

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Trabajo de Investigación

**Análisis del metrado de las tareas de mantenimiento preventivo para la mejora de la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares en la Compañía Minera Antamina Perú, 2019**

Alberto Leopoldo Parra Quispe

Para optar el Grado Académico de  
Bachiller en Ingeniería Industrial

Arequipa, 2019

Repositorio Institucional Continental  
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# **ASESOR**

Ing. Julio Efraín Postigo Zumarán.

## **AGRADECIMIENTO**

Por su orientación, paciencia y atención especial a la elaboración de la presente tesis, un agradecimiento especial a mi asesor. Gracias por brindar sus conocimientos y guía para permitir lograr la culminación de mis estudios con éxitos.

## **DEDICATORIA**

A mi querida madre Francisca, que con su apoyo incondicional, paciencia y constante esfuerzo, permite que hoy logre un paso importante en mi vida. A todos los que me acompañaron durante mi etapa universitaria y fueron fuente de apoyo y soporte para la elaboración de la presente tesis.

***Alberto Leopoldo Parra Quispe.***

# INDICE

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>INDICE</b> .....	v
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	vii
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>1. CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	1
<b>1.1. Planteamiento y formulación del problema</b> .....	1
<b>1.1.1 Planteamiento del problema</b> .....	1
<b>1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	2
<b>1.2. Objetivos</b> .....	3
<b>1.2.1. General</b> .....	3
<b>1.2.2. Específicos</b> .....	3
<b>1.3. Justificación e Importancia</b> .....	3
<b>1.4. Hipótesis y descripción de variables</b> .....	4
<b>1.4.1. Hipótesis</b> .....	4
<b>1.4.2. Variables</b> .....	4
<b>2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</b> .....	6
<b>3.1. Antecedentes del problema</b> .....	6
<b>3.2. Bases teóricas</b> .....	10
<b>3.2.1. Mantenimiento</b> .....	10
<b>3.2.1.1. Evolución del mantenimiento</b> .....	11
<b>3.2.1.2. Objetivos del Mantenimiento</b> .....	23
<b>3.2.1.3. Tareas de Mantenimiento</b> .....	24
<b>3.2.2. Indicadores técnicos de mantenimiento</b> .....	28
<b>2.2.3. Disponibilidad Mecánica</b> .....	29
<b>2.2.4. Indicadores de disponibilidad</b> .....	30
<b>2.3. Definición de términos básicos</b> .....	30
<b>2.3.1. Avería</b> .....	30
<b>2.3.2. Defecto</b> .....	31
<b>2.3.3. Desgaste</b> .....	31
<b>2.3.4. Disponibilidad</b> .....	31
<b>2.3.5. Eficacia</b> .....	31
<b>2.3.6. Eficiencia</b> .....	31

2.3.7.	Error .....	31
2.3.8.	Falla .....	32
2.3.9.	Fiabilidad.....	32
2.3.10.	Inspección. ....	32
2.3.11.	Mantenibilidad. ....	32
2.3.12.	Vida de una máquina.....	32
2.3.13.	Ítem .....	32
3.	<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....</b>	<b>34</b>
3.1.	Método y alcance de la investigación.....	34
3.2.	Diseño de la investigación.....	35
3.3.	Población y Muestra.....	35
3.4.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	36
4.	<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
4.1.	Diagnóstico actual .....	38
4.1.1.	Visión y Misión.....	39
4.1.2.	Valores .....	39
4.1.3.	Organigrama General de la empresa .....	41
5.1.1.	Organigrama gerencia de mantenimiento Antamina Perú SAC. ....	42
6.1.1.	Principales equipos de la flota auxiliar .....	42
6.2.	Resultados del tratamiento y análisis de la información (tablas y figuras).....	51
6.2.1.	Análisis estadístico de los tiempos de mantenimiento en los equipos auxiliares	51
6.2.2.	Análisis estadístico de la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares .....	53
6.3.	Discusión de Resultados.....	57
7.	<b>CAPÍTULO V PROPUESTA DE MEJORA.....</b>	<b>59</b>
7.1.	Construcción .....	60
7.1.1.	Objetivo.....	60
7.1.2.	Instrumentos.....	60
7.2.	Pruebas y resultados .....	63
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
	<b>ANEXO 01.....</b>	<b>74</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	5
Tabla 2. Disponibilidad de flota auxiliar antes de la investigación .....	36
Tabla 3. Horas restantes para detenciones al mes .....	51
Tabla 4. Comparativa de tiempos de detenciones .....	52
Tabla 5. Disponibilidad de la Flota auxiliar antes y después .....	54
Tabla 6. Comparativa de la disponibilidad de la flota auxiliar .....	56
Tabla 7. Comparativa de la disponibilidad de la flota auxiliar sin mejora .....	59
Tabla 8. Comparativa de la disponibilidad de la flota auxiliar sin mejora .....	68
Tabla 9. Comparativa de la disponibilidad de la flota auxiliar sin mejora .....	68
Tabla 10. Comparativa de la disponibilidad de la flota auxiliar con propuesta.....	69

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución Histórica del mantenimiento.....	12
Figura 2. Tipos de Mantenimiento.....	15
Figura 3. Mantenimiento Correctivo .....	16
Figura 4. Mantenimiento Preventivo.....	20
Figura 5. Objetivos del Mantenimiento.....	24
Figura 6. Perforadora Hidráulica D75KS.....	43
Figura 7. Caterpillar 994F .....	43
Figura 8. Excavadora Hidráulica CAT 385LC.....	44
Figura 9. Perforadora ROCL8 .....	44
Figura 10. Perforadora Multifunción EPIROC D65 .....	45
Figura 11. Caterpillar D10R .....	45
Figura 12. Caterpillar D10T.....	46
Figura 13. Caterpillar D11R .....	46
Figura 14. Caterpillar D11T.....	47
Figura 15. Caterpillar 24H.....	47
Figura 16. Caterpillar 24M.....	48
Figura 17. Tractor 854G.....	48
Figura 18. Tractor 854K.....	49
Figura 19. Tractor D475.....	49
Figura 20. Tractor WD900.....	50
Figura 21. Caterpillar CAT339D.....	50

Figura 22. Gráfico de la Comparativa de tiempos de detenciones .....	53
Figura 23. Gráfico de la de la disponibilidad de la flota auxiliar .....	57
Figura 24. Ficha de Estado Técnico de Maquinaria .....	61
Figura 25. Propuesta de Flujograma del Proceso general de Mantenimiento .....	62
Figura 26. Ficha de Estado Técnico equipo 994F .....	63
Figura 27. Ficha de Estado Técnico equipo D10R.....	64
Figura 28. Ficha de Estado Técnico equipo 24M .....	66
Figura 29. Ficha de Estado Técnico equipo 854K.....	67

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

El tiempo improductivo es conocido como tiempo muerto ya que es aquel tiempo donde la máquina o la organización dejan de funcionar por factores como accesorios por avería, operaciones de mantenimiento u otras razones cotidianas. Y se da en las industrias que han automatizado sus operaciones como el sector minero dedicado a la extracción de mineral.

En este universo las compañías siguen invirtiendo en equipamiento en 2016 ascendió a 308 908 (miles de dólares) comparado con el 2017 que ascendió a 491 197 (miles de dólares). (1)

En todas las empresas mineras el mantenimiento continuo en todos los equipos es de mucha importancia, ya que en el Programa Rumbo Minero realizado en el año 2016, ese fue la orden del día. En este programa se mencionó que para que las operaciones mineras no se detengan y no se presenten retrasos innecesarios en los equipos y maquinarias, se debe seguir un estricto mantenimiento preventivo en todos los equipos.

Teniendo como buenas prácticas en la industria minera el mantenimiento preventivo, haciendo que este sea de carácter permanente y continuo,

logrando así que la empresa sea más productiva y se tenga más control de los procesos relacionados con la explotación minera. La industria minera no se escapa de los avances tecnológicos y son un aliado en el momento de planificar cualquier tipo de mantenimiento haciendo que este sea más eficiente y efectivo, logrando que las maquinarias y los equipos se encuentren en óptimas condiciones, reflejándose esto en la productividad económica de las empresas.

El encargado del mantenimiento de los equipos es el área de mantenimiento de la Compañía Minera Antamina S.A. es, por ende, es su responsabilidad garantizar los equipos en buen estado y confiables para la operación. El mantenimiento se encuentra dividido en dos áreas: la primera se encarga de la planeación y la segunda de la ejecución, ambas trabajan en equipo, ya que el departamento tiene como fin efectuar los trabajos de mantenimiento de la maquinaria y equipos según se van presentando las fallas, respetando los requerimientos y necesidades específicas de cada equipo, este departamento también se encarga del análisis de las fallas globales de falas de toda la flota.

En la empresa no existe una adecuada para la planificación y ejecución de los diferentes mantenimientos que se pueden realizar en una empresa, una herramienta que permita saber en tiempo real, el número de fallas, tiempo que se tardan los mantenimientos, fecha en que se realizará el mantenimiento preventivo, cálculos de indicadores, entre otros. En vista de esto se plantea como investigación el análisis de los metrajes en las tareas de mantenimiento preventivo aumentara la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares en la Compañía Minera Antamina Perú.

## **1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **A. PROBLEMA GENERAL**

¿De qué manera el análisis del metrado de las tareas de mantenimiento preventivo aumentara la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares en la Compañía Minera Antamina Perú?

## **B. PROBLEMA ESPECÍFICO**

- ¿Cuáles son los tiempos de mantenimiento preventivo aplicando protocolos de garantía y control de actividades en los equipos auxiliares?
- ¿Cuál es la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares?
- ¿Cuál es la disponibilidad mecánica de la flota actual con los equipos auxiliares?

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. General**

Analizar el metrado de las tareas de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares en la Compañía Minera Antamina Perú, 2019.

#### **1.2.2. Específicos**

- Analizar los tiempos de mantenimiento preventivo aplicando tiempos de reparación y control de actividades en los equipos auxiliares.
- Determinar la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares.
- Comparar la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares.

### **1.3. Justificación e Importancia**

La finalidad y relevancia de la presente investigación se centra en contribuir con el conocimiento sobre el uso del metrado en el mantenimiento preventivo, cuyos resultados podrán sistematizarse para ser incorporados como base de referencia para futuras investigaciones.

La minera Antamina ha incorporado procesos tecnificados para la producción de productos mineros, como concentrados de, zinc, bismuto, cobre y molibdeno y en menos cantidad los concentrados de plomo y plata realizados a tajo abierto. En los últimos años, es considerado entre las 10 minas de cobre de mayor envergadura a nivel mundial, teniendo como el mayor volumen de producción al zinc y al cobre.

La región Ancash es experimentando un cambio económico, la expansión acumulada de la economía (23.3%) de la expansión promedio nacional. Sin embargo, la minería contribuyo en una cuarta parte con el crecimiento de su economía para el departamento de Ancash

Actualmente, en Antamina, desarrolla proyectos sociales mediante la inversión en distintos planes que aportan al desarrollo de la localidad en donde realizan sus operaciones, a fin de mejorar los niveles de competitividad a nivel salud, turismo, agricultura y sobre todo educación. Para ello propone distintos proyectos que buscan integrar los recursos existentes brindando el mayor beneficio a la población de influencia.

## **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

### **1.4.1. Hipótesis**

El análisis del metrado de las tareas de mantenimiento preventivo demuestra el aumento la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares en la Compañía Minera Antamina Perú, 2019.

### **1.4.2. Variables**

**Variable Independiente:** Mantenimiento preventivo

**Variable Dependiente:** Disponibilidad de equipos

Tabla 1.  
Operacionalización de variables

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
	Análisis de fallas	Histórico de averías Análisis de causa raíz
<b>Variable independiente:</b> Mantenimiento preventivo	Inspecciones	Control Operacional de Rutina Rendimiento de Equipo
	Monitoreo de condición	Vibraciones Análisis de Aceites y Lubricantes
<b>Variable dependiente:</b> Disponibilidad de equipos	Eficiencia del equipo	Temperatura Cantidad de paradas inesperadas (Horas perdidas)
	Eficiencia de los sistemas del equipo	Tiempo de Mantenimiento (Horas programadas)

Fuente:

Elaboración

propia

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Antecedentes del problema**

A continuación se presenta una serie de estudios o proyectos citados que se encuentran referidos al problema que deseamos desarrollar en esta investigación, por tal motivo tomaremos esta información como base para llevar a cabo los propósitos establecidos en el proyecto. Los siguientes trabajos e investigaciones previos revisaremos información sobre metrados, mantenimiento preventivo, protocolos de garantía de control de tiempos en la minería.

Para Díaz (2014), en su tesis “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa equipos técnicos de Colombia ETECOL SAS” para optar al grado Ingeniero Mecánico en la Universidad Tecnológica de Pereira en Colombia. Tuvo como objetivo “Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos comercializados por la empresa Equipos Técnicos de Colombia SAS ETECOL.”. La información para la propuesta del plan tenía como fuente al cliente, puesto que la organización ofrece el servicio de mantenimiento correctivo y preventivo. Al mismo tiempo a los clientes se les elaboro un plan preventivo de mantenimiento por cada equipo que tenían. La información que fue suministrada fue organizada, identificando los principales componentes de cada maquinaria analizando los tiempos de fallas e intervalos en los mantenimientos, logrando con esta información diseñar un plan acorde a las necesidades de cada cliente.

Según García y Yarleque (2018) realizaron su tesis en la Universidad Nacional de Piura titulada “Diseño de un plan integral de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Inversiones OBERTI S.R.L – Piura” para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico en Piura – Perú. En el estudio se determinó que las maquinarias pesadas y equipos de la organización presentaban fallas inesperadas, lo que generaba pérdidas ya que el costo de la hora de reparación era mayor en relación con los tiempos de entregas de las obras. Debido a esta situación se plantea la investigación la cual tiene como propósito diseñar un plan de prevención que mejore el factor de disponibilidad de maquinarias, de manera que se disminuyan las horas de paradas de estos. El estudio fue realizado desde los meses de junio a noviembre de 2018. Dicho plan fue planteado teniendo en cuenta los requerimientos técnicos de los fabricantes, así como las necesidades de los equipos. La implementación de lo propuesto logró una disminución de los errores presentados en los equipos y maquinarias de la empresa.

