura característica de fatiga de material acero.	Paralización de las zarandas y por lo tanto de toda la producción de agregados, hasta cambiar los resortes fallados por unidades nuevas de repuesto.		
Transmisión de potencia y regulación de velocidad de motoreductor al accionamiento de zarandas Athegsur.	Rotura de fajas de transmisión de potencia de la zaranda Athegsur.	Trabamiento de eje motriz central de la zaranda ocasiona rotura de correas o fajas de transmisión, desgastadas por el normal funcionamiento.	Motoreductor queda trabajando en vacío y zaranda paralizada por falta de transmisión de potencia. Se procede a destrabar eje y cambio de fajas o correas.		
Aumentar la eficiencia de todos los sistemas de accionamiento, transmisión y rodadura de las zarandas vibratorias.	Incapacidad de transmitir el torque de accionamiento de la unidad.	Por vibración excesiva, mala lubricación y humedad en el ambiente, <b>LOS RODAJES</b> , se desgastan, sus elementos rodantes sufren alteraciones y deformaciones y colapsan las pistas de rodadura.	Limitación de trabajo efectivo de las zarandas, por no permitir realizar tareas efectivas. Se deben prever estas fallas mediante mantenimiento predictivo y reemplazar oportunamente estos rodamientos		
Entregar la suficiente energía para el funcionamiento de la zaranda vibratoria, con la idoneidad de circuitos.	Bloqueo del sistema eléctrico de motor de accionamiento del sistema de transmisión de la zaranda vibratoria.	Por excesiva humedad y esfuerzo del sistema, literalmente, el <b>MOTOR se ha QUEMADO</b> y el aislamiento se fue a cero.	Paralización de la unidad, por imposibilidad de transmisión de potencia y velocidad hacia la zaranda vibratoria. Se procede al envío a reparación del motor.		
Tamizado de aceptados de material procesado en las zarandas vibratorias.	Rotura de malla o plancha perforada de ¼" de diámetro x 3/16" de espesor que sirve de tamiz para selección de aceptados en zaranda.	Debido a la abrasividad del material a seleccionar para el correcto agregado a producir y el zarandeo constante, las planchas perforadas que conforman la <b>MALLA</b> , sufren desgaste y fallan por ruptura.	Paralización momentánea de la producción, hasta realizar la reparación (parchado) de malla o cambio de planchas perforadas si el caso lo requiere.		

Fuente: elaboración propia

**Tabla 21.** Hoja de información de Grupo electrógeno Diesel CAT

Hoja De Información RCM	Maquina Volvo Fmx 440		Ingeniero Supervisor	Fecha	Hoja 1/1
Función	Falla Funcional	Modo De Falla	Efecto De Falla		
Determinar el inicio de operaciones de la unidad estacionaria, para el correcto funcionamiento del motor y demás complementos.	El arranque no activa y el motor no puede accionar el inicio de operaciones.	Por continuos arranques y paradas de la unidad, el deterioro del bobinado del <b>MOTOR DE ARRANQUE</b> es pronunciado y el funcionamiento nulo.	Imposibilidad de contar con alternativa de suministro de energía eléctrica cuando el sistema interconectado nacional programe paradas de mantenimiento o se produzcan apagones.		
Suministro de petróleo diésel para el funcionamiento de motor del grupo electrógeno, de manera fluida y eficiente.	Falta de flujo apropiado de combustible para el continuo desarrollo de generación eléctrica, provoca paralización de la unidad.	Por efectos de la polución excesiva en el medio de trabajo, los filtros de combustible se ensucian rápidamente y se "taponean" los elementos filtrantes.	Paralización del motor del grupo electrógeno que ocasiona retraso en las actividades productivas de agregados, cuando se está trabajando con energía alterna de este grupo.		
Producir energía eléctrica a partir de la potencia otorgada por el motor de combustión interna del grupo electrógeno.	Generador de electricidad no levanta carga y no puede entrar en servicio el grupo electrógeno.	Desincronismo de velocidad (RPM) de motor y generador, impiden levantar potencia eléctrica en el generador, pues la falla se produce por desperfecto del sistema electrónico de control	Retraso en operaciones generales de la planta de agregados, por falta de energía eléctrica que supe al SINC en casos programados de mantenimiento. Se requiere tener repuesto de tarjeta electrónica de sincronismo de motor-generador.		

Fuente: elaboración propia

#### 4.3.2. Número de prioridad de riesgos

En la siguiente tabla, se muestran la recopilación de todas las fallas de las máquinas descritas líneas arriba. Para determinar los valores de NPR, de cada falla involucrada en el AMEF, se considerarán los calificativos de: Inaceptable, reducible a deseable y aceptable, de acuerdo a los siguientes índices:

Puntajes del AMEF

NPR >200 → Inaceptable (I)

200 > NPR < 125 → reducción deseable (R)

125 > NPR → Aceptable

**Tabla 22.** Análisis del Número de prioridad de riesgos I

Ítem	Descripción de la Falla Crítica	G	O	D	NPR
F1	Perdida de presión en la bomba del Sistema de dirección de obliga a parar la unidad. (maquinaS Volvo FMX 440, Scania P420 y Volvo NL12)	10	5	6	300
F2	El <b>SISTEMA de TRANSMISIÓN</b> se bloquea y paraliza la unidad. (Máquina Volvo FMX 440 y Volvo NL12)	8	7	5	280
F3	Bloqueo de los lóbulos del compresor de motor de Volvo FMX 440, impide el arranque y performance del motor.	8	4	6	192
F4	Bloqueo de sistemas del accionamiento de transmisión cardánica y descontrol de la unidad SCANIA P420	10	3	7	210
F5	Incapacidad de realizar transferencia de aire a la turbina por deficiencia de turbo-compresor de aire de SCANIA P420.	7	4	4	112
F6	Desgaste excesivo de zapatas de unidad VOLVO NL12, Descontrol en Sistema de frenos	8	5	4	160
F7	Falta de presión de aceite en el SISTEMA HIDRÁULICO de Cargadores Frontales CAT	8	6	6	288
F8	Recalentamiento de motor de unidades CAT, por falla en el <b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b> .	8	3	6	144
F9	Colapso del bobinado del <b>MOTOR DE ARRANQUE</b> de unidades CAT	9	3	4	108
F10	Las placas de baterías de cargadores frontales CAT se deterioran prematuramente.	7	5	5	175
F11	Pérdida de potencia de cargador frontal CAT, obliga a programar <b>REPARACIÓN GENERAL DE MOTOR</b> .	10	3	8	240
F12	Las bocinas de los implementos presentan desgaste y daño en retenes de cilindros de mandos finales de C.F. CAT.	6	6	5	180
F13	el <b>SISTEMA de TRANSMISIÓN</b> de cargadores frontales CAT se bloquea y paraliza la unidad.	8	7	5	280
F14	Desgaste excesivo de las <b>MANDÍBULAS IMPACTADORAS</b> de la máquina trituradora Athegsur.	7	6	6	252