Por su parte Altamirano y Zavaleta (2016), realizaron su tesis para optar al grado de ingeniero industrial en la Universidad de Sipán en Pimentel – Perú, titulada: “Plan de gestión de mantenimiento preventivo para mejora de la productividad en la empresa NAYLAMP –Chiclayo 2016”. Su objetivo fue el elaborar un plan de gestión de mantenimiento preventivo en la destilería NAYLAMP. La empresa cuenta con un total de 39 máquinas y equipos las cuales tenían un historial de fallas y paradas que hacía que la empresa perdiera dinero y tiempo improductivo. La información para realizar la investigación fue en base a documentación que suministró la misma empresa. La posterior implementación de plan de mantenimiento logró el incremento en la producción, se recomienda a la organización llevar a cabo capacitaciones sobre los procedimientos de mantenimiento a todos el personal involucrado con el fin de minimizar las fallas en los equipos.

Según, Vásquez (2016) en su tesis “Propuesta de un plan de mantenimiento total para incrementar disponibilidad de la maquinaria pesada en Municipalidad Provincial Cajamarca, 2016” para obtener el grado de Ingeniero Mecánico Eléctrico en la Universidad César Vallejos en Cajamarca – Perú. Su propósito fue el de realizar una propuesta de mantenimiento general que incremente la disponibilidad de la maquinaria pesada perteneciente a la municipalidad Provincial de Cajamarca, el trabajo fue realizado mediante el diseño para luego implementar un cronograma de trabajo para el mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada que forma

parte del stock de la municipalidad. Este cronograma contenía las actividades, programas y tiempos en que deben realizarse el mantenimiento en todas las maquinarias y equipos. Se logró incrementar el funcionamiento en un 40% y se espera que el cumplimiento del cronograma logre reducir los tiempos de mantenimiento correctivo.

La investigación de Villegas (2016) con título :”Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa “Manfer S.R.L. Contratistas Generales”, Arequipa 2016”, para optar el grado de Ingeniero Industrial en la Universidad Católica San Pablo. Tuvo por objetivo optimizar el desempeño de las actividades de la empresa de estudio, puesto que debido al rubro de pertenencia requiere de alta eficiencia en sus operaciones. Se toma como población de estudio la flota de 33 equipos que comprenden excavadoras, compactadoras, mezcladoras, entre otros; teniendo por meta incrementar su disponibilidad en más del 90% lo cual lograría la optimización mediante una reducción de costos referidos a alquileres de máquinas de reemplazo. La propuesta dio como resultado una mejora de la disponibilidad del 68.3% a 78.5%, con una disminución por alquileres del S/.124,877.80 por un periodo de 02 años. El costo beneficio de la propuesta de mejora refiere un ahorro total S/.198,577.80 y una utilidad final de S/.24,877.80, además de disminución de retrasos de obra y paradas ocasionadas por averías.

Espinoza (2018), por su parte en su tesis de grado con título: “Mejora del Plan de Mantenimiento Preventivo para Incrementar la Disponibilidad de los Buses de la Empresa de Transporte Allin Group Javier Prado S.A. Concesionaria de los Corredores Complementarios de la Municipalidad de Lima” para obtener el grado de Ingeniero Mecánico en la Universidad Tecnológica del Perú. Su objetivo fue describir las mejoras posibles en el plan de mantenimiento que contribuyan a la mejora de la disponibilidad, usando como instrumento el análisis del diagrama de Pareto, Ishikawa y FODA, herramienta que ayudaron a formular el diagnóstico y aquellas estrategias para mejorar los puntos críticos detectados. Dicho plan se implementó en dos fases, logrando mejoras a partir de mayo del 2018 con una nueva disponibilidad promedio entre 92% y 94%. Asimismo se implementaron diferentes indicadores de mantenimiento referentes a la disponibilidad, tiempo medio de fallas presentadas, costos de mantenimiento de tipo correctivo, y numero

promedio de mantenimientos de tipo preventivo, los cuales incrementaron hasta 24.14%.

Pacheco (2005), en su tesis de Grado con título: “Plan de Mantenimiento preventivo para los procesos de trituración y molienda de la planta de beneficio María Dama Frontino Gold Mines”. El objetivo fue lograr un aporte que solucione las necesidades del área de mantenimiento de la empresa minera Frontino Gold Mines a fin de contribuir al desarrollo de la industria del sector y de la sociedad en general. El estudio se centra en la elaboración de un diagnóstico general del sistema actual sobre la gestión del mantenimiento, codificando y realizando un análisis de criticidad por tipo de equipo existente para determinar el tipo de mantenimiento que requiere. Así mismo se elabora un plan que incluye el detalle de las labores a realizar en el proceso de mantenimiento para no incurrir en fallos inesperados durante el proceso productivo. El resultado fue un plan integral de mantenimiento de tipo preventivo que garantiza la disponibilidad mecánica de los equipos al máximo, así como la mejora en la productividad ya que esta será medida por índices de gestión de mantenimiento durante todo el desarrollo de una futura implementación del plan propuesto.

Galvez y Mescua (2016), en su tesis de grado con título: “Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto” para optar el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Peruana de ciencias Aplicadas. Esta investigación busco dar una explicación sobre la importancia de poseer un alto índice de confianza y disponibilidad mecánica cuando se trabaja con maquinaria pesada del rubro minero, puesto que las consecuencias de existir un mínimo de fallas ocasionarían consecuencias significativas en la productividad. Los resultados del estudio dieron como resultado un incremento de la disponibilidad hasta el 92%, y de confiabilidad del 56%, mientras que el MTBF quedo en 50 horas. Asimismo proporcionó un margen de rentabilidad de 4 millones, en comparación a los 2 millones que se generaban sin la propuesta. La implementación del método RCM termina siendo beneficiosa con un VAN de S/. 302956.00 soles por un periodo de 2 años y un TIR del 45%.

## **3.2. Bases teóricas**

### **3.2.1. Mantenimiento**

Díaz (2012) detalla el mantenimiento como el grupo de actividades que se definen siguiendo un orden con la finalidad de mantener y mejorar las condiciones de operaciones de tipo seguras, efectivas y a bajo costo de todos los equipos, herramientas y maquinarias pertenecientes a todas las áreas que comprende una empresa.

Castillo (2014), define el mantenimiento como la agrupación de operaciones que se pueden realizar en una empresa para mantener operativas a toda la maquinaria y equipos de una instalación, garantizando su funcionamiento a un mínimo costo.

Según este autor el mantenimiento debería prevenir y corregir cualquier tipo de fallas que se presenten en una maquinaria o un equipo, evaluar y cuantificar el estado de los equipos y maquinarias y debería cuantificar los costos en repuestos y mantenimiento.

Para Tamariz (2014), las funciones del mantenimiento están centradas en:

- Una constante vigilancia de manera periódica y/o permanente
- Tomar las acciones de prevención
- Tomar las acciones de corrección
- Tomar decisiones en caso de reemplazar maquinarias y equipos.
- Incrementar el nivel de disponibilidad de los equipos y la maquinaria
- Optimizar la fiabilidad de los equipos

- Reducir al mínimo los costos.
- Reducción de los tiempos de reparación

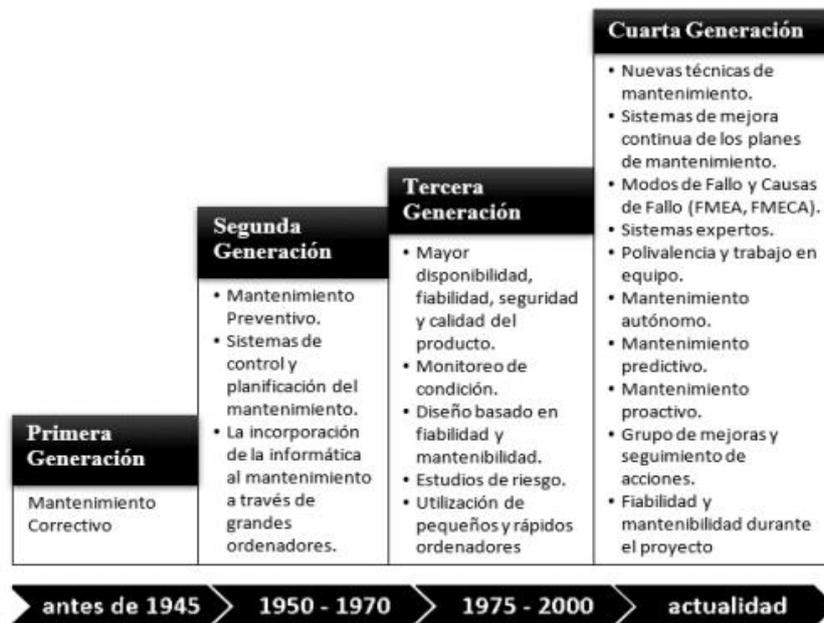
### **3.2.1.1. Evolución del mantenimiento**

Mora Gutierrez (2005), afirma que las actividades de mantenimiento han sido practicadas desde tiempos remotos como una de las ideas principales para optimizar costos de reparaciones y maximizar los beneficios referentes a la vida útil de la maquinaria y equipos. Dichos pensamientos han ido evolucionando con el paso del tiempo, pasando por cambios en las técnicas de mantenimiento.

Por ello mora se centra en plantear que la historia del mantenimiento es parte importante en la evolución estructural de las empresas del rubro productivo, y viene en auge desde la aparición de máquinas con mayor automatización productiva.

En base a lo anterior, todos los procesos de mantenimiento han sufrido una serie de cambios generacionales con cambios marcados y enfocados a diferentes sectores productivos o manufactureros a lo largo del tiempo. A continuación se detallan dichas etapas:

Figura 1.  
Evolución Histórica del mantenimiento



Fuente: Mora – Gutiérrez, 2005

## A. Primera Generación

La Primera Generación del mantenimiento empieza en la época de la II Guerra Mundial, aproximadamente antes de 1945, época donde la industria se encontraba sin automatización, por lo tanto no existían problemas de paradas o detenciones productivas, ya que no significaban una pérdida en la producción. La maquinaria utilizada era simple y en su mayoría realizada una sola acción en el proceso de forma especializada, por lo que su reparación era sencilla al no tener el inconveniente de equivocarse en la detección de la falla. Por ende, no era necesario poseer planes de mantenimiento complejos, ni personal altamente calificado para las reparaciones.

La maquinaria existente no requería de mantenimiento constante y generalmente poseían largos tiempos de vida útil, lo que reducía costos de mantenimiento, haciendo que los

equipos fueran confiables, y solo requerían inspecciones de limpieza, lubricación o mantenimientos anuales.

En consecuencia se aplicaba el modelo de mantenimiento correctivo, es decir solo cuando se presentaba la falla

## **B. Segunda Generación**

Esta segunda generación se enfoca en el propósito de lograr la mayor disponibilidad de la empresa, explotar al máximo la vida útil de la maquinaria y reducción de costos de mantenimiento.

Al término de la Segunda Guerra Mundial, la situación dio un giro drástico, incrementando la necesidad de consumo de productos de toda clase, no obstante la necesidad de mano de obra disminuyó significativamente. En consecuencia surgió la mecanización de los procesos productivos, siendo al 1950 una época donde las máquinas ya se constituían como equipos de mayor complejidad y aceleradoras del proceso de producción, por lo que eran indispensables para cualquier empresa.

El incremento de la dependencia hombre – máquina, ocasionó que los tiempos de parada o tiempos improductivos sean vistos como un problema latente y recurrente en la industria, por lo que surgieron estudios sobre nuevas mecánicas de poder prevenir el fallo, basándose principalmente en la revisión exhaustiva de la maquinaria y sus tiempos de operación óptimos.

Esto generó la aparición de la gestión de planificación del mantenimiento con la incorporación de sistemas de control y el uso de la tecnología informática con la aparición de los ordenadores. En otras palabras, se descubre la relación existente entre el tiempo de vida útil de la maquinaria, y la cantidad de fallos probables a presentarse durante su uso. Es

así como surge el modelo de mantenimiento preventivo, realizando la sustitución de piezas antes que lleguen al término de su vida útil.

### **C. Tercera Generación**

Surge desde 1970, con el cambio de la industria que creció a velocidades no vistas antes, esto debido al crecimiento de las expectativas por el logro de mayores niveles de productividad, mayores investigaciones y la aparición de nuevas tecnologías y técnicas.

Las nuevas expectativas significaron un constante crecimiento de los periodos de parada y su mayor efecto en la productividad, costos totales y la atención al cliente. Además de tener mayor relevancia aquellos sistemas productivos denominados "just a time", donde las empresas con niveles de stock productivo justo, son un factor importante de causar fallas importantes.

Surge la idea de crear mayor automatización, relacionando la calidad del producto con la alta calidad de la maquinaria, ello conlleva a lograr mayores estándares de calidad en el producto final y mayor demanda por los sistemas de mantenimiento que garanticen el correcto funcionamiento de los equipos.

Otra de las características que fue relevante, es que la automatización causaba fallos serios cuando se habla de plantas que trabajan con productos químicos, puesto que una pequeña fuga significa enormes pérdidas ambientales y financieras para las organizaciones. Este fue un factor importante en centrar mayor atención en el mantenimiento de altos estándares.

En conclusión esta generación se enfoca en la búsqueda de tareas de mantenimiento que aporten positivamente a la

disponibilidad mecánica, más seguridad para los empleados, mayor calidad del producto, cuidado medioambiental, y reducción de costos.

Surgen técnicas de monitoreo sobre la condición general del equipo, cuidado de diseño de confiabilidad y mantenimiento, análisis de riesgos y criticidad, y el uso de la tecnología en ordenadores.

#### **D. Cuarta Generación**

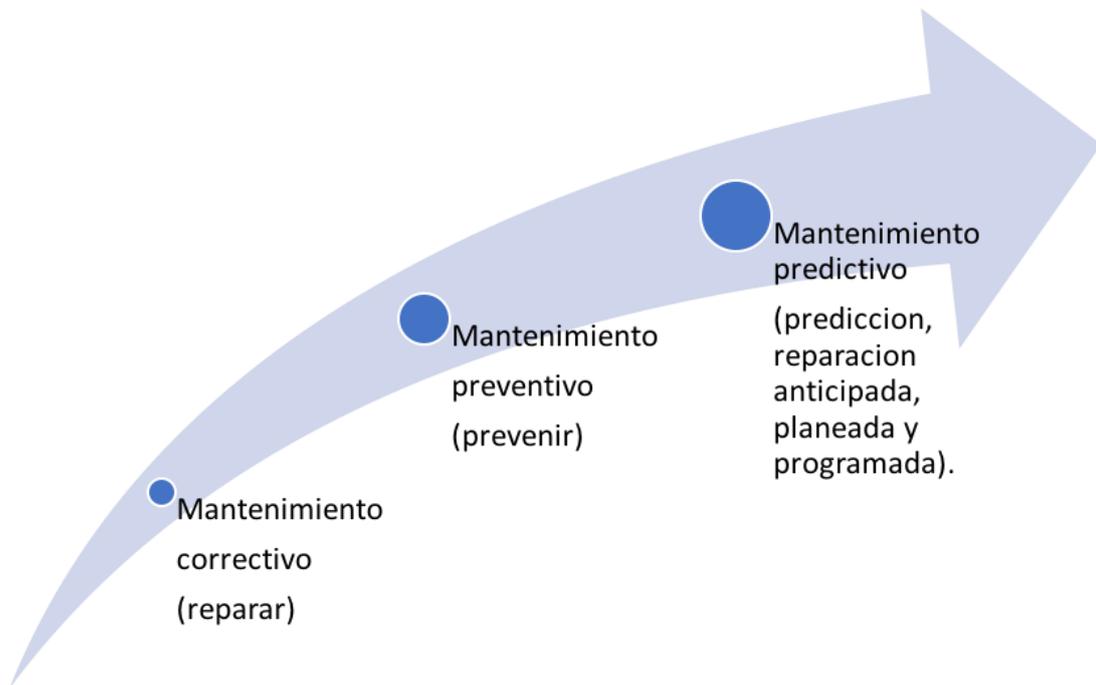
Es la última generación de la evolución del mantenimiento, y se encuentra en el auge de su crecimiento, centra en la utilización de recursos financieros de manera óptima. Hoy en día el costo de mantenimiento se configura como uno de los segundos más importantes y más costosos, siendo que hace, más de 30 años significaba uno de los más baratos.

Existen nuevas técnicas de mantenimiento que explotan al máximo los conceptos y modelos actuales, adaptándose a cada situación de forma personalizada. Entre ellos podemos encontrar los modos de fallas y Causas de fallos (FMEA y FMECA), los sistemas de expertos, polivalencia, mantenimiento proactivo, grupo de mejoras y seguimiento de acciones de fiabilidad y Mantenibilidad durante el proyecto.

#### **- Tipos de Mantenimiento**

Hoy en día existen varios tipos de mantenimiento, los cuales se clasifican según las actividades y el tiempo que se realicen. Estos mantenimientos pueden clasificarse de los siguientes tipos:

Figura 2.  
Tipos de Mantenimiento

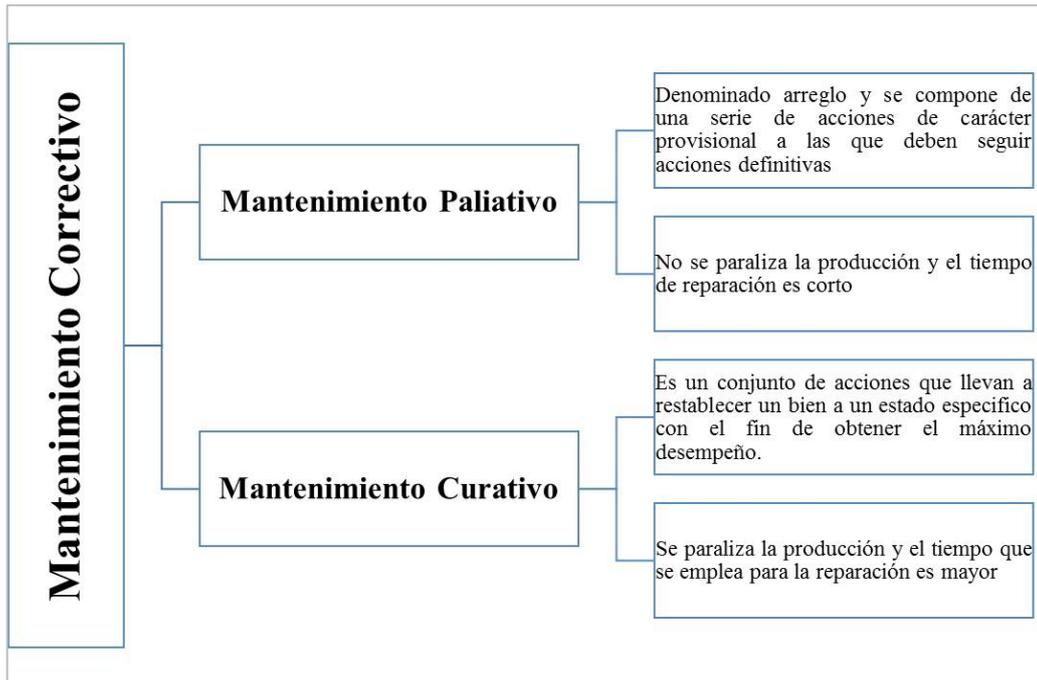


Fuente: Mora – Gutiérrez, 2005

#### **A. Mantenimiento correctivo**

Boucly (1999), define este tipo de mantenimiento como el grupo de actividades que se van desarrollando después que ocurre una falla u ocurre el deterioro de una pieza o partes de estas que impida que la maquinaria o el equipo cumplan su función requerida de manera provisional. Esta modalidad de mantenimiento se aplica una vez que ocurre la falla, el tiempo de reparación es más largo y costoso.

Figura 3.  
Mantenimiento Correctivo



Fuente: Boucly (1999)

- **Ventajas del mantenimiento correctivo**

Dentro de las principales ventajas se tienen una mayor explotación en el tiempo de vida de los equipos, los equipos trabajan con un nivel diferente de seguridad adaptado sus limitaciones de funcionamiento, existe una considerable duración en las maquinarias y equipos. (Boucly, 1999)

Si bien tanto la infraestructura como la maquinaria logran mantenerse en operación por un mayor tiempo, su rendimiento productivo no es el óptimo debido a las averías no detectadas por el mantenimiento correctivo.

Los costos referentes a reparaciones en general se reducen, ya que se detectan las fallas de una en una; aunque en ocasiones todas se presentan en conjuntos logrando paradas productivas significativas.

El cargo de trabajo que asume el personal de mantenimiento es uniforme ya que la programación de actividades de mantenimiento pueden ser controladas.

Los equipos adquiridos tienen la necesidad de poseer las mejores condiciones técnicas desde su compra, a fin de garantizar que las actividades de mantenimientos sean efectivas y no incurran en altos costos.

- **Desventajas del mantenimiento correctivo**

Como desventaja se puede mencionar que algunas fallas sean generadas al momento de la reparación, lo que hace que los tiempos perdidos sean mayores, los precios de reparación pueden elevarse, ya que al generarse nuevas fallas se necesita repuestos para reparar las fallas generadas. Una vez reparado la maquinaria no existe una garantía en cuanto el tiempo que tardará o se demorará la nueva falla. (Boucly, 1999)

## **B. Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento de tipo predictivo, se aplica generalmente en el sector industrial, debido a que es una herramienta que se basa en tareas de mantenimiento programadas de forma periódica que determinen el grado de operatividad y estado técnico de la maquinaria en cualquier punto del tiempo. Es decir que esta modalidad de mantenimiento se basa en el conocimiento de variables importantes para cada equipo, las cuales determinan su estado real y permiten identificar un posible fallo futuro.

El mantenimiento predictivo posee un alto grado de eficacia debido a la evaluación personalizada de factores críticos de cada equipo, siendo los principales evaluados el grado de vibración, presión, temperatura, entre otros. Requiere de personal técnico especializado en el conocimiento técnico de maquinaria ya que generalmente se aplica a equipos con alto grado de sofisticación.

- **Ventajas del mantenimiento predictivo**

Consigue una operatividad alta en los equipos debido a la reducción de paradas producto de la detección previa de los fallos.

Los resultados esperados son verídicos debido a que se cuenta con personal de mantenimiento calificado con un mínimo de fallas en la predicción.

Genera disminución de costes en personal de mantenimiento ya que las fallas detectadas requieren de menor inversión y menor cantidad de servicios externos contratados.

Las reparaciones requieren de reposiciones de repuestos de alta calidad, que cumplan con las especificaciones técnicas necesarias para asegurar el funcionamiento de la maquinaria por un largo tiempo.

- **Desventajas del mantenimiento predictivo**

Debido a que las tareas de mantenimiento son programadas, no tienen previsto un plan en caso de presentarse una avería fortuita, lo cual genera mayor tiempo de parada y pérdida de productividad.

Genera incremento en costos de adquisición de equipos y repuestos de alta calidad que garanticen una mayor vida útil a la maquinaria

Si bien no se necesita cantidad de personal, los costos de personal se elevan en cuanto a honorarios, ya que los pocos que se requiere necesitan ser de alta calificación y con conocimientos especializados sobre el área; los cuales no se encuentran con facilidad en el mercado laboral.

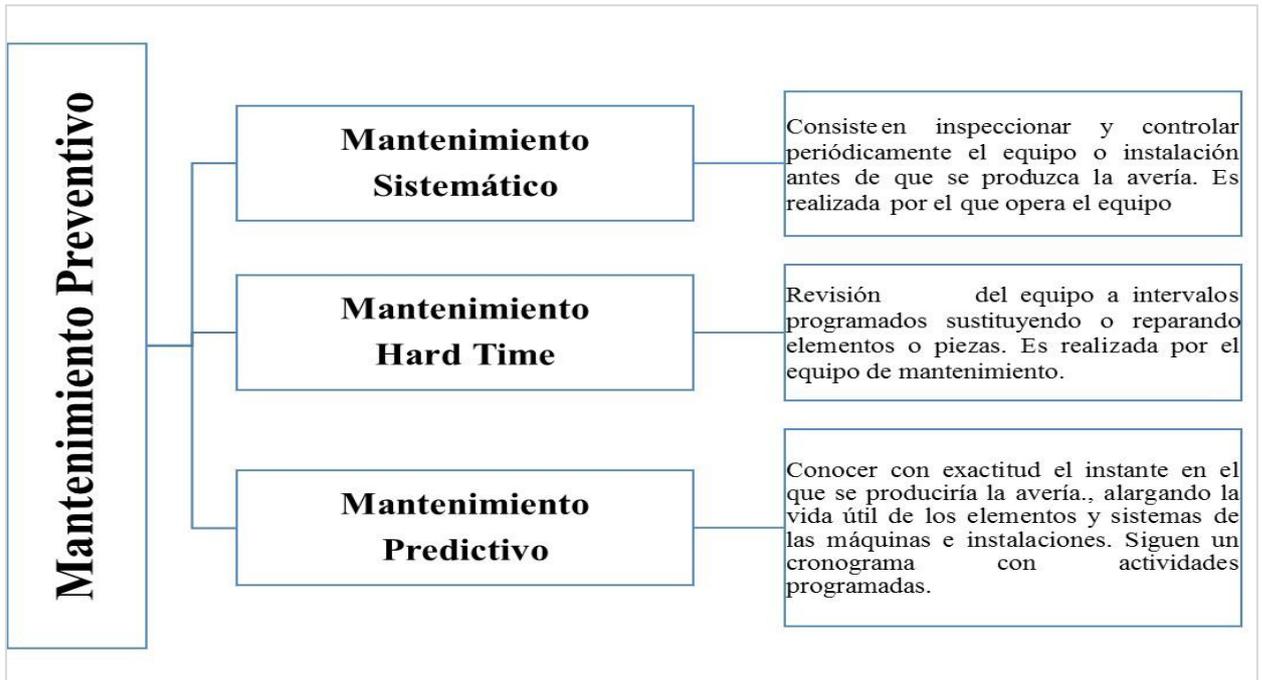
La inversión de implementación es elevada ya que requiere de equipos con alta tecnología en programación y detección de fallas. Incrementando el tiempo de retorno de capital.

### **C. Mantenimiento preventivo**

Rey Sacristán (2001) indica que este tipo de mantenimiento conoce todas las acciones relacionadas con los cambios y revisiones que estén direccionadas a eludir fallas y consecuencias negativas en los servicios o en la producción,

En este mantenimiento existe un personal dedicado a realizar estas actividades, pues debe existir un control de los mantenimientos que se deben realizar en los diferentes equipos y maquinarias en relación al tiempo que este deba realizarse. También se realizan observaciones visuales para el diagnóstico de posibles averías, así como también revisiones en la parte del funcionamiento de la maquinaria como las mediciones de temperatura, aceite, presión en los neumáticos, nivel del radiador, entre otros.

Figura 4.  
Mantenimiento Preventivo



Fuente: Rey Sacristán (2001)

#### D. Ventajas del mantenimiento preventivo

Dentro de las ventajas se puede mencionar un menor costo en el mantenimiento correctivo, una disminución en los riesgos por fallas, los tiempos perdidos por fallas se reducen y se lleva un control y una mejor planificación en cuanto al mantenimiento que debe ser realizado en los equipos. (Rey Sacristán, 2001)

En referencia a las ventajas que presenta el mantenimiento correctivo se destacan las que siguen:

Genera una significativa disminución de los riesgos, errores o fugas con menor probabilidad de presencia, pero alto grado de incidencia.