Fuente: elaboración propia

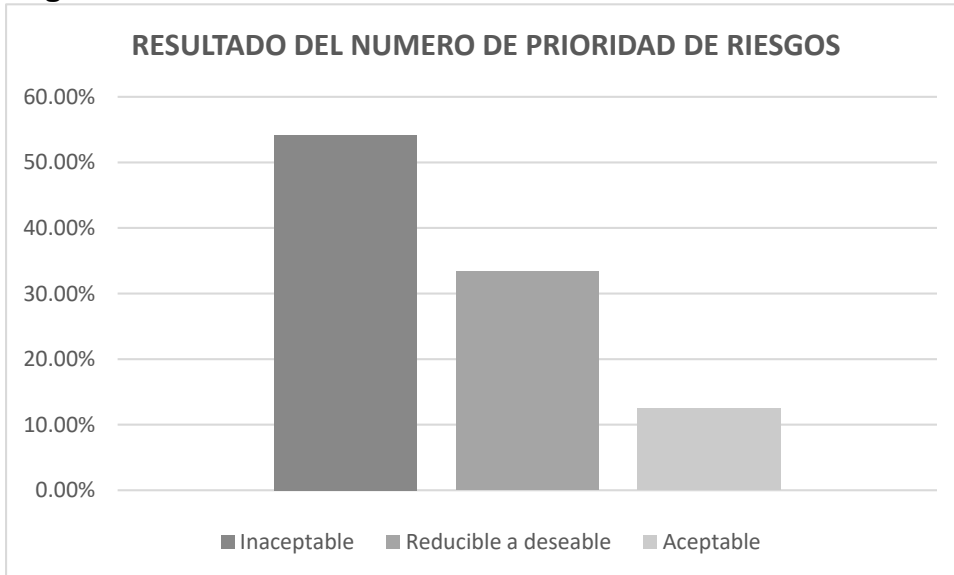
**Tabla 23. Análisis del Número de prioridad de riesgos II**

Ítem	Descripción de la Falla Crítica	G	O	D	NPR
F15	<b>MOTOR ELÉCTRICO</b> de la trituradora Athegsur se va a tierra (Quemado) y el funcionamiento nulo.	9	3	9	243
F16	Fisura en el EJE INTERMEDIO DE LA ZARANDA VIBRATORIA ATHEGSUR	6	3	5	90
F17	Rotura de resortes de amortiguación de vibraciones de la zaranda Athegsur.	9	5	6	270
F18	Rotura de fajas de transmisión de potencia de la zaranda Athegsur	8	3	6	144
F19	Desgaste de <b>LOS RODAMIENTOS</b> del sistema de accionamiento y trasmisión de zarandas Athegsur.	7	3	7	147
F20	Bloqueo del sistema eléctrico de motor de accionamiento del sistema de transmisión de la zaranda vibratoria	10	4	7	280
F21	Rotura de malla o plancha perforada de la zaranda vibratoria Athegsur	7	3	9	189
F22	<b>MOTOR DE ARRANQUE</b> del Grupo electrógeno CAT se va a tierra (Quemado) y el funcionamiento nulo.	9	3	9	243
F23	Obstrucción y taponamiento de filtros de combustible del grupo electrógeno CAT.	8	6	6	288
F24	Desincronismo de velocidad (RPM) de motor y generador del grupo electrógeno CAT.	8	4	7	224

Fuente: elaboración propia

Finalmente, podemos decir que 13 fallas son indeseables (54.17%), 8 fallas son reducibles a deseables (33.33%) y 3 fallas son aceptables (12.50%)

**Figura 14. Gráfico clasificación de las fallas mediante el NPR**



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. Programa de Mantenimiento Preventivo.

##### 4.4.1. Programa de Mantenimiento Obligatorio.

El plan de mantenimiento es un resumen de todos los intervalos de mantenimiento para un número específico de modelos y debe usarse como una lista de verificación para las comprobaciones de mantenimiento. El plan de mantenimiento indica los intervalos en condiciones de funcionamiento estándar.

##### **Motivo**

El programa de mantenimiento obligatorio de las máquinas VOLVO, SCANIA, CAT y ATHEGSUR fue revisado y se excluyó la obligatoriedad de la ejecución de los mantenimientos de cada 250 hrs.

##### **IMPORTANTE**

El cambio del aceite del motor, cada 500h solamente es válido para las especificaciones para el aceite de motor Volvo, Scania y CAT; el cual contribuye a prolongar la vida útil de las máquinas para aplicaciones severas al tiempo y ofrece un rendimiento excepcional.

Para que el cambio de aceite del motor cada 500 hrs. sea válido, se debe atender la especificación para el combustible con porcentual de Azufre < 0,3%; la tabla 15 deberá ser utilizada como referencia:

**Figura 15.** *El cambio del aceite del motor*

<b>Aceite</b>	<b>% de Azufre en el combustible</b>		
VDS4	< 0,3%	0,3 - 0,5%	> 0,5%
	500h	250h	125h

##### **Acción**

El Programa de Mantenimiento Obligatorio de equipos VOLVO, SCANIA Y CAT, será de acuerdo a las siguientes instrucciones:

- Intervalo de Mantenimientos Obligatorios: cada 500 horas
- Los detalles se explican en el programa de servicio disponible en el PROSIS.

#### 4.4.2. Mantenimiento Obligatorio por garantía

##### Motivo

Debido a las actualizaciones de algunos modelos de dispositivos, existe una desviación del período de garantía y las instrucciones de funcionamiento. A partir de hoy, el primer servicio obligatorio seguirá las instrucciones del manual: 100h, 250h o 500h según el modelo y la serie del producto. Para que la garantía de fábrica sea válida, la máquina debe recibir servicio de acuerdo con el programa de mantenimiento especial aplicable a cada máquina. Los procedimientos de servicio descritos en la columna "Primero" deben ser realizados por un distribuidor autorizado. Además de los "intervalos estándar", deben realizarse los pasos de mantenimiento descritos en las columnas "Primero" e "Intervalos adicionales".