Los costos generados por mantenimientos son menores en comparación a otros métodos de mantenimiento, siendo la

reducción mayor en el proceso de detección de fallas no planificadas.

Los tiempos de parada disminuyen, generando incremento de productividad y tiempos de trabajo constante, especialmente cuando se trata de paradas imprevistas.

General un control integral en el proceso productivo, lo cual se traduce en mejoras de planificación de estrategias para nuevas adquisiciones de maquinaria o sistemas de control.

## **E. Desventajas del mantenimiento preventivo**

Como desventaja se puede mencionar los costos en el inventario cuando se implementa este tipo de mantenimiento suele elevarse, ya que se requiere tener en stock una serie de repuestos que serán necesarios debido a que se tiene un a planificación que debe cumplirse, se debe contar con mano de obra especializada, en caso de no tenerla se debe capacitar al personal que se tiene en cuanto a las fallas de los equipos, en caso de que alguna reparación no se pueda realizar en el tiempo planificado se altera todo el cronograma de mantenimiento. (Rey Sacristán, 2001)

No existe un diagnostico personalizado de la maquinaria, lo cual dificulta conocer el nivel de desgaste de las piezas de cada maquinaria.

La calidad del mantenimiento se reduce si no se cuenta con personal calificado en la detección y solución de fallas, lo cual reduce la eficacia de la productividad y genera mayores costos de los previstos.

Se pueden producir algunos fallos en el momento de la ejecución, lo que podría provocar un retraso en la puesta en marcha correcta de todos los equipos.

En ocasiones las fallas detectadas podrían generar un incremento en los costos de reparación, afectando el presupuesto de la empresa.

Inexistencia de garantías en cuanto de reparación de maquinaria, dado que los fallos presentados muchas veces involucran detectar nuevas fallas que generan posibles problemas.

### **3.2.1.2. Objetivos del Mantenimiento**

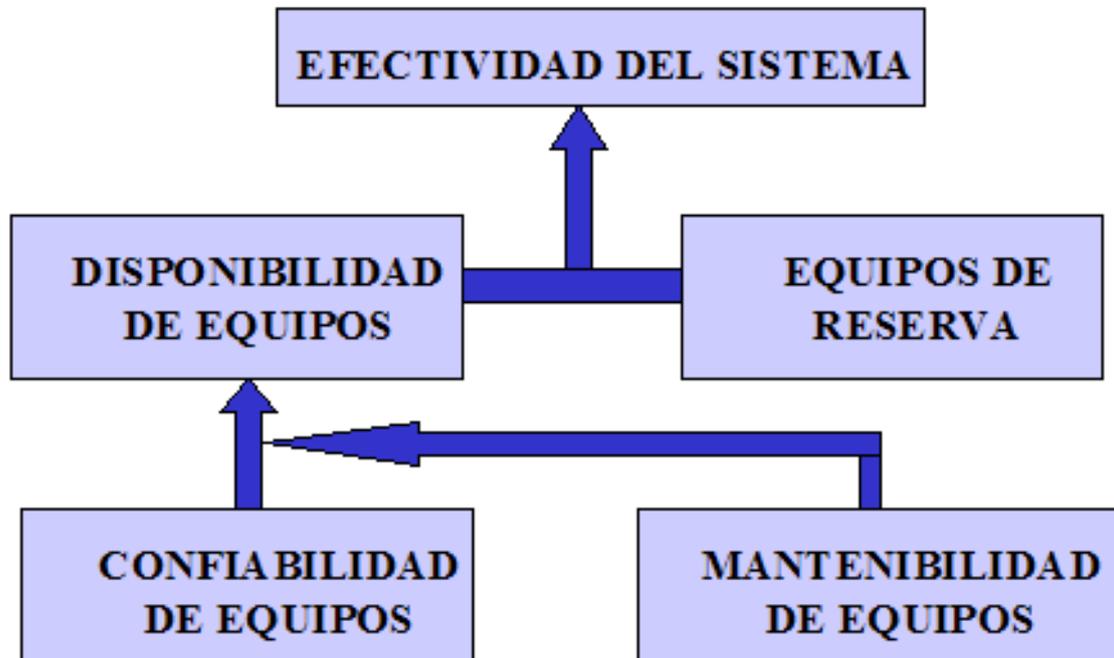
Según García Garrido (2016) el mantenimiento hace referencia al agregado de actividades que tiene por fin la compensación de la devaluación de los equipos o maquinaria provocados por el paso del tiempo. En base a esta definición, los especialistas en temas de mantenimiento plantean objetivos que aseguren la disponibilidad mecánica, la eficiencia y veracidad en el funcionamiento, la vida útil y la reducción en costos de operación de las máquinas y/o equipos.

A continuación se detallan los 4 objetivos planteados que garantizan en general de óptima gestión del mantenimiento y los mejores resultados productivos. Sin embargo; en términos generales, el mantenimiento no se centra en reparar en el menor tiempo posible las fallas o averías que surjan durante el proceso productivo, sino en reducir los tiempos de parada producto de las fallas que presenten las maquinarias o equipos.

- A.** Establecer y cumplir con el nivel de disponibilidad que requiere cada equipo o maquinaria.
- B.** Establecer y cumplir con el nivel de fiabilidad en las reparaciones efectuadas en cada equipo o maquinaria.
- C.** Garantizar el mayor tiempo de vida útil de la maquinaria e instalaciones, teniendo como base el tiempo de recuperación del capital o tiempo de amortización del capital invertido.

- D. Efectuar las tareas de mantenimiento ajustándose al presupuesto asignado, o minimizándolo en lo posible.

Figura 5.  
Objetivos del Mantenimiento



Fuente: García Garrido (2016)

### 3.2.1.3. Tareas de Mantenimiento

García Garrido (2016), por su parte, también establece 7 tipos de tareas de mantenimiento que se lleva a cabo en cualquier empresa:

- **Tipo 1**

Son las Inspecciones visuales, de las técnicas más rentables en cuanto mantenimiento, ya que pueden ser efectuadas en sin importar el momento o aplicadas a cualquiera de los modelos antes mencionados. Así mismo implican bajo coste y pueden

realizarse a toda la maquinaria sin implicar paradas de producción.

- **Tipo 2**

Son las tareas de lubricación, las cuales se recomienda realizar constantemente ya que traen beneficios técnicos al equipo, implican bajo costo y son rentables.

- **Tipo 3**

Se realizan acciones de verificación sobre el óptimo funcionamiento del equipo. Es decir se toma como base una toma de datos históricos sobre parámetros de funcionamiento, comparándolos con los recomendados por el fabricante, o funciones que no se usan constantemente pero es necesario que se encuentren activas en caso de ser requeridas. Por ejemplo funcionamiento de alarmas, presión, temperatura u otros, en caso de detectar inconsistencias se procede a su mantenimiento o reparación. Para esto es necesario contar con el rango de variación permitida para cada parámetro a evaluar y las posibles acciones inmediatas a tomar en la intervención de la máquina.

- **Tipo 4**

Se realizan acción de verificación sobre el funcionamiento del equipos, teniendo como referencia factores externos de la maquina a evaluar. Es decir que el fin determinar si el equipos cumple con las condiciones de funcionamiento requeridas que necesitan el desplazamiento de instrumentos o herramientas específicas que son usadas en simultáneo con otro equipo.

Estas actividades se dividen en dos, aquellas que se realizan con instrumentos simples como pinzas amperimétricas, termómetros por tacómetros, infrarrojos, etc.; y aquellas realizadas con instrumentos complicados como los que analizan las vibraciones, los que detectan presencia de fugas,

equipos de ultrasonido, o analizadores de curvas de arranque del equipo.

- **Tipo 5**

Con aquellas actividades de mantenimiento que se realizan a condición de la presencia de algún suceso específico o del estado que presente el equipo, y no se requiere realizarlas si el equipo no presenta alguna falla visible. Entre ellas se encuentran:

- Limpiezas profundas que requieran un desarmado total del equipo.
- Ajuste de piezas profundas, producto de una falla mecánica en el equipo.
- Reposición o reemplazo de piezas, producto de un mal funcionamiento o desgaste que implica disminución en la productividad del equipo.

- **Tipo 6**

Son actividades sistemáticas; es decir que son realizadas cada cierto tiempo de funcionamiento sin tener en cuenta el estado del equipo, implican limpiezas superficiales, ajustes o sustitución de piezas pequeñas.

- **Tipo 7**

Es una de las actividades de mayor trabajo, incluyen revisiones profundas y son también llamando mantenimientos Cero Horas o Hard Time, y el propósito es dejar al equipos en un estado lo más similar a nuevo o sin horas de funcionamiento.

Figura 6.  
Tareas de Mantenimiento



Fuente: García Garrido (2016),

Para determinar qué tipo de tarea es necesario realizar, se requiere analizar cada equipo para enumerar los fallos en detalle y aquellos que estén correlacionados. La elección de la tarea se encuentra ligada a la gravedad del fallo presentado, y la cantidad de recursos disponibles a utilizar para su mantenimiento.

La decisión a tomar para la elección de la tarea es importante ya que implica un análisis profundo de las fallas existentes y las potenciales a existir, clasificándolas según el nivel de consecuencia que tendría en caso de no ser reparada, en: críticas, importantes o tolerables.

Los fallos de tipo críticos, por ejemplo, se adecuan a cualquier tipo de tarea para minimizar sus consecuencias; mientras que los de tipo importante presenta limitaciones. Finalmente los fallos tolerables son aplican para tareas de mantenimiento sencillas que en lo posible no impliquen altos costos. Para esta última aplica tareas tipo 1, 2 o 3, ya sean inspecciones visuales, de lubricación o verificaciones propias del equipo, teniendo en cuenta que el daño futuro es completamente asumible.

### 3.2.2. Indicadores técnicos de mantenimiento

Según Jiménez y Milano (2006), indica que unas de las situaciones que se presentan a los responsables del mantenimiento de maquinarias y equipos es el de medir o metrar el progreso de los factores más importantes que definen o determinan la calidad del trabajo que realizan. En esta sección se analizarán cada uno de estos indicadores.

Entre los indicadores de más utilizados en el mantenimiento se tienen la tasa de fallas, número de fallas, tiempo promedio de reparación, tiempo promedio de intervenciones, confiabilidad operacional. (Altamirano y Zavaleta, 2016).

- A. Tasa de fallas** es la razón entre el número de fallas observadas en un tiempo de operaciones

$$TF(\%) = \frac{N^{\circ} \text{ de fallas}}{N^{\circ} \text{ de unidades probadas}} * 100$$

- B. Tiempo medio entre fallas:** es la relación entre la unidad entre el N° de fallas

$$TMEF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de fallas}}$$

- C. Tiempo promedio de reparación:** es el tiempo promedio que se requiere para reparar determinado equipo.

$$TMPR = \frac{\text{Tiempo de reparaciones realizadas}}{N^{\circ} \text{ de reparaciones realizadas}}$$

- D. Tiempo promedio de intervenciones:** es la relación entre las horas trabajadas y en número de reparaciones que se le realiza al equipo.

$$TMPI = \frac{\text{Hora trabajando}}{N^{\circ} \text{ de reparaciones realizadas}}$$

### 2.2.3. Disponibilidad Mecánica

Si se habla de disponibilidad mecánica, nos referimos a uno de los principales objetivos del mantenimiento; y viene definida por el nivel de confianza que brinda un componente después de su reparación, en cuanto al funcionamiento por un determinado tiempo establecido.

En términos nominales, se expresa como el porcentaje de la división entre el tiempo medio de presencia de fallas y la suma total del tiempo requerido para realizar una reparación, todo entre el tiempo medio entre fallas de los equipos que operan con mayor continuidad.

- **Disponibilidad Inherente (Ai):**

Es el grado de disponibilidad esperado producto de las actividades de mantenimiento correctivo. Toma en cuenta el diseño del equipo mientras se empara en la suposición de que todos los repuestos y personal involucrado se encuentran sin retraso de productividad.

- **Disponibilidad Alcanzable (Aa):**

El grado de disponibilidad esperado producto de las actividades de mantenimiento correctivo y preventivo, teniendo en cuenta tanto el diseño del equipo como el diseño de la planta. También se asume que el personal y los repuestos se encuentran 100% disponibles y sin retrasos.

- **Disponibilidad Operacional (Ao):**

Se refiere al grado de disponibilidad real del equipo o maquinaria en función a las actividades de operación diarias de la empresa. Refleja visiblemente el nivel de recursos totales con los que se cuenta y el grado de nivel de organización y gestión.

## 2.2.4. Indicadores de disponibilidad

Arellano (2003), define la disponibilidad como un indicador de mantenimiento más importante, ya que expresa la confianza que se debe tener de disponer unidades adicionales para ser utilizadas en algún momento de fallas inesperadas.

La disponibilidad es la relación entre el tiempo en que el equipo o la maquinaria queda disponible entre el tiempo total de reparación

$$D(t) = \frac{\textit{Tiempos disponibles para la producción}}{\textit{Tiempos disponibles para la producción} + \textit{tiempos de mantenimiento}}$$

El tiempo medio de reparación es causado por varias situaciones:

- E. La viabilidad de tener el equipo para realizar el mantenimiento
- F. Los conocimientos del personal
- G. Los cronogramas o tiempos planificados de la reparación.

Lo que distingue a unas empresas de otra del mismo ramo es la forma como realizan las actividades diarias dentro de la organización. En la industria minera un día de parada por fallas genera un sin número de pérdidas, tanto económicas como horas/hombre.

Las reparaciones siguiendo planes de mantenimiento es lo que garantiza que siempre haya equipos auxiliares para el cubrimiento en caso de que alguna maquinaria o equipo falle. Las reparaciones son necesarias y siempre deben realizarse siguiendo un cronograma de actividades diseñado de manera estratégica, donde se produzcan la menor cantidad de tiempos perdidos por mantenimiento.

## 2.3. Definición de términos básicos

### 2.3.1. Avería

Es aquel estado donde existen elementos que no se encuentran en funcionamiento. Son las condiciones en la que se encuentra un equipo, que no puede cumplir con su funcionamiento constante. (Asociación colombiana de mantenimiento, 2018).

### **2.3.2. Defecto**

Suceso en los equipos que no delimitan su eficiente actividad, pero es posible que a mediano plazo el funcionamiento de estos equipos provoque su indisponibilidad. (Asociación colombiana de mantenimiento, 2018).

### **2.3.3. Desgaste**

Se define como el deterioro de una maquinaria o equipo que con el tiempo puede causar el desuso de este ya que provocaría cambios en su forma, tamaño, propiedades de estructura, etc. (Asociación colombiana de mantenimiento, 2018).

### **2.3.4. Disponibilidad**

Es la posibilidad de que un sistema, equipo o maquina se encuentre de manera eficiente en disposición de trabajo es decir de ser usado. (Asociación colombiana de mantenimiento, 2018).

### **2.3.5. Eficacia**

Grado establecido para alcanzar una meta en un tiempo prolongado. (Asociación colombiana de mantenimiento, 2018).

### **2.3.6. Eficiencia**

Conseguir un objetivo utilizando la menor cantidad de recursos o insumos generando mejores resultados. (Asociación colombiana de mantenimiento, 2018).

### **2.3.7. Error**

Acciones en la que los operadores demuestran que todavía no tiene un buen control y manejo de algún equipo o sistema lo cual podría ocasionar

accidentes de indisponibilidad del operario. (Asociación colombiana de mantenimiento, 2018).

### **2.3.8. Falla**

Capacidad en la que algún equipo tenga dificultades en desempeñar las funciones que se le asignen, debido algún daño provocado en el equipo. (Asociación colombiana de mantenimiento, 2018).

### **2.3.9. Fiabilidad.**

Conocido como la probabilidad de que algún aparato, sistema o equipos cumpla con sus funciones en el tiempo de productividad establecido es decir cumpliendo con sus objetivos programad. (Asociación colombiana de mantenimiento, 2018).

### **2.3.10. Inspección.**

Servicio que es utilizado para controlar y examinar los procesos de mantenimiento de instalaciones, instrumentos, equipos con el fin de cumplir con todos los requisitos que estén establecidos para su aplicación. (Asociación colombiana de mantenimiento, 2018).

### **2.3.11. Mantenibilidad.**

Es considerado con el esfuerzo que requiere algún equipo o sistema para poder conservar su funcionamiento sin presentar alguna falla en el proceso. (Asociación colombiana de mantenimiento, 2018).

### **2.3.12. Vida de una máquina.**

Es el tiempo en el que un equipo se encuentra activo desempeñando su labor de manera segura y eficiente. (Asociación colombiana de mantenimiento, 2018)

### **2.3.13. Ítem**

Término general que sirve para indicar un determinado bien, equipos, obra o instalación.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método y alcance de la investigación**

De acuerdo al grado de abstracción y finalidad, la investigación es aplicada, puesto que su finalidad es proponer una solución a un problema de forma práctica aplicando los resultados de la investigación a la teoría existente. (Valderrama, 2000).

Así mismo es de nivel descriptivo, ya que no existe una manipulación directa de las variables involucradas, dado que se observarán y analizarán según su comportamiento natural en el periodo de tiempo estudiado. En la investigación se analizarán los tiempos de las tareas de mantenimiento, para identificar los puntos causantes del problema. Bernal (2010), también afirma que es descriptiva cuando se trata de una investigación que usa literalmente las características del sujeto de estudio, para investigar y explicar la causa de una determinada situación.

La investigación es fundamental, ya que el propósito es hacer extensivas las conclusiones obtenidas hacia otros casos de similar naturaleza, sirviendo como antecedente de investigación para futuros trabajos o implementaciones en la empresa.

El tipo de investigación a realizar es no experimental ya que se obtendrán los datos de estudio de la realidad directa del objeto de estudio, a fin de analizar si los tiempos de las tareas de mantenimiento son óptimos y contribuyen a la disponibilidad mecánica en la empresa de estudio, del cual se espera obtener mejoras para optimizar la disponibilidad.

### **3.2. Diseño de la investigación**

La investigación presenta un diseño no experimental cualitativo, ya que analizará la situación en el antes acerca de los metrados de las tareas de mantenimiento a fin de proponer soluciones que mejoren la disponibilidad de los equipos de la empresa.

Se empleará una encuesta como herramienta para poder identificar los metrados de las tareas de mantenimiento.

Luego se realizará ajuste con la información obtenida para proporcionar mejoras en la empresa en cuanto a la maquinaria disponible.

### **3.3. Población y Muestra**

Dado que la población es el universo de estudio para la investigación, se tomará a la totalidad de choferes y maquinaria disponible en la empresa. Para la presente investigación en particular se cuenta con 16 modelos de equipos que hacen un total de 53.

Siendo el estudio una aplicación a un caso único, y donde la población de estudio es pequeña, no habrá muestra, ya que se trabajará con la totalidad de la población como unidad de análisis.

En el siguiente cuadro, se muestra en detalle los equipos, personal y la disponibilidad expresados en porcentajes:

Tabla 2.

Disponibilidad de flota auxiliar antes de la investigación

NUMERO DE UNIDADES	EQUIPO	DISPONIBILIDAD
2	994F	75.70%
2	CAT385LC	73.40%
5	ROCK L8	69.48%
2	D75KS	71.62%
6	EPIROC D65	89.70%
5	D10R	89.83%
2	D10T	98.48%
2	D11R	98.85%
7	D11T	85.52%
2	24H	60.59%
7	24M	79.06%
1	854G	42.21%
6	854K	87.65%
1	D475	84.43%
1	WD900	86.97%
2	CAT390DL	94.15%

Fuente: Compañía Minera Antamina S.A

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

Para la recolección de la información necesaria para la investigación se utilizó la técnica de la entrevista y análisis documental; ya que los datos se recopilaban de la información histórica relacionada.

Bernal (2010), afirma que el análisis de los documentos históricos, es una herramienta que contribuye a encontrar información sobre la situación pasada de la organización, evolución y antecedentes de problemas existentes, a fin de realizar un diagnóstico general de la empresa.

Así mismo se utilizó como instrumento una ficha de análisis de documentación acerca de la disponibilidad de los equipos.

Esta ficha se aplicó en el transcurso de dos visitas regulares a la empresa, para recaudar información de primera fuente sobre el metrado de las tareas de mantenimiento preventivo para la mejora de la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares, y a su vez analizar la capacidad productiva de cada maquinaria y su disposición en la actualidad, de forma individual por cada una de ellas o en su defecto la que se encuentre disponible por parte de la empresa.

Finalmente se realizó una entrevista al encargado del área de mantenimiento, para obtener información acerca del Plan de Mantenimiento actual que se desarrolla en la empresa y de la situación actual de la maquinaria y el constante de fallas que presentan disminuyendo su disponibilidad.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Diagnóstico actual**

La Compañía Minera Antamina S.A., actualmente es una de las empresas de mayor consolidación en el rubro de concentrados de cobre que inicio con sus primeras operaciones, en plan piloto, el 28 de mayo del 2001; no obstante inicia con su comercialización el 1 de octubre del mismo año, con concentrados de cobre. Zinc, y subproductos relacionados. Su centro de operaciones principal se ubica en el Departamento de Ancash, provincia de Huarí y distrito de San Marcos; situado a 200 Km. de Huaraz, a una altitud de 4300 m.s.n.m. y cuenta con un punto de embarque en Huarmey, Punta de Lobitos.

Actualmente, esta compañía constituye una de las mayores inversiones en minería, a nivel nacional, por un monto de 3.600 millones de Dólares, el cual incluyó la expansión de sus operaciones en distintas regiones del país. Consta con un equipo de trabajo eficiente y comprometido con la producción de concentrados mineros de alta calidad, garantizando la seguridad y responsabilidad medio ambiental, con el propósito de crear valor empresarial y talento humano altamente calificado. Los actuales accionistas de la empresa son:

- BHP Billiton con el 33.75%
- Glencore con 33.75%,
- Teck con el 22.5%
- Mitsubishi con tan solo el 10%.

### 4.1.1. Visión y Misión

#### a. Visión

Ser un ejemplo peruano de excelencia minera en el mundo. Extraordinarios líderes transformando retos en éxitos. ¡Trabajando por el desarrollo del mañana...ahora!

#### b. Misión

Logramos resultados extraordinarios y predecibles en salud y seguridad, medio ambiente, relaciones comunitarias, calidad, y eficiencia, con el compromiso, participación y liderazgo de nuestra gente.

### 4.1.2. Valores

La empresa Antamina, tiene definidos una serie de valores, bajo los que rigen su desarrollo, los cuales se muestran a continuación:

#### - **Integridad**

Somos nuestra palabra, honramos nuestros compromisos y cumplimos con las leyes y las políticas corporativas

#### - **Salud y seguridad Industrial**

Asumimos la salud y la seguridad industrial en todas nuestras acciones y decisiones protegiendo proactivamente a las personas y a la propiedad.

#### - **Responsabilidad**

Somos responsables de nuestros actos y sus consecuencias, y de la administración eficiente de los recursos, operando con responsabilidad social y ambiental, promoviendo el desarrollo sostenible.

- **Respeto y reconocimiento**

Reconocemos los logros de cada uno, respetando las tradiciones y promovemos una cultura donde las ideas y contribuciones se valoran.

- **Aprendizaje continuo**

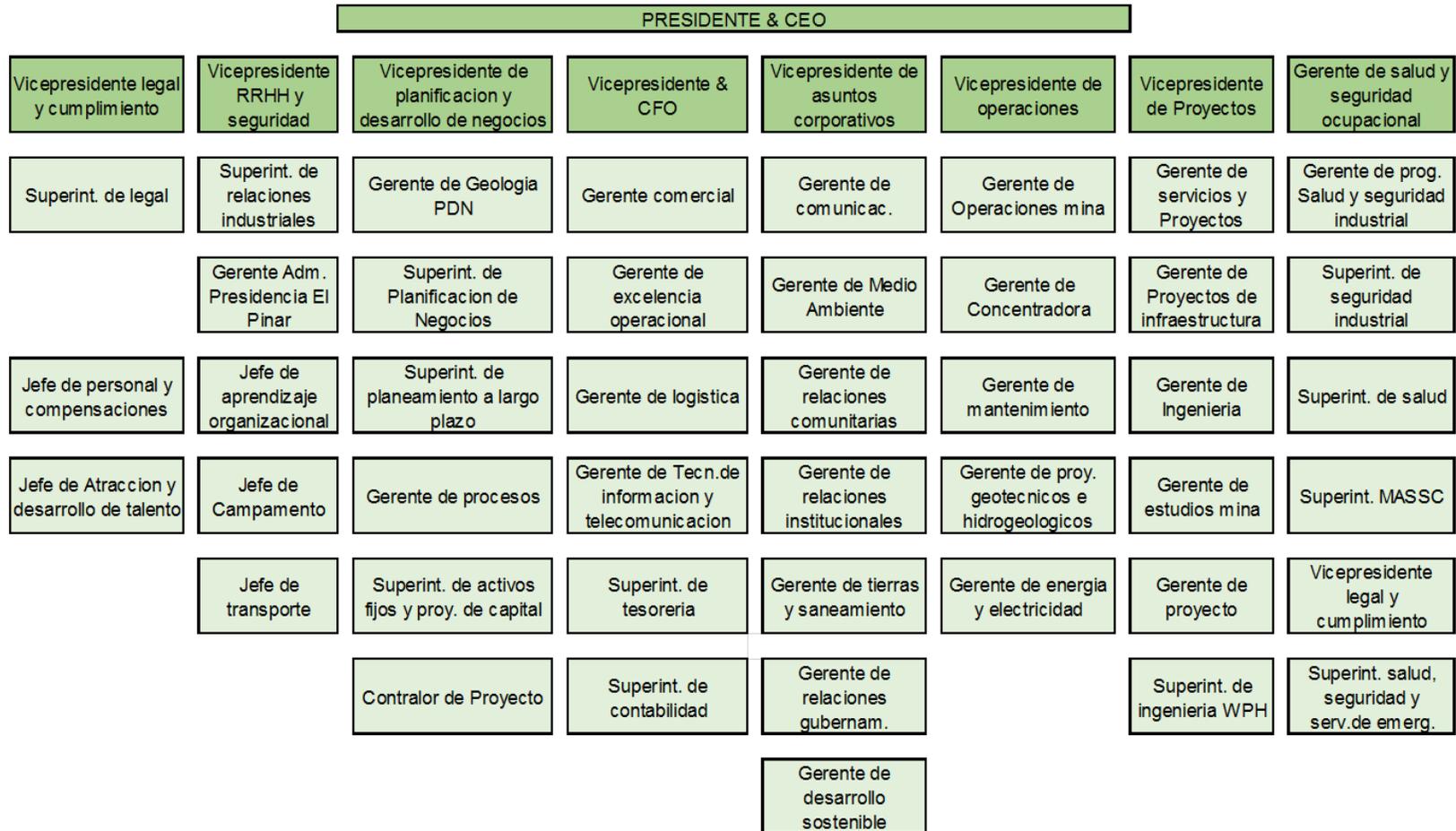
Promovemos una cultura de aprendizaje y mejora continua para nuestro equipo, socios estratégicos, clientes e industria, optimizándolos procesos y el uso de la tecnología.

- **Excelente desempeño e innovación**

Creamos un ambiente apropiado donde surgen ideas y métodos innovadores para mejorar nuestros procesos.