**Figura 16. Horas de funcionamiento**

HORAS DE FUNCIONAMIENTO / INTERVALO	Primeras	Intervalo estándar, cada							Intervalo adicional, cada
	500	10	50	250	500	1000	2000	4000	6000
Máquina, comprobación de daños externos, grietas y daños por desgaste.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Nivel de líquido de lavado, control		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Nivel de aceite del motor, control			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Nivel del refrigerante, control			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Nivel del aceite hidráulico, control			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Motor, aceite y filtro, cambio. Intervalo más corto según sea necesario (en caso de alto contenido de azufre en el combustible). Requisito para intervalo de cambio de 500 horas en el Libro de instrucciones.					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Filtro de combustible, cambio					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

El distribuidor recibirá el reembolso de hasta 03 (tres) horas a costo garantía (USD 36/H-H) en la inspección de 100 horas de operación, para equipos cuya "primera" inspección sea obligatoria, con tolerancia en el horómetro de hasta un 20%.

### Observación

Solo por unidad con 100 horas de mantenimiento. 100 horas de mantenimiento es un registro obligatorio. en el sistema. Se requiere inspección cada 1000 horas. Las condiciones de funcionamiento se pueden lograr con una tolerancia de  $\pm 10\%$  en el contador de horas durante el período de garantía (1 año), y las verificaciones periódicas son responsabilidad del vendedor en colaboración con el personal de servicio.

#### 4.5. Determinar los nuevos indicadores de gestión de mantenimiento relacionado a los tiempos de paradas en los equipos y maquinaria en la planta de agregados.

Se estima según el NPR, se resolverán el 54.17% de todas las fallas existentes de todos los equipos y maquinaria, existiendo aun el 45.83% de fallas entre deseables y aceptables.

### DETERMINACION DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO POST

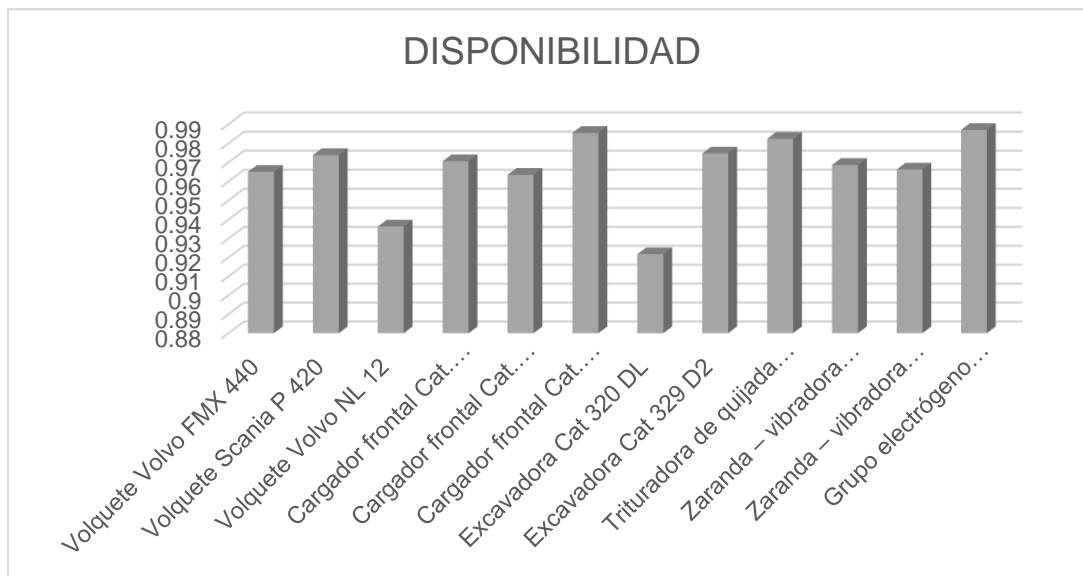
#### MEJORA:

Tabla 24. Indicadores promedio de los vehículos de la empresa post mejora.

Vehículo	MTTR	MTBF	Disponibilidad	Confiabilidad
Volquete Volvo FMX 440	1.562175	43.194325	0.965096131	0.989691835
Volquete Scania P 420	1.27485	47.44315	0.973832054	0.989783832
Volquete Volvo NL 12	2.180925	32.090575	0.936363305	0.989377209
Cargador frontal Cat. 938 G	5.661675	187.149825	0.970636217	0.989750368
Cargador frontal Cat. 950 G	8.118675	214.212825	0.963483919	0.989674676
Cargador frontal Cat. 962 H	1.917675	130.443825	0.985511837	0.989904296
Excavadora Cat 320 DL	11.30625	133.19375	0.921756055	0.989209779
Excavadora Cat 329 D2	4.032	155.303	0.974694825	0.989792829
Trituradora de quijada Athegsur PE1624	1.5075	84.0925	0.982389019	0.989872367
Zaranda – vibradora Athegsur(1)	1.5255	47.2045	0.968694849	0.989729933
Zaranda – vibradora Athegsur(2)	1.764	50.541	0.966274735	0.989704343
Grupo electrógeno diesel Cat.	0.85725	65.36275	0.987054515	0.989919995

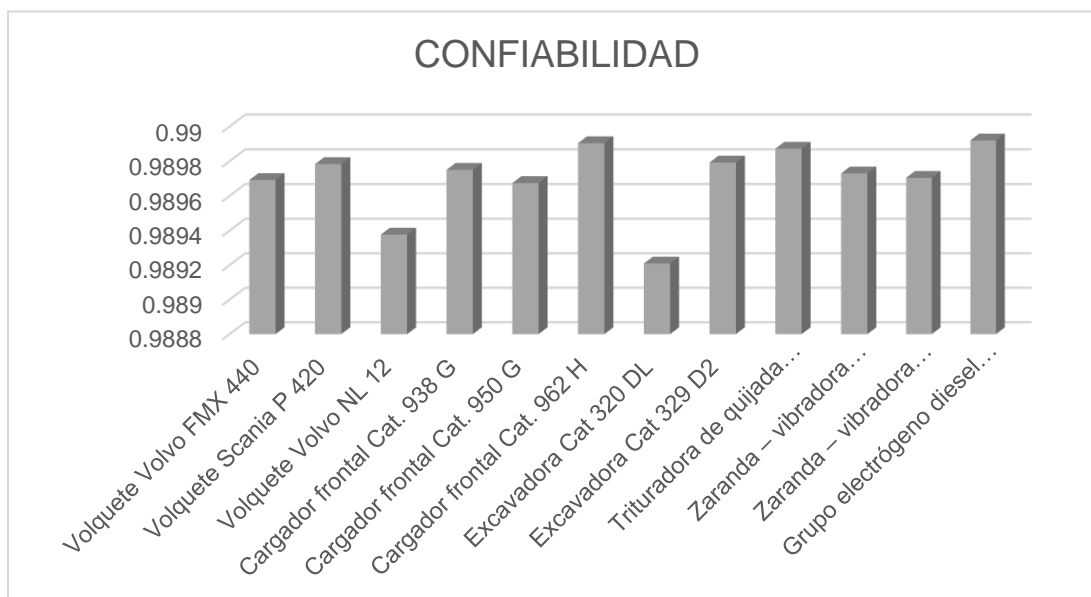
Fuente: Elaboración propia

**Figura 17. Disponibilidad post mejora**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 18. Confiabilidad post mejora**



Fuente: Elaboración propia

**Comentario:**

Para obtener el primer resultado:  $MTTR = 3.4715 \cdot 0.45 = 1.562175$  horas/periodo;  
 $MTBF = (3.4715 - 1.562175) + 41.0285 = 53.194325$  horas/periodo;  $C(t) = e^{\left(\frac{-\gamma \cdot t \cdot p \cdot p}{100}\right) \cdot 100}$ .

Bajo esta metodología se determinó cada MTTR; MTBF y C(t) de cada equipo. El detalle de cálculos se incluirá en anexos Excel.



4.6. Evaluar los costos para la implementación del sistema de gestión de mantenimiento y proyectar el beneficio económico, así como el retorno de la inversión.

#### 4.6.1 Beneficio económico por reducción de horas perdidas

**Tabla 25.** Beneficio por reducción de horas perdidas

Vehículo	TPR	TPR	DIFERENCIA	COSTO DE OPERACIÓN	AHORRO
	INICAL	EN MEJORA			
	(Hrs/año)	(Hrs/año)	(Hrs/año)	(USD/Hr)	(USD/año)
Volquete Volvo FMX 440	250	112.5	137.5	110.00	15125.00
Volquete Scania P 420	156	70.2	85.8	110.00	9438.00
Volquete Volvo NL 12	372	167.4	204.6	110.00	22506.00
Cargador frontal Cat. 938 G	258	116.1	141.9	110.00	15609.00
Cargador frontal Cat. 950 G	228	102.6	125.4	110.00	13794.00
Cargador frontal Cat. 962 H	100	45	55	110.00	6050.00
Excavadora Cat 320 DL	440	198	242	110.00	26620.00
Excavadora Cat 329 D2	164	73.8	90.2	110.00	9922.00
Trituradora de quijada Athegsur PE1624	142	63.9	78.1	110.00	8591.00
Zarandas – vibradora Athegsur	280	126	154	110.00	16940.00
Grupo electrógeno diesel Cat.	16	7.2	8.8	110.00	968.00
<b>TOTAL</b>	<b>2406</b>	<b>1082.7</b>	<b>1323.3</b>	<b>110.00</b>	<b>145563.00</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.2. Costo por implementación del mantenimiento predictivo

**Tabla 26.** Costos por mantenimiento predictivo

Acción	Frecuencia	Costo Unitario (USD)	Precio total
Análisis vibracional a componentes de máquinas	24 veces/año	45.00	1080.00
Análisis termográfico a circuitos eléctricos	24 veces/año	40.00	960.00
Análisis de aceites y lubricantes	24 veces/año	45.00	1080.00
Alineamiento de sistemas de transmisión	12 veces/año	35.00	420.00
<b>TOTAL</b>			<b>3540.00</b>

Fuente: Elaboración propia

### 4.6.3. Costos por implementación del mantenimiento preventivo

**Tabla 27.** Costos en mantenimiento preventivo

Descripción	Cantidad (veces/año)	Precio Unitario (USD)	Precio total (USD)
<b>MÁQUINA VOLVO FMX 440</b>			
Mantenimiento de bomba y terminales de dirección	4	400	1600
Mantenimiento de sistemas de accionamiento de transmisión cardánica.	4	300	1200
Mantenimiento del compresor de motor	2	350	700
<b>MAQUINA SCANIA P420</b>			
Mantenimiento de sistemas de accionamiento de transmisión cardánica.	4	300	1200
Mantenimiento de Turbocompresor	2	400	800
Mantenimiento de bomba y terminales de dirección	4	400	1600
<b>MAQUINA VOLVO NL12</b>			
Mantenimiento del sistema de frenos	4	300	1200
Mantenimiento de sistema y terminales de dirección	4	400	1600
Mantenimiento de sistemas de accionamiento de transmisión cardánica.	4	300	1200
<b>CARGADORES FRONTALES CAT</b>			
Mantenimiento del sistema hidráulico	2	400	800
Mantenimiento del sistema de refrigeración	2	350	700
Mantenimiento del motor de arranque	2	250	500
Mantenimiento de "implementos" de mandos finales	2	350	700
Mantenimiento de sistema de transmisión	2	300	600
<b>TRITURADORAS ATHEGSUR</b>			
Mantenimiento de Mandíbulas impactadoras	2	600	1200
Mantenimiento de motor eléctrico de arranque	1	250	250
Mantenimiento de eje intermedio de la zaranda	1	500	500
Cambio de resortes de zaranda vibratoria	1	400	400
Mantenimiento de sistema de trasmisión de potencia	2	500	1000
Cambio de malla de zaranda vibratoria	4	450	1800
<b>GRUPO ELECTRÓGENO DIESEL - CAT</b>			
Mantenimiento de motor eléctrico de arranque	1	250	250

Reemplazo de filtros de combustible	4	200	800
Mantenimiento de sistema de control del generador	1	300	300
			<b>20900</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.4. Beneficio Útil

**Tabla 28. Resumen de los costos en mantenimiento**

Ahorro por horas perdidas	145563.00
Costos predictivos	- 3540.00
Costos preventivos	- 20900.00
<b>Beneficio Útil</b>	<b>121123.00</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.5. Inversión en activos fijos y tecnología para la implementación del Plan.