### 4.1.3. Organigrama General de la empresa

Figura 7.  
Organigrama General Compañía Antamina

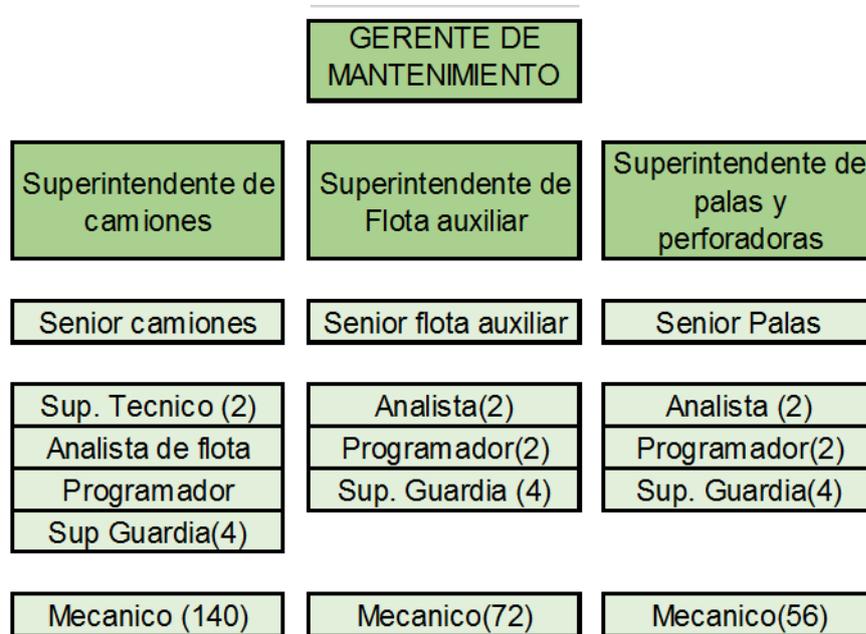


Fuente: Antamina 2019

### 5.1.1. Organigrama gerencia de mantenimiento Antamina Perú SAC.

Figura 8.

Organigrama Área de mantenimiento de la Compañía Antamina



Fuente: Antamina 2019

### 6.1.1. Principales equipos de la flota auxiliar

A continuación se muestran toda la maquinaria existente que pertenece la flota auxiliar, con sus respectivas especificaciones; los cuales forman parte de la población de estudio:

Para término e detalle, se especifica los detalles técnicos de cada maquinaria a evaluar.

Figura 9.

Perforadora Hidráulica D75KS

Aplicación:	para agujeros de dinamitado	Diámetro perforación:	de Min.: 229 mm / Máx.: 279 mm
Movilidad:	con orugas	Profundidad perforación:	de Min.: 0 m (0'00") / Máx.: 53 m (173'10")
Otras características:	hidráulica	Sistema de perforación:	rotativa



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 10.

Caterpillar 994F

Nombre del equipo	: Cargador Frontal
Modelo	: Caterpillar 994 F
Peso total del equipo	: 197 [Ton]
Carga útil del cucharón	: 35 [Ton] (18 [m3])
Fuerza máxima de penetración	: 1020 [kN] (104 [Ton])



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 11.  
Excavadora Hidráulica CAT 385LC

Modelo Equipo	CAT 385 LC		
Modelo Motor	Motor CAT C18 ATAAC		
Potencia	382 kW / 513 hp	Velocidad de Desplazamiento	4.4 kph / 2.8 mph
Peso Operativo	84.98 kg / 187.360 Lb.	Traccion Maxima	592 kN / 133.090 Lb.



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 12.  
Perforadora ROCL8

Modelo Motor	CAT C-15	Carrusel de Varillas	16 pies
Diametro Barreno	110-203 mm	Total de Horas de Cuadro	6020
Tuberia de Perforacion	4"	Horas de rotacion	3050



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 13.  
Perforadora Multifunción EPIROC D65

Motor	403 kW	Tamaño del martillo	4" ; 5" ; 6"
Diámetro del barreno	110 mm - 203 mm	Air capacity (FAD)	470 l/s
Rotary head	DHR6 H 45 ; DHR6 H 56 ; DHR6 H 68 ; DHR6 H 78	Profundidad barreno	55,5 m



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 14.  
Caterpillar D10R

Modelo	Caterpillar D10R	Número de cilindros	12
Potencia medida Cilindrada	1900 RPM. / 27 l.	Potencia total	457.1 kW
Aspiración	radiador de refrigeración	Potencia efectiva	425 kW



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 15.  
Caterpillar D10T

Modelo	D10R	Peso de funcionamiento	65403.5 kg
Modelo de motor	3412E	Potencia Bruta	1900 RPM
Emisiones	Tier II	Velocidad	12.4 KM/H



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 16.  
Caterpillar D11R

Modelo	D 11 R	Peso de funcionamiento	108658.1 Kg
Modelo de motor	3508B	Potencia	915 Hp
Cilindros	8	Velocidad máxima	11.7 Km/h



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 17.  
Caterpillar D11T

Modelo	D 11 T	Peso de funcionamiento	229800.0 lb
Modelo de motor	C32 ACERT™	Cilindrada	1959.0 pulg <sup>3</sup>
Potencia al volante	850.0 HP	Emisiones	Equivalente a Tier 2



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 18.  
Caterpillar 24H

Modelo	24H	Peso de funcionamiento	161695.0 lb
Modelo de motor	C27 Cat	Potencia	535.0 HP
Cilindrada	1648.0 pulg <sup>3</sup>	Levantamiento máximo	16.1 in



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 19.  
Caterpillar 24M

Modelo	24M	Peso de funcionamiento	65.840 kg
Modelo de motor	C18 ACERT	Potencia	533 hp
Cilindrada	1648.0 pulg <sup>3</sup>	Levantamiento máximo	25 in



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 20.  
Tractor 854G

Modelo	854G	Peso de funcionamiento	219.128 lb
Modelo de motor	350 8B EUI	Potencia	533 hp
Potencia Bruta	880hp		



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 21.  
Tractor 854K

Modelo	854K	Peso de funcionamiento	224.254 lb
Modelo de motor	C32A	Potencia Bruta	900hp
Emisiones	671 kW	Velocidad	1750 rpm



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 22.  
Tractor D475

Modelo	D475	Peso de funcionamiento	108.39 t
Modelo de motor	SDA12V140E3	Potencia Bruta	900hp
Emisiones	Tier II	Velocidad	11.2 km/h



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 23.  
Tractor WD900

Modelo	D475	Peso de funcionamiento	100000 kg
Modelo de motor	SA12V140	Potencia Bruta	853
Emisiones	Tier II	Velocidad	28 km/h



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

Figura 24.  
Caterpillar CAT339D

Modelo	CAT339D	Peso de funcionamiento	86190 kg
Modelo de motor	C18	Potencia Bruta	523 HP
Emisiones	Tier II	Velocidad	4.5 KM/H



Fuente: Catálogos 2018 CAT© Latinoamérica

## 6.2. Resultados del tratamiento y análisis de la información (tablas y figuras)

### 6.2.1. Análisis estadístico de los tiempos de mantenimiento en los equipos auxiliares

A continuación se analiza el tiempo de restantes destinadas para detenciones en el mes, para cada una de las maquinarias disponibles en el área de flota auxiliar.

Tabla 3.  
Horas restantes para detenciones al mes

	<b>Hrs. restantes para detenciones /mes Al inicio del metrado</b>	<b>Hrs. restantes para detenciones /mes actuales</b>
994F	166.50	339.10
CAT385LC	393.40	638.60
ROC L8	809.40	1249.90
D75KS	186.00	440.80
EPIROC D65	433.90	436.60
D10R	1200.00	1390.40
D10T	269.90	284.50
D11R	333.70	341.40
D11T	77.50	467.40
24H	-2.00	369.10
24M	505.10	1041.60
854G	111.00	148.90
854K	255.20	531.40
D475	96.40	170.70
WD900	77.50	139.80
CAT339D	335.20	390.90

De acuerdo a la tabla anterior, se observa que el metrado de las tareas de mantenimiento en el periodo 1, daba como resultado horas reducidas para detenciones; es decir que no se contaba con tiempo disponible suficiente para que la maquinaria pueda parar sus actividades y pase por procesos de mantenimiento. No obstante, con la realización del metrado de estas

actividades, las horas restantes disponibles para el mantenimiento de la maquinaria se incrementan considerablemente.

Tabla 4.  
Comparativa de tiempos de detenciones

	<b>VAR. DE HORAS</b>	<b>INCREMENTO NOMINAL</b>
994F	50.90%	172.600
CAT385LC	38.40%	245.200
ROC L8	35.24%	440.500
D75KS	57.80%	254.800
EPIROC		
D65	0.62%	2.700
D10R	13.69%	190.400
D10T	5.13%	14.600
D11R	2.26%	7.700
D11T	83.42%	389.900
24H	100.54%	371.100
24M	51.51%	536.500
854G	25.45%	37.900
854K	51.98%	276.200
D475	43.53%	74.300
WD900	44.56%	62.300
CAT339D	14.25%	55.700
<b>TOTAL</b>		<b>3132.400</b>

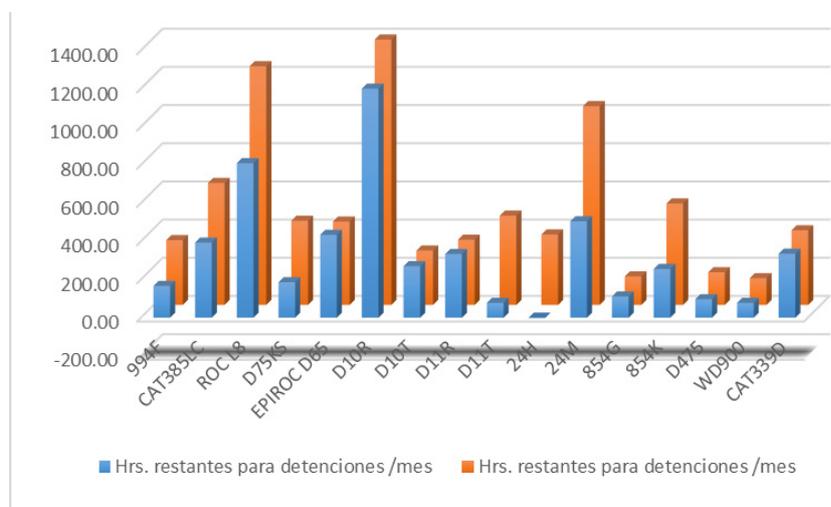
Tal como se muestra en la tabla anterior, se evidencia de forma porcentual el grado de incremento en tiempo disponible para detenciones destinadas a mantenimiento. Siendo los equipos más beneficiados el Caterpillar 24H, con una mejora de tiempos en un 100.54% equivalente a 371 horas extra; la Perforadora Hidráulica D75KS con un porcentaje de mejora del 57.80% igual a 254 horas más disponibles y los Caterpillar 24M, Caterpillar 994F con 51.51% y 50.90%, igual a 536 y 172 horas extra destinadas a detenciones.

Así mismo, se presenta una mejora reducida en el Caterpillar D11R del 2.26% que se traduce solo en 7 horas restantes para detenciones.

En la Figura 19 se muestra gráficamente la variación en horas disponibles para detenciones, el cual visualiza claramente la mejora significativa con el uso de metrado de las tareas de mantenimiento.

Figura 25.

Gráfico de la Comparativa de tiempos de detenciones



### 6.2.2. Análisis estadístico de la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares

La tabla siguiente muestra la disponibilidad de la flota auxiliar en el periodo antes del metrado, y su comparativa con la disponibilidad actual que posee la misma flota, producto del mantenimiento preventivo. Así mismo muestra el tiempo de ejecución utilizado en cada tipo de mantenimiento y maquinaria, el cual influye directamente en el tiempo restante disponible para detenciones.

Tabla 5.  
Disponibilidad de la Flota auxiliar antes y después

EQUIPO	TIPO DE MTO	TIEMPO DE EJECUCION	DISP. ANTES	DISP. DESPUES
994F	P1	5.3	75.70%	68.67%
	P2	6.44		
	P3	6.34		
	P4	14.4		
CAT385LC	P1	6.45	73.40%	95.10%
	P2	9.35		
	P3	8		
	P4	12		
ROC L8	P1	3.57	69.48%	79.54%
	P2	4.57		
	P3	6.02		
	P4	10		
D75KS	P1	4.5	71.62%	91.34%
	P2	6		
	P3	6.13		
	P4	11.08		
EPIROC D65	P1	5.33	89.70%	100.00%
	P2	6.68		
	P3	7.58		
	P4	10.25		
D10R	P1	4	89.83%	89.57%
	P2	5.14		
	P3	5.04		
	P4	13.1		
D10T	P1	4	98.48%	100.00%
	P2	5.14		
	P3	5.04		
	P4	13.1		
D11R	P1	5.08	85.52%	98.49%
	P2	6.43		
	P3	7.33		
	P4	10		
D11T	P1	5.08	85.52%	85.81%
	P2	6.43		

	P3	7.33		
	P4	10		
24H	P1	3.84	60.59%	96.79%
	P2	7.63		
	P3	4.63		
	P4	17.64		
24M	P1	2.59	79.06%	75.42%
	P2	6.38		
	P3	3.38		
	P4	16.39		
854G	P1	5.25	31.05%	42.21%
	P2	6.39		
	P3	6.29		
	P4	14.35		
854K	P1	6.33	87.65%	78.51%
	P2	7.68		
	P3	8.58		
	P4	11.25		
D475	P1	5.08	84.43%	100.00%
	P2	6.43		
	P3	7.33		
	P4	10		
WD900	P1	5.28	86.97%	100.00%
	P2	6.63		
	P3	7.53		
	P4	10.2		
CAT339D	P1	4	94.15%	100.00%
	P2	5.14		
	P3	5.04		
	P4	13.1		

La tabla N°5 presenta el resumen de la comparativa de la disponibilidad antes del metrado de las tareas y después con el metrado, para cada uno de los equipos. Permite evidenciar el incremento de la disponibilidad de la flota auxiliar con la realización continua del metrado de las tareas de mantenimiento.