**Tabla 29. Inversión en activos**

Activos	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Equipo para análisis y recuperación de aceite	1	6000.00	6000.00
Cámara termográfica para inspección de puntos calientes	1	5000.00	5000.00
Compresora de aire estacionaria para sistemas neumáticos	1	24500.00	24500.00
Horno para secado de motores reparados	1	2500.00	2500.00
Megger para evaluación de aislamiento de cables y motores eléctricos	2	650.00	1300.00
Multímetro para evaluaciones eléctricas	4	120.00	480.00
Equipo para evaluación de compresión de motores diesel.	1	350.00	350.00
Vibrómetro IRD -50 para análisis vibracional	1	8200.00	8200.00
Equipo para alineamiento láser.	1	3200.00	3200.00
			<b>51530.00</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.6. Retorno de la inversión

$$R.O.I. = \frac{\textit{Inversión inicial}}{\textit{Beneficio útil}}$$

$$R.O.I. = \frac{51530.00}{121123.00}$$

$$R.O.I. = 0.42544 \text{ años} \cong 5.1 \text{ mese}$$

## V. DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta el desarrollo de la investigación, se han demostrado los planteamientos de los objetivos propuestos del sistema de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos críticos en la Planta de agregados de la ciudad de Trujillo-Perú, mediante los cuales se han evaluado los equipos y maquinaria de la Planta, determinado sus indicadores iniciales y realizado el análisis de criticidad correspondiente, preámbulo del A.M.E.F. y N.P.R para establecer ponderaciones adecuadas de los equipos denominados críticos; a continuación se ha desarrollado el programa de mantenimiento y se proyectaron los nuevos indicadores en base a los resultados porcentuales del NPR para la optimización de disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria y equipos de la Planta de agregados. Finalmente se evaluaron costos para dicha proyección y determinó el beneficio económico y retorno de la inversión. De todo el tratado se ha podido rescatar como fortaleza principal la metodología de proyección de mejora en planes de mantenimiento, innovación que de acuerdo a algunos antecedentes fue muy certera para implementación del plan final que se proponían establecer en la forma experimental propiamente dicha. Como debilidad, tal vez se pueda no se han considerado en el estudio alguna herramienta informática como simulación o cálculos en Matlab o Ansis, pero se deja como recomendación para futuras investigaciones.

Para establecer el debate respectivo de los resultados de la investigación, se han tomado como referencia a los trabajos previos enunciados en la parte de marco teórico, para su correspondiente contrastación:

Así, comparando con el trabajo de Elizondo, en el cual estableció indicadores técnicos para medir el desempeño en una planta de trituración y solamente midió la frecuencia de fallas menores a 250 horas, es un trabajo bastante empírico y no ha tomado en cuenta variables de disponibilidad ni confiabilidad para validar sus conclusiones, como sí se ha realizado en esta investigación.

En la investigación de Villena, se realizó un plan de mantenimiento de equipos de una empresa constructora basado en el TPM en donde obtuvo

como incremento de disponibilidad un 35% y realizó el análisis económico viable y rentable; en esta investigación utilizando metodología basada en el AMEF y NPR se obtuvieron incrementos del 33% en promedio, se ha realizado el estudio de confiabilidad que es más importante y se ha evaluado costos en un análisis económico de proyección en base a valores porcentuales MTTR antes y después, utilizando técnicas del NPR. Los resultados fueron similares.

Respecto al tercer antecedente de Martínez & Buelvas, en el que se ha elaborado un plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada, solamente obtuvieron una mejora del 9% en disponibilidad de máquinas, no incluyendo valores de confiabilidad ni costos relevantes; en esta investigación los resultados fueron más completos y se han calculado incrementos hasta de 33% en disponibilidad y de 6% en confiabilidad y los costos representativos de beneficio económico por reducción de horas perdidas, vs. los de implementación de mantenimiento preventivo y predictivo, dieron un beneficio útil de 121123.00 US\$.

En contrastación con la investigación de Chávez, quien realizó un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de una chancadora de piedra, en el que utilizó el análisis de criticidad, árbol de fallos y logró reducir 203 horas, confiabilidad de 59 horas hasta el fallo y disponibilidad del 87%, cuyos índices repercutieron en el beneficio económico de TIR de 54% y ROI de 1 año 7 meses y 23 días; en esta investigación se obtuvieron mejores índices generales, pues la disponibilidad alcanzada luego de la proyección fue de 96.63% en promedio y el Retorno Operacional de la Inversión fue solamente de 5 meses y 3 días.

También, en la investigación de Mosquera acerca de un plan de mantenimiento preventivo a un cargador frontal, sus índices son algo ligeros pues solamente censa un incremento de disponibilidad de máquina del 13% y reducción de componentes críticos de 77%; en esta investigación, se han evaluado al conjunto de máquinas por espacios inopinados desde setiembre-diciembre de 2020 y enero-abril 2021 obteniéndose incrementos de disponibilidad de hasta 33% y reducción de componentes críticos de 54.17% según el NPR como parámetro de validación del hecho, en el antecedente no

establecieron cual fue el instrumento de estudio para la determinación de esta reducción de criticidad.

En el estudio de Zavala, los índices de mejora son bastante escuetos para este trabajo de mantenimiento de una chancadora Fuller, pues sus factores incluidos son muy meramente descriptivos y al simular su plan de mantenimiento determina aumento de producción de 1 – 5% y disminución de costos generales entre 1 – 10%; en esta investigación, no sólo se ha realizado el estudio de criticidad, sino que también se han contrastado realidades iniciales con proyección científica dada por elementos o parámetros de Ingeniería que son los indicadores y las hojas de trabajo AMEF y NPR, no trascendiendo en aumento de producción, pero sí en mejora de disponibilidad, confiabilidad y costos.

Asimismo, la investigación a cargo de Orellana determina que en una planta chancadora de agregados se realizaron estudios por 12 meses para evaluar y monitorear los indicadores de mantenimiento, logrando disminución de horas de trabajo e incremento de disponibilidad de 86.85% hasta 89.69%, que implicó una propuesta viable al ganar 2.84%; contratando con esta investigación, los índices de mejora en disponibilidad son superiores, pues el incremento ha sido desde valores de 92.51% hasta 96.63%, en promedio, que significa la ganancia de 4.12 puntos porcentuales en disponibilidad.

Finalmente, debatiendo con el antecedente considerado por Zavala en su estudio de plan de mantenimiento para chancadora primaria Fuller, en la cual llega a conclusiones generales de incremento de disponibilidad entre 1 á 5% y disminución de costos generales entre 1 á 10%, se ha determinado que los valores de estos índices son similares al estudio materia de esta tesis, pues también es coincidente en el rango de 1 á 5% de mejora en disponibilidad ya que la mejora fue 4.12% en promedio; igualmente, la ganancia en mejora de costos pues la representatividad en esta investigación está dada por el índice de Recuperación Operacional de la Inversión (ROI) que es efectiva en 5.1 meses.

## **VI. CONCLUSIONES**

Se realizó la evaluación de parámetros de estado inicial de mantenimiento a los equipos y maquinaria de la planta de agregados analizando tiempos de reparaciones de fallas características y cálculo de disponibilidad y confiabilidad iniciales cuyos valores promedios arrojaron los resultados de 92.51% y 98.15%, respectivamente.

Se han elaborado los cuadros de análisis de criticidad de los equipos, de modo y efecto de fallos y valuación del número de prioridad de riesgo, en base a las matrices correspondientes, estableciéndose que, de las fallas críticas evaluadas, 13 corresponden a indeseables, 8 fallas son reducibles a deseables y 3 fallas consideradas aceptables, lo que porcentualmente significa el 54.17%, 33.33% y 12.50% respectivamente.

Se ha estructurado el correspondiente programa de mantenimiento de acuerdo a recomendaciones de los fabricantes en aspectos de mantenimiento obligatorio por garantía, horas de funcionamiento e intervalo de comprobación de daños, niveles de lubricantes, refrigerantes y acciones prioritarias en el mantenimiento del motor.

En base a lo planteado y resuelto en el plan de mantenimiento, se proyectaron nuevos indicadores de gestión de mantenimiento relacionados con la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, determinándose como índices 96.63% y 98.97% respectivamente, lográndose una mejora del 4.12% y 0.82% respectivamente, que hacen viable la implementación del plan materia de la presente investigación.

Se ha efectuado la evaluación de costos para la implementación del sistema de gestión de mantenimiento y proyección del beneficio económico, así como el periodo de recuperación de la inversión, obteniéndose como beneficio económico por disminución de fallas: 145563.00 US\$, Costo por Mantenimiento Predictivo: 3540.00 US\$, Costo por Mantenimiento Preventivo: 20900.00 US\$, que generan un Beneficio Util de 121123.00 US\$. La inversión en activos fijos ha representado un valor de 51530.00 US\$ que, relacionándola con el Beneficio arroja un período de recuperación de 5 meses y 3 días.



## **VII. RECOMENDACIONES**

Los colaboradores de la empresa de agregados deberán recibir una adecuada capacitación y adecuación a la aplicación de la mejora que se ha elaborado, a fin de que la implementación del Plan de Mantenimiento sea la más idónea y de esta manera poder identificar frecuentemente los puntos y fallas críticas de las máquinas en estudio.

Se recomienda que se efectúe en forma anual una actualización de todas las actividades comprendidas en el A.M.E.F. de la presente tesis, a fin de tener presente el análisis correspondiente sobre todo en los equipos denominados críticos, cumpliendo estrictamente lo referido en las hojas de toma de decisiones.

Igualmente, se recomienda realizar seguimientos continuos e inspecciones inopinadas, de acuerdo a estructuras establecidas o cuando la Jefatura lo determine, poniendo énfasis en la aplicación de herramientas predictivas que deberán ser adquiridas inmediatamente para la implementación del Plan. Ello redundará en la reducción de tiempos perdidos, eficiencia de los equipos y mayor productividad.

Finalmente, se recomienda que en una próxima investigación acerca del tema de la presente tesis, se realicen estudios aplicando paralelamente softwares de cálculo y simulación apropiados para la exactitud de indicadores, costos y beneficios.

## REFERENCIAS

- ATS. (26 de Jilo de 2019). *Blog: ATS*. Obtenido de <https://www.advancedtech.com/blog/evolution-of-industrial-maintenance/>
- Basauri, A. C. (2019). Innovaciones tecnológicas en el mantenimiento de los camiones volquetes roqueros empleados en una planta procesadora de agregados. Lima.
- BOLETÍN DE ESTADÍSTICAS. (2008). (6).
- Buelvas Díaz, Camilo Ernesto, Martínez Figuero, Kevin Jair. (2014). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L*. Barranquilla.
- Chavez, O. A. (2019). PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO. Chiclayo.
- Cuesta, A. F. (2018). *Desarrollo e implantación de plan de Mantenimiento en un edificio de oficinas*. Madrid, España: Universidad Carlos III.
- Ebeling, C. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York, NY, USA: Editorial McGraw -Hill Companies, Inc.
- Elizondo, m. G. (2016). Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para equipos críticos de la unidad estratégica de negocios (UEN) agregados de Constructora Meco S. A. Cartago, Costa Rica.
- García Mallqui, E. (2016). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo en función de la criticidad de los equipos del proceso productivo para mejorar la disponibilidad de la empresa UESFALIA ALIMENTOS S.A.* Lima.
- García, S. (2018). *Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*.
- Garrido, S. G. (2019). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Díaz de Santos.
- Gasca, M. C., Camargo, L. L., & Medina, B. (2017). *Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en* . Colombia.
- Gonzales Guzman, J. (2016). *PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PLANIFICADO PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA LATERCER S.A.C*. Chiclayo.
- Gonzales, F. (2017). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Madrid: Fundación Confemetal.
- Guarín-Lopez, D. L.-G.-T. (2011). *Método para el Diagnóstico de Rodamientos Utilizando la Complejidad de Lempel-Ziv*. Medellín: Edilson.
- Gutierrez Pulido, H. (2018). *Calidad total y productividad, 3ra Edición*. Mexico: McGRAW-HILL.
- Javier Gonzales, F. (2018). *Mantenimiento Industrial avanzado, segunda edicion*. Madrid: Fundacion Confemetal.
- Martínez, K. J., & Buelvas, C. E. (2017). *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO*. Barranquilla.
- Mosquera, P. M. (2018). Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad del cargador frontal 962H en la Empresa Ecosermy-Yauli. Huancayo.
- Nij, J. A. (2017). *MINIMIZACIÓN DE PAROS NO PROGRAMADOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE*. Guatemala.
- Nivelo, S. V., & Romero, D. J. (2019). "Establecimiento de una Base de Datos de