Tabla 6.  
Comparativa de la disponibilidad de la flota auxiliar

<b>EQUIPO</b>	<b>DISPONIBILIDAD ANTES</b>	<b>DISPONIBILIDAD DESPUES</b>	<b>VAR. DE DISPONIBILIDAD</b>	<b>INCREMENTO NOMINAL</b>
994F	75.70%	68.67%	-10.24%	-0.070
CAT385LC	73.40%	95.10%	22.82%	0.217
ROC L8	69.48%	79.54%	12.65%	0.101
D75KS	71.62%	91.34%	21.59%	0.197
EPIROC D65	89.70%	100.00%	10.30%	0.103
D10R	89.83%	89.57%	-0.29%	-0.003
D10T	98.48%	100.00%	1.52%	0.015
D11R	85.52%	98.49%	13.17%	0.130
D11T	85.52%	85.81%	0.34%	0.003
24H	60.59%	96.79%	37.40%	0.362
24M	79.06%	75.42%	-4.83%	-0.036
854G	31.05%	42.21%	26.44%	0.112
854K	87.65%	78.51%	-11.64%	-0.091
D475	84.43%	100.00%	15.57%	0.156
WD900	86.97%	100.00%	13.03%	0.130
CAT339D	94.15%	100.00%	5.85%	0.059
<b>PROMEDIO</b>			<b>4.8 %</b>	

En la tabla anterior la disponibilidad mecánica antes del metrado muestra que no existe ningún equipo que se encuentre al 100% disponible para su uso, lo cual repercute en las actividades de la empresa Antamina. Posteriormente se calcula la disponibilidad con la aplicación del metrado de las tareas de mantenimiento, evidenciando que al menos 4 equipos presentan disponibilidad al 100%, producto de las actividades de mantenimiento preventivo. Así mismo el resto de equipos presentan mejoras de disponibilidad muy cercanas al 100%, lo cual mejora el desarrollo de actividades de la empresa. Sin embargo existen 4 maquinarias que presentan una disminución en su disponibilidad, entre el 4.83% y 11.64%, los cuales son

equipos que corresponden a los que no mejoraron sus tiempos restantes para detenciones.

Figura 26.

Gráfico de la de la disponibilidad de la flota auxiliar



Tanto la Tabla 5, como la Figura 20, indica que se logró un incremento promedio global de la disponibilidad mecánica del 4.8%, teniendo en cuenta que solo es en un periodo corto de implementación. El incremento promedio del 4.8%, representa un incremento total de horas para detenciones de 3132.4.

### 6.3. Discusión de Resultados

Los equipos que formaron parte de la población de estudio, pertenecen a la gama de alta producción en minería: por lo que un incremento pequeño de la disponibilidad, representa una mejora de la productividad de la maquinaria. Así mismo, evidencia que el metrado realizado en la empresa fue acertado en cuanto a los tiempos establecidos para las tareas de mantenimiento.

No obstante existen maquinas que no mejoraron, por lo que es necesario una reestructuración en sus tiempos de ejecución de mantenimiento. Las mejoras

evidenciadas implican el incremento de la producción de la empresa, con la misma cantidad de recursos.

En consecuencia los resultados obtenidos producto de la investigación, demuestran que el metrado de las tareas de mantenimiento mejora efectivamente la disponibilidad de los equipos de la flota auxiliar de la empresa Antamina.

En consecuencia se acepta la hipótesis planteada, ya que con el análisis de las tareas de mantenimiento a la flota auxiliar, se demuestra que existe un incremento de la disponibilidad mecánica de los equipos, lo que traduce en más horas disponibles para detenciones.

## CAPÍTULO V

### PROPUESTA DE MEJORA

El análisis del metrado de las tareas de mantenimiento preventivo en la Compañía Minera Antamina - Perú, 2019, evidencio la existencia de equipos auxiliares que no mejoraron su disponibilidad mecánica. Por lo que la propuesta de mejora se centra en plantear un diagrama de bloques que mejore la gestión y desarrollo de las tareas de mantenimiento a fin de mejorar la productividad total de la flota auxiliar.

Los resultados obtenidos en el Capítulo IV, muestran que 4 equipos son los causantes de no lograr una mejora global de los equipos de la Compañía Antamina, siendo su estado el que se muestra a continuación:

Tabla 7.  
Comparativa de la disponibilidad de la flota auxiliar sin mejora

<b>EQUIPO</b>	<b>DISPONIBILIDAD ANTES</b>	<b>DISPONIBILIDAD DESPUES</b>	<b>VAR. DE DISPONIBILIDAD</b>	<b>INCREMENTO NOMINAL</b>
994F	75.70%	68.67%	-10.24%	-0.070
D10R	89.83%	89.57%	-0.29%	-0.003
24M	79.06%	75.42%	-4.83%	-0.036
854K	87.65%	78.51%	-11.64%	-0.091
<b>PROMEDIO</b>			<b>-6.75%</b>	

La tabla 5, muestra que en promedio las maquinas que no presentaron mejoras producto del metrado de las tareas ocasionan una disminución de la disponibilidad de la flota auxiliar de -6.75%; al tratarse de maquinaria de alta gama en productividad minera, significan una baja significativa de la productividad.

Así mismo, es necesario recalcar que dentro del metrado de las tareas de mantenimiento para la flota auxiliar, no existe un procedimiento establecido para mantener de forma óptima las tareas de mantenimiento preventivo, por tanto es uno de los puntos críticos que afectan a las máquinas que no favorecen a la mejora de la disponibilidad.

## **7.1. Construcción**

La propuesta de mejora, se encuentra enfocada a contribuir a la mejora global de la disponibilidad mecánica de la Flota auxiliar de la Compañía Minera Antamina, mediante la implementación de fichas detalladas para la detección temprana de corrección de mantenimiento a los equipos. Asimismo, la propuesta incluye la reconstrucción de Diagramas de Bloque más detalladas para los equipos críticos detectados.

### **7.1.1. Objetivo**

Incrementar la disponibilidad mecánica de los 4 equipos críticos pertenecientes a la flota auxiliar de la Compañía Minera Antamina.

### **7.1.2. Instrumentos**

#### **Ficha técnica**

El uso de fichas técnicas permitirá tener un histórico de los mantenimientos y cambios realizados en cada maquinaria, así como la periodicidad de cada uno de ellos. Su uso correcto y continuo permitirá que la empresa tome decisiones oportunas acerca de las acciones correctivas referentes a cada equipo, de forma personalizada.

Se propone el siguiente modelo de Ficha, en donde registra el tipo de maquinaria a evaluar, el estado técnico de sus funciones principales, número de inspección realizada. Dicho formato puede ser actualizado de acuerdo a los nuevos requerimientos de la máquina evaluada, o nuevas necesidades del

personal, por lo que se convierte en una herramienta funcional para evaluar el estado actual de la maquinaria.

Figura 27.

Ficha de Estado Técnico de Maquinaria

COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA AREA : FLOTA AUXILIAR		FICHA DE ESTADO TECNICO DE MAQUINARIA			
MARCA	MODELO	UBICACIÓN	N° DE SERIE	FECHA INICIAL	FECHA TERMINO
CARACTERISTICAS				FOTO DE LA MAQUINARIA	
MAQUINA		MOTOR			
MODELO		MODELO			
SERIE		SERIE			
OPERATIVIDAD		MANTENIMIENTO			
ESTADO TECNICO					
	OBSOLETO	MALO	REGULAR	BUENO	
Motor Diesel					
Bastidor					
Herramienta de Trabajo					
Tren de Rodaje					
Tren de Fuerza					
Sistema de admision y escape					
Sistema de alimentacion					
Sistema de refrigeracion					
Sistema de lubricacion					
Sistema Hidraulico					
<b>CONCLUSION</b>	<b>EXCELENTE</b>	<b>BUENO</b>	<b>REGULAR</b>	<b>MALO</b>	

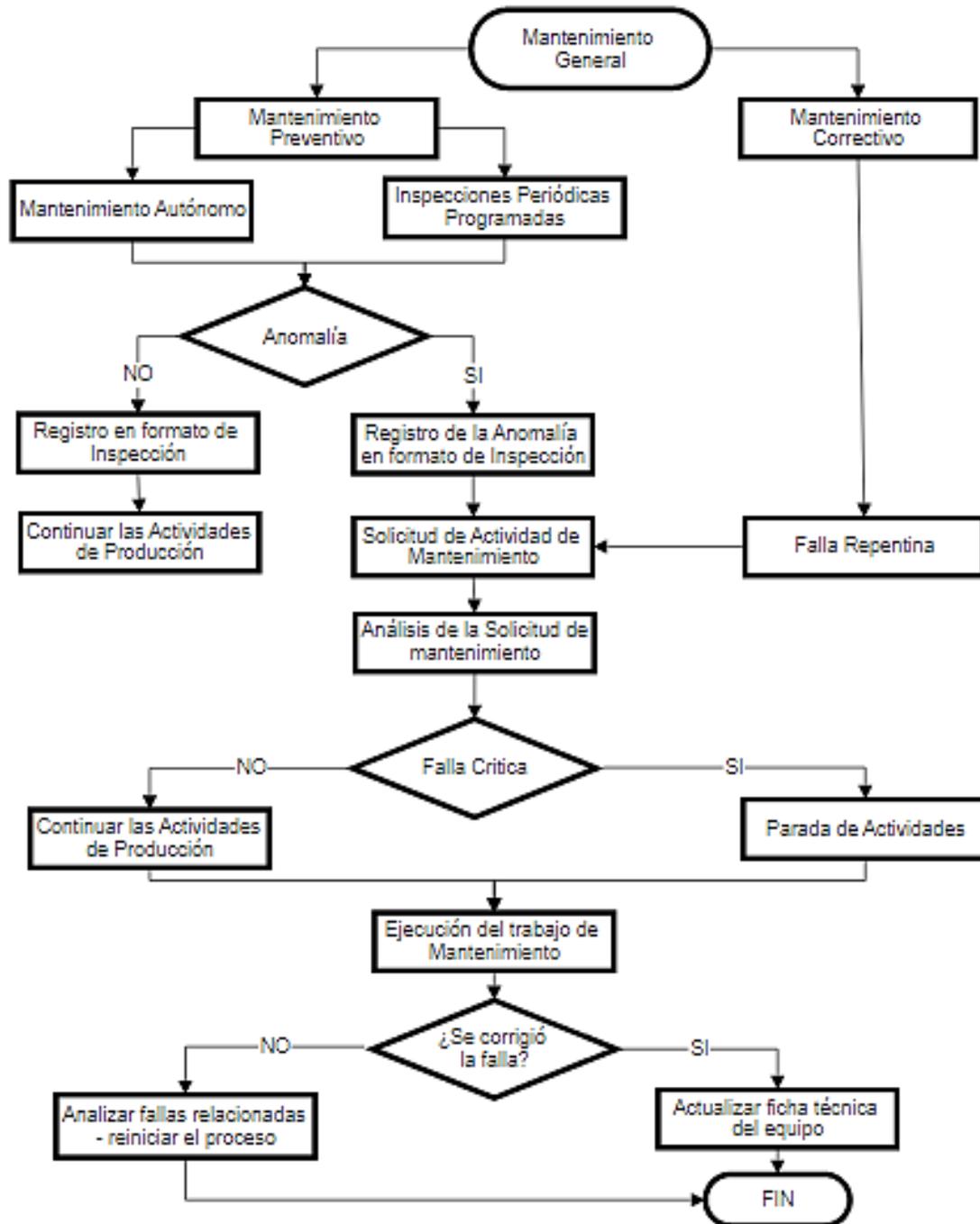
La imagen muestra el modelo de Ficha de Técnica de mantenimiento a utilizar de forma periódica para detectar posibles fallos en la maquinaria y realizar oportunamente las tareas de mantenimiento preventivo en las maquinarias sin mejora de disponibilidad.

## FLUJOGRAMA

Así mismo se propone la reestructuración en el diagrama de bloques para cada maquinaria crítica, los cuales se muestran a continuación:

Figura 28.

Propuesta de Flujograma del Proceso general de Mantenimiento



El flujograma anterior, ilustra detalladamente el correcto procedimiento a seguir para el área de mantenimiento de la Flota auxiliar, contemplando las posibles situaciones a presentarse durante el desarrollo de actividades de mantenimiento.

Además incluye un reinicio del procesos de evaluación de fallas en caso el punto crítico detectado inicialmente, no logre corregir la falla de la maquinaria, por lo que es necesaria una reevaluación profunda de la maquinaria.

## **7.2. Pruebas y resultados**

La implementación de un nuevo procedimiento para las actividades de mantenimiento que incluye el llenado constante de fichas técnicas, permitió detectar fallas que antes no fueron previstas, las cuales causaban la disminución de la disponibilidad mecánica de la maquinaria crítica, las cuales se muestran a continuación:

Figura 29.