- Señales de Vibraciones Mecánicas para Sistemas Mecánicos Rotativos con la Combinación de Diferentes Tipos de Fallos y Elaboración de Guías de Prácticas Para Detección de Fallos EN rODAMIENTOS". Cuenca.
- Orellana, A. M. (2013). Optimización de indicadores de mantenimiento para incrementar la productividad en la planta chancadora de agregados de la empresa multicorailor - Iscaycruz. Huancayo.
- Parra, C. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión*. Sevilla –España: Editorial Ingeman.
- Preditec. (3 de Diciembre de 2012). *Preditécnico*. (Predimarketing) Recuperado el 2 de Octubre de 2020, de <http://www.preditecnico.com/2012/12/tesis-doctoral-modelo-para-la.html>
- Royo, J. (2020). *Análisis de vibraciones e interpretación de datos*. .
- Salas Maceda, M. D. (2012). *Propuesta de mejora del programa de mantenimiento preventivo actual en las etapas de prehilado e hilado de una fábrica textil*. Lima.
- Salazar, B. (2016). *MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)*. Recuperado el 02 de Octubre de 2020, de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/mantenimiento-productivo-total-tpm/>
- Sedisa. (21 de Abril de 2021). *GUIA PARA HACER UN ANALISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS*. Obtenido de GUIA PARA HACER UN ANALISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS: <https://www.sedisa.com.pe/servicios/sin-categoria/guia-para-hacer-un-analisis-de-criticidad-de-equipos>
- Villena Andia, A. O. (2017). *Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento de equipos bajo las técnicas del TPM en una empresa constructora*. Lima.
- Villena, A. (2017). "PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO". Lima.
- Viveros, P. S. (2013). *Proposal of a maintenance management model and its main support tools*. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería.
- Zavala, C. A. (2018). PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN RCM PARA EL CHANCADOR PRIMARIO FULLER, OPERACIÓN MANTOVERDE. Valparaiso.

## ANEXO

### Anexo 1: Operacionalización de Variables

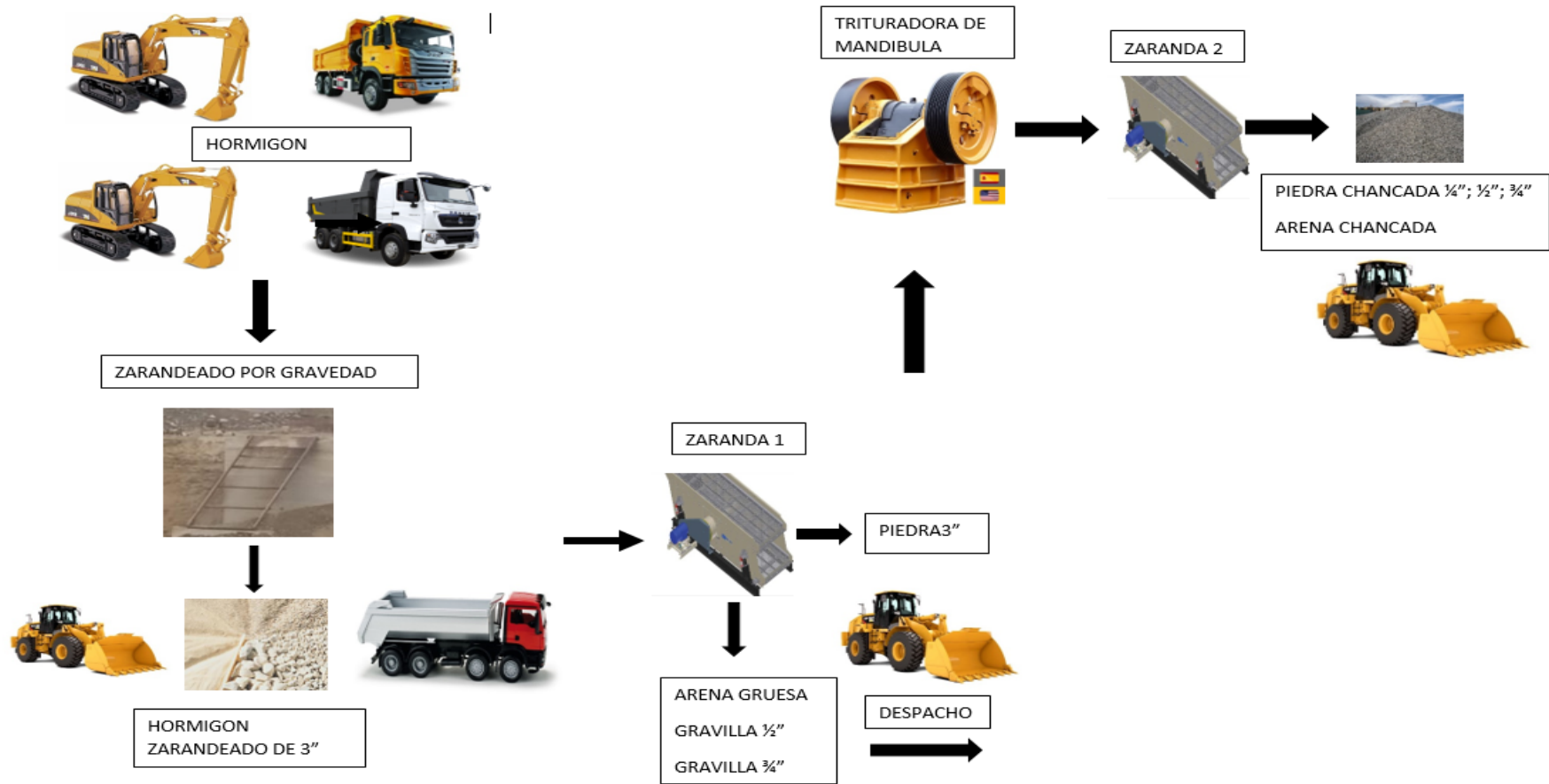
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Variable dependiente Disponibilidad	La disponibilidad es el parámetro principal asociado al mantenimiento, porque limita la capacidad de producción. Otra forma lo considera como la posibilidad para que, en un tiempo cualquiera, el equipo o maquinaria (reparable) entre en funcionamiento. (Garrido, 2010)	La disponibilidad es la probabilidad de que una máquina esté preparada para producción en un período de tiempo determinado, o sea que no esté detenida por averías o ajustes.  $D (\%) = \left( \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right) \times 100$ $R_{(t)} = e^{\left( -\frac{t}{MTBF} \right)}$ $M_{(t)} = 1 - e^{\left( -\frac{t}{MTTR} \right)}$	Disponibilidad de un activo  Confiabilidad de un activo  Mantenibilidad de un activo	MTBF: tiempo medio que se da entre una falla y otra. MTTR: tiempo medio que se utiliza para su reparación.  MTBF y Tiempo que se espera que el activo no falle.  MTTR y Tiempo que se tarda en la reparación de activo.	Razón

<p>Variable independiente</p> <p>Sistema de gestión de mantenimiento.</p>	<p>Es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. (Garrido, 2010)</p>	<p>Se define como el conjunto de técnicas de pronóstico de los parámetros de los equipos sobre la base de su funcionamiento en el sistema de gestión de los equipos e instalaciones de las empresas.</p> $MTBF = \left(\frac{ht}{p}\right)$ $MTTR = \left(\frac{hp}{p}\right)$ $OEE = Disponibilidad \times Eficiencia \times Calidad$	<p>Tiempo Promedio entre Fallas.</p> <p>Tiempo Promedio para las reparaciones.</p> <p>Número de paradas y su frecuencia.</p> <p>Costos de mantenimiento asociados a las paradas.</p> <p>Producción de producto agregado.</p> <p>Calidad del producto.</p>	<p>Tiempo en horas que la empresa considera laborables.</p> <p>Tiempo en horas de parada en el periodo de evaluación.</p> <p>Cantidad de paradas y la frecuencia de ellas.</p> <p>Costos de mantenimiento.</p> <p>Producción real y capacidad operativa.</p> <p>Producto final de agregado de acuerdo al requerimiento de los clientes y producto fuera de estándar.</p>	<p>Razón</p>
---	---	--	---	--	--------------

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Diagrama de flujo de proceso de planta de agregados

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LA PLANTA DE AGREGADOS



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 3. Calculo de los nuevos indicadores I**

**SETIEMBRE - DICIEMBRE 2020**

<b>Vehículo</b>	<b>MTTR</b>	<b>MTBF</b>	<b>DISPONIBILIDAD</b>	<b>CONFIABILIDAD</b>
<b>Volquete Volvo FMX 440</b>	3.143	54.000	0.945	0.928610
<b>Volquete Scania P 420</b>	1.286	36.810	0.966	0.897039
<b>Volquete Volvo NL 12</b>	1.633	25.030	0.939	0.852339
<b>Cargador frontal Cat. 938 G</b>	7.330	259.630	0.973	0.984696
<b>Cargador frontal Cat. 950 G</b>	30.333	236.330	0.886	0.983219
<b>Cargador frontal Cat. 962 H</b>	6.250	193.750	0.969	0.979569
<b>Excavadora Cat 320 DL</b>	45.500	154.500	0.773	0.974445
<b>Excavadora Cat 329 D2</b>	12.750	187.250	0.936	0.978867
<b>Trituradora de quijada Atheqsur PE1624</b>	3.900	34.190	0.898	0.889603
<b>Zaranda – vibradora Atheqsur(1)</b>	3.140	24.450	0.886	0.849087
<b>Zaranda – vibradora Atheqsur(2)</b>	3.320	38.790	0.921	0.902028
<b>Grupo eléctrico diesel Cat.</b>	2.430	35.670	0.936	0.893921

#### Anexo 4. Calculo de los nuevos indicadores II

ENERO - ABRIL 2021

Vehículo	MTTR	MTBF	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
Volquete Volvo FMX 440	3.800	28.570	0.883	0.8693570
Volquete Scania P 420	4.380	54.960	0.926	0.9298101
Volquete Volvo NL 12	8.060	33.820	0.808	0.8884751
Cargador frontal Cat. 938 G	17.833	100.830	0.850	0.9611111
Cargador frontal Cat. 950 G	5.750	172.250	0.968	0.9770478
Cargador frontal Cat. 962 H	2.273	62.450	0.965	0.9379675
Excavadora Cat 320 DL	4.750	84.250	0.947	0.9536364
Excavadora Cat 329 D2	5.170	113.500	0.956	0.9653750
Trituradora de quijada Atheqsur PE1624	3.950	33.530	0.895	0.8875443
Zaranda – vibradora Atheqsur(1)	3.200	20.530	0.865	0.8230116
Zaranda – vibradora Atheqsur(2)	3.450	32.150	0.903	0.8830231
Grupo electrógeno diesel Cat.	2.190	30.190	0.932	0.8759289



**Anexo 5. Calculo de los nuevos indicadores III**

**VALORES PROMEDIO**

<b>Vehículo</b>	<b>MTRR</b>	<b>MTBF</b>	<b>DISPONIBILIDAD</b>	<b>CONFIABILIDAD</b>
<b>Volquete Volvo FMX 440</b>	3.47142857	41.285	0.92243732	0.89898353
<b>Volquete Scania P 420</b>	2.83285714	45.885	0.94185177	0.91342443
<b>Volquete Volvo NL 12</b>	4.84666667	29.425	0.85858095	0.87040731
<b>Cargador frontal Cat. 938 G</b>	12.5816667	180.23	0.93474634	0.97290341
<b>Cargador frontal Cat. 950 G</b>	18.0416667	204.29	0.91885247	0.98013338
<b>Cargador frontal Cat. 962 H</b>	4.26136364	128.1	0.96780508	0.95876806
<b>Excavadora Cat 320 DL</b>	25.125	119.375	0.82612457	0.96404066
<b>Excavadora Cat 329 D2</b>	8.96	150.375	0.94376628	0.97212096
<b>Trituradora de quijada Athegsur PE1624</b>	3.925	33.86	0.8961228	0.88857384
<b>Zaranda – vibradora Athegsur(1)</b>	3.17	22.49	0.87646142	0.83604924
<b>Zaranda – vibradora Athegsur(2)</b>	3.385	35.47	0.91288123	0.8925254
<b>Grupo electrógeno diesel Cat.</b>	2.31	32.93	0.93444949	0.88492494