Ficha de Estado Técnico equipo 994F

COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA AREA: FLOTA AUXILIAR		FICHA DE ESTADO TECNICO DE MAQUINARIA			
MARCA	MODELO	UBICACIÓN	N° DE SERIE	FECHA INICIAL	FECHA TERMINO
CAT	994F	Flota auxiliar	44200245	01/11/2019	30/11/2019
CARACTERISTICAS					
MAQUINA		MOTOR			
MODELO	994F	MODELO	3516B HD EUI		
SERIE	44200245	SERIE	-		
OPERATIVIDAD	0.6867	MANTENIMIENTO	NO		
ESTADO TECNICO					
	OBSOLETO	MALO	REGULAR	BUENO	
Motor Diesel			X		
Herramienta de Trabajo			X		
Tren de Rodaje					X
Tren de Fuerza					X
Sistema de adminision y escape			X		
Sistema de Alimentacion					X
Sistema de refrigeracion					X
Sistema de lubricacion			X		
Sistema hidraulizo			X		
CONCLUSION	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO	

Figura 30.  
Ficha de Estado Técnico equipo D10R

COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA AREA: FLOTA AUXILIAR		FICHA DE ESTADO TECNICO DE MAQUINARIA			
MARCA	MODELO	UBICACIÓN	N° DE SERIE	FECHA INICIAL	FECHA TERMINO
CAT	D10R	Flota auxiliar	3KR75006	01/11/2019	30/11/2019
CARACTERISTICAS					
MAQUINA		MOTOR			
MODELO	994F	MODELO	3412E		
SERIE	3KR75006	SERIE	-		
OPERATIVIDAD	89.57%	MANTENIMIENTO	SI		
ESTADO TECNICO					
	OBSOLETO	MALO	REGULAR	BUENO	
Motor Diesel				X	
Herramienta de Trabajo			X		
Tren de Rodaje			X		
Tren de Fuerza			X		
Sistema de adminision y escape				X	
Sistema de Alimentacion			X		
Sistema de refrigeracion				X	
Sistema de lubricacion				X	
Sistema hidraulizo				X	
CONCLUSION	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO	

Figura 31.

Ficha de Estado Técnico equipo 24M

COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA AREA: FLOTA AUXILIAR		FICHA DE ESTADO TECNICO DE MAQUINARIA			
MARCA	MODELO	UBICACIÓN	N° DE SERIE	FECHA INICIAL	FECHA TERMINO
CAT	24M	Flota auxiliar	3KR75006	01/11/2019	30/11/2019
CARACTERISTICAS					
MAQUINA		MOTOR			
MODELO	24M	MODELO	C18 ACERT		
SERIE	M	SERIE	-		
OPERATIVIDAD	75.42%	MANTENIMIENTO	NO		
ESTADO TECNICO					
		OBSOLETO	MALO	REGULAR	BUENO
Motor Diesel					X
Herramienta de Trabajo				X	
Tren de Rodaje				X	
Tren de Fuerza					X
Sistema de admision y escape					X
Sistema de Alimentacion				X	
Sistema de refrigeracion					X
Sistema de lubricacion					X
Sistema hidraulizo			X		
CONCLUSION		EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO

Figura 32.

Ficha de Estado Técnico equipo 854K

COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA AREA: FLOTA AUXILIAR		FICHA DE ESTADO TECNICO DE MAQUINARIA			
MARCA	MODELO	UBICACIÓN	N° DE SERIE	FECHA INICIAL	FECHA TERMINO
CAT	854K	Flota auxiliar	3KR75006	01/11/2019	30/11/2019
CARACTERISTICAS					
MAQUINA		MOTOR			
MODELO	854K	MODELO	C32A		
SERIE	H9K	SERIE	-		
OPERATIVIDAD	78.51%	MANTENIMIENTO	NO		
ESTADO TECNICO					
		OBSOLETO	MALO	REGULAR	BUENO
Motor Diesel					X
Herramienta de Trabajo					X
Tren de Rodaje					X
Tren de Fuerza				X	
Sistema de admision y escape				X	
Sistema de Alimentacion				X	
Sistema de refrigeracion				X	
Sistema de lubricacion			X		
Sistema hidraulizo				X	
CONCLUSION		EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO

La realización del procedimiento de llenado de las fichas técnicas, permitió determinar las fallas específicas de las maquinarias críticas así como el estado actual de la maquinaria. En general las 4 maquinarias se encuentran en estado REGULAR, siendo los principales problemas más recurrentes fallas en los sistemas internos de alimentación, refrigeración, lubricación e hidráulicos.

De acuerdo a las fichas técnicas se realizaron las respectivas tareas de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los 4 equipos estudiados siendo los resultados como se muestran a continuación:

Tabla 8.

Comparativa de la disponibilidad de la flota auxiliar sin mejora

EQUIPO	DISPONIBILIDAD	DISPONIBILIDAD	DISPONIBILIDAD
	ANTES	DESPUES	con propuesta
994F	75.70%	68.67%	86.30%
D10R	89.83%	89.57%	97.02%
24M	79.06%	75.42%	87.76%
854K	87.65%	78.51%	95.54%

Se evidencia una mejora significativa de la disponibilidad de la flota auxiliar, tanto en comparación con el metrado de las tareas de mantenimiento, como con el periodo inicial. En consecuencia se elimina la existencia de equipos con disponibilidad negativa o baja, lo cual ocasionaba problemas de disponibilidad global de la flota auxiliar.

Tabla 9.

Comparativa de la disponibilidad de la flota auxiliar sin mejora

EQUIPO	VAR. DE DISPONIBILIDAD SIN PROPUESTA	VAR. DE DISPONIBILIDAD INCREMENTO	
		CON PROPUESTA	NOMINAL
994F	-10.24%	12.28%	0.106
D10R	-0.29%	7.41%	0.072
24M	-4.83%	9.91%	0.087
854K	-11.64%	8.26%	0.079
	<b>PROMEDIO</b>	9.46%	

En la tabla anterior, muestra el incremento porcentual de la disponibilidad mecánica de la flota auxiliar dando como incremento promedio 9.46%, ya que todos presenta variación con tendencia positiva a comparación de los analizado en el Capítulo IV con el análisis del metrado de las tareas de mantenimiento.

La mejora de la disponibilidad global se muestra al incorporar los nuevos resultados al resumen general de disponibilidad de la flota auxiliar de la Compañía Minera Antamina.

Tabla 10.

Comparativa de la disponibilidad de la flota auxiliar con propuesta

<b>EQUIPO</b>	<b>DISPONIBILIDAD ANTES</b>	<b>DISPONIBILIDAD DESPUES</b>	<b>VAR. DE DISPONIBILIDAD</b>	<b>INCREMENTO NOMINAL</b>
994F	75.70%	86.30%	12.28%	0.106
CAT385LC	73.40%	95.10%	22.82%	0.217
ROC L8	69.48%	79.54%	12.65%	0.101
D75KS	71.62%	91.34%	21.59%	0.197
EPIROC D65	89.70%	100.00%	10.30%	0.103
D10R	89.83%	97.02%	7.41%	0.072
D10T	98.48%	100.00%	1.52%	0.015
D11R	85.52%	98.49%	13.17%	0.130
D11T	85.52%	85.81%	0.34%	0.003
24H	60.59%	96.79%	37.40%	0.362
24M	79.06%	87.76%	9.91%	0.087
854G	31.05%	42.21%	26.44%	0.112
854K	87.65%	95.54%	8.26%	0.079
D475	84.43%	100.00%	15.57%	0.156
WD900	86.97%	100.00%	13.03%	0.130
CAT339D	94.15%	100.00%	5.85%	0.059
	<b>PROMEDIO</b>		<b>13.66%</b>	

Como resultado de la propuesta de mejora, se obtiene un incremento global de la disponibilidad del 4.8% al 13.66%, evidenciando la viabilidad de la incorporación de un procedimiento establecido en el flujograma de mantenimiento y el uso de Fichas técnicas para la óptima detección de fallas en el equipo de la flota auxiliar.

## CONCLUSIONES

- Luego de realizar el análisis de tiempos de mantenimiento preventivo aplicando tiempos de reparación y control de actividades en equipos auxiliares, se evidenció una mejora en el tiempo de horas restantes para detenciones, las cuales suman un total de 3132.4 horas adicionales.
- Comparar la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares.
- Se determinó la disponibilidad mecánica para cada uno de los equipos de la flota auxiliar de la empresa Antamina, siendo estos: 994F (68.67%), CAT385LC (95.10%), ROC L8 (79.54%), D75KS (91.34%), EPIROC D65 (100.00%), D10R (89.57%), D10T (100.00%), D11R (98.49%), D11T (85.81%), 24H (96.79%), 24M (75.42%), 854G (42.21%), 854K (78.51%), D475 (100.00%), WD900 (100.00%), CAT339D (100.00%), lo cual dio una disponibilidad global de la flota auxiliar del 4.8%.
- La comparación de la disponibilidad mecánica de los equipos auxiliares, evidenció una mejora global de 13.66% en los equipos de la flota auxiliar siendo los más relevantes el Caterpillar 24H con una mejora del 37.4%, la Perforadora Hidráulica D75KS con incremento de 21.59% y el Caterpillar CAT835LC con mejora del 22.82%.
- La propuesta de mejora logró incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de la flota auxiliar críticos a 9.46%, mejorando la disponibilidad global de 4.8% a 13.66%.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALTAMIRANO, Yosan.(2016) Plan de gestión de mantenimiento preventivo para mejora de la productividad en la empresa NAYLAMP –Chiclayo Universidad Seño de Sipan. 2016. Tesis de Grado.
- ARELLANO, L. (2003) Diseño de un sistema de mantenimiento preventivo para la mejora de disponibilidad en equipos electricos.
- BERNAL, Cesar. (2010) Metodología de la Investigación. Colombia : Pearson Educación.
- BOUCLY, Francis. (1998) Gestion del mantenimiento. s.l. : AENOR.
- CASTILLO,(2004) W. La Funcion del Mantenimiento Industrial.
- CEPAL.(2018) Panorama Social de América Latina 2017. s.l. : SantiagoCEPAL.
- CÉSPEDES, G. (1999) Pedro Metodologias para medir la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento. 8 a. ed. Medellin: Universidad EAFIT,. 100P
- DIAZ, Carlos. (2012) Ingeniería y Gerencia para el siglo XXI. Método de las 5 M. Ingeniería y Gerencia XXI. [En línea] .  
<http://ingenieriygerenciaxxi.blogspot.com/2012/07/metodo-de-las-5-m.html>.
- DÍAZ, Miguel Angel.(2014) Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la aquinaria pesada de la empresa Equipos Técnicos de Colombia ETECOL SAS. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia : s.n.. Tesis de Grado.
- ESPINOZA, Marco Antonio.(2018) “Mejora del Plan de Mantenimiento Preventivo para Incrementar la Disponibilidad de los Buses de la Empresa de Transporte Allin Group Javier Prado S.A. Concesionaria de los Corredores Complementarios de la Municipalidad de Lima”. Universidad Tecnologica del Peru. . Tesis de Grado.
- GALVEZ, Cindy y Mescua, Raul.(2016) Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de

carretera en una mina de tajo abierto. universidad peruana de ciencias aplicadas. Lima : s.n.

GARCIA, Henry Homero y Yarleque Olaya, Victor Alonso.(2018) Diseño de un plan integral de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Inversiones Oberti S.R.L – Piura. Universidad Nacional de Piura.. Tesis de Grado.

GARCÍA, Santiago. (2016) Reportero Industrial. Mantenimiento 3.0. [En línea]. <http://www.reporteroindustrial.com/blogs/Los-principales-objetivos-del-mantenimiento+114923>.

JIMÉNEZ, Karli y Milano, Teddy. (2006) Planificación y gestión del mantenimiento industrial. Un enfoque estratégico y operativo. Venezuela : Panapo.

MORA, A.(2005) Mantenimiento Industrial Efectivo. .

PACHECO, Maria Elena.(2005) Plan de Mantenimiento preventivo para los procesos de trituracion y molienda de la planta de beneficio Maria Dama Frontino Gold Mines. Universidad Industrial de Santander. Tesis de Grado.

REY, F. (2001) Manual del mantenimiento integral en la empresa. España : Fundación Confemetal.

[https://www.mantenimientosbdbn.com/?gclid=Cj0KCQiA89zvBRDoARIsAOlePbBjXvL4W3pZSle4ko9uvJTYDnRlStd62A1CQqVGRk1SQ2sryNOa6fYaAmzbEALw\\_wcB](https://www.mantenimientosbdbn.com/?gclid=Cj0KCQiA89zvBRDoARIsAOlePbBjXvL4W3pZSle4ko9uvJTYDnRlStd62A1CQqVGRk1SQ2sryNOa6fYaAmzbEALw_wcB)

TAMARIZ, Moises.(2014) Diseño de plan de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos móviles y fijos de la empresa de Mirasol S.A. Ecuador : s.n.

VALDERRAMA , Santiago. Pasos para elaborar Proyectos de Investigación Científica: Cuantitativa, Cualitativa y Mixta. Lima : San Marcos de Aníbal Jesús Paredes Galván, 2015.

VASQUEZ, Oscar Arturo.(2016) “Propuesta de un plan de mantenimiento total para incrementar disponibilidad de la maquinaria pesada en Municipalidad Provincial Cajamarca”. Universidad Cesar Vallejo.. Tesis de Grado.

VILLEGAS , Juan Carlos.(2016) “Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa “manfer s.r.l. contratistas generales”Arequipa”. Universidad Católica San Pablo. Arequipa : s.n. Tesis de grado.

<http://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/UCSP/15234>

## ANEXO 01

### ENTREVISTA

OBJETIVO: Diagnosticar la situación actual del mantenimiento preventivo en las máquinas y equipos que intervienen en la producción.

EMPRESA : ANTAMINA

CARGO: Encargado de mantenimiento

#### PREGUNTAS

1. ¿Cuánto tiempo tiene laborando en el área de mantenimiento?  
\_\_\_\_\_
2. ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza en esta área y cada qué tiempo?  
\_\_\_\_\_
3. ¿Qué funciones realiza Ud. con mayor frecuencia?  
\_\_\_\_\_
5. ¿Los repuestos para dichas máquinas se encuentran en almacén?  
\_\_\_\_\_
6. ¿Qué tiempo demora la adquisición después que usted hace un requerimiento de repuestos?  
\_\_\_\_\_
7. ¿Cada qué tiempo se producen paradas de máquinas que detienen el proceso de producción?  
\_\_\_\_\_
8. ¿Qué tiempo promedio se demora en arreglar una máquina?  
\_\_\_\_\_
9. ¿Usted considera que el tiempo que se le asigna para reparar dichas máquinas es el correcto?  
\_\_\_\_\_
10. ¿Le parece a Ud. que el personal existente en su área es suficiente?  
\_\_\_\_\_
11. ¿Tiene un registro del mantenimiento?  
\_\_\_\_\_