

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE MANTENIMIENTOS  
PREVENTIVOS PARA INCREMENTAR LA  
DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LA  
FLOTA DE CAMIONES 777F CAT  
DE LA COMPAÑÍA MINERA  
MINSUR EN PUCAMARCA**

**TESIS**

Presentada por:

Bach. Jhony Ronald Huayhua Vilca

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO MECÁNICO**

TACNA – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA


Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE MANTENIMIENTOS  
PREVENTIVOS PARA INCREMENTAR LA  
DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LA  
FLOTA DE CAMIONES 777F CAT  
DE LA COMPAÑÍA MINERA  
MINSUR EN PUCAMARCA**

Tesis sustentada por el Bachiller JHONY RONALD HUAYHUA VILCA,  
aprobada el 24 de Noviembre del 2017, el jurado calificador estuvo conformado  
por:

PRESIDENTE

  
.....  
Mgr. Edgardo Teófilo, VALDEZ CORTIJO

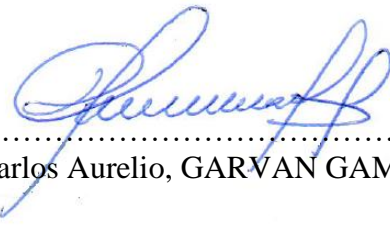
SECRETARIO

  
.....  
Ing. Víctor Juan, MALPARTIDA ARRIETA

VOCAL

  
.....  
Ing. Daniel, CARDENAS GARCÍA

ASESOR

  
.....  
Mgr. Carlos Aurelio, GARVAN GAMARRA

*Dedico este trabajo a DIOS, quien me ha iluminado y bendecido mi vida. “El señor es mi pastor y nada me faltará” (Salmo 23:1).*

*A mis padres Fidel y Susana, por sobre llevar con responsabilidad y serenidad de todo lo que implica sacar a un hijo adelante, por el sacrificio diario, por sus consejos, por la orientación y por la constancia incansable en mi formación personal y profesional.*

*A mi querida esposa Mary Isabel, quien es el amor de mi vida, y a mis amados hijos Abdiel y Dayana, quienes son el centro de mi corazón.*

Agradezco a todos los ingenieros de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA, por su apoyo incondicional para el desarrollo profesional de mi vida.

A los ingenieros de la compañía minera MINSUR en Pucamarca, del área de mantenimiento, por brindarme la oportunidad de pertenecer a una gran familia, por transmitirme sus conocimientos y experiencias.

Muchas gracias a todos.

## **CONTENIDO**

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	iii
<b>AGRADECIMIENTO</b>	iv
<b>CONTENIDO</b>	v
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	xiv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	xvii
<b>RESUMEN</b>	xx
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1 Descripción del problema	5
1.2 Delimitación del problema	8
1.3 Planteamiento del problema	8
1.4 Justificación del problema	9
1.4.1 Desde el punto de vista estratégico	9

1.4.2 Desde el punto de vista económico	9
1.5 Objetivos de la investigación	9
1.5.1 Objetivo general	9
1.5.2 Objetivos específicos	9
1.6 Problemática	10
1.6.1 Problema general	10
1.6.2 Problemas específicos	10
1.7 Hipótesis	11
1.7.1 Hipótesis general	11
1.7.2 Hipótesis específicos	11
1.8 Variables	12
1.9 Operacionalización de variables	12
1.10 Tipo de investigación	12
1.10.1 Por la orientación	12
1.10.2 Por el diseño	13

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

2.1 Compañía Minera MINSUR	14
2.2 Misión	15
2.3 Visión	15
2.4 Infraestructura	15
2.5 Proceso productivo	16
2.6 Camión minero 777F CAT	17
2.7 Tren de potencia 777F CAT	18
2.7.1 Motor	20
2.7.2 Convertido de par	21
2.7.3 Transmisión	22
2.7.4 Diferencial	24
2.7.5 Mandos finales	25
2.8 Norma SAE JA 1012	26

2.9 Evolución del mantenimiento	27
2.9.1 Primera generación	27
2.9.2 Segunda generación	27
2.9.3 Tercera generación	28
2.10 Mantenimiento preventivo	30
2.10.1 Ventajas	31
2.10.2 Desventajas	32
2.11 Mantenimiento programado	32
2.11.1 Objetivos de la programación	33
2.11.2 Proceso de programación	34
2.12 Mantenimiento predictivo	35
2.13 Mantenimiento por oportunidad	35
2.14 Planeación	36
2.14.1 Niveles de planeación	37
2.14.2 Clasificación de la planeación	37
2.15 Gestión estratégica de mantenimiento	38

2.15.1 Estructura del proceso estratégico	40
2.16 Indicadores de gestión KPI	41
2.16.1 Disponibilidad mecánica	41
2.16.2 Disponibilidad mecánica planificada	43
2.17 Costos de operación OPEX	43
2.17.1 Costos fijos	44
2.17.2 Costos variables	44
2.17.3 Costos financieros	45
2.17.4 Costos de fallo	45

### **CAPÍTULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

3.1 Herramienta analítica FODA	47
3.1.1 Análisis de ponderación	47
3.1.2 Identificación de criterio para el análisis	48

3.1.3 Condiciones de actuación	48
3.1.4 Asignación de ponderación	50
3.1.5 Balance estratégico	50
3.1.6 Estadísticos y síntesis	51
3.2 Estudio basado en el tiempo	52
3.3 Proceso de programación de mantenimiento	53
3.4 Diagramas Gantt de mantenimiento	54
3.5 Proyección de costos de operación	55
3.6 Prueba de los signos	56

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1 Análisis FODA situacional	58
4.1.1 Condiciones de actuación iniciales	58
4.1.2 Asignación de ponderación situacional inicial	59

4.1.3 Balance estratégico situacional inicial	62
4.1.4 Presentación de estadísticos y síntesis	65
4.2 Estudio de tiempos aplicados a la flota 777F CAT	76
4.2.1 Selección de procesos	76
4.2.2 Clasificación de actividades en elementos	77
4.2.3 Observación del proceso	79
4.2.4 Estándares de tiempos	80
4.3 Gestión estratégica de mantenimiento 777F CAT	86
4.4 Desarrollo de diagramas Gantt 777F CAT	87
4.4.1 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-01	88
4.4.2 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-02	88
4.4.3 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-03	88
4.4.4 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-04	89
4.4.5 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-05	89
4.4.6 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-06	89
4.4.7 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-07	89

4.4.8 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-08	90
4.5 Análisis de tiempos preventivos	90
4.6 Cálculo del OPEX (accesorios y lubricantes)	91
4.6.1 Cálculo del Rend-Hr	91
4.6.2 Cálculo del Intervalo por PM	92
4.6.3 Costos unitarios de recursos	93
4.6.4 Proyección de costos a mediano plazo	95
4.6.5 Costo total de la flota 777F CAT	96
4.7 Condición final de análisis FODA	98
4.7.1 Análisis final de fortalezas	98
4.7.2 Análisis final de oportunidades	101
4.7.3 Análisis final de debilidades	104
4.7.4 Análisis final de amenazas	107
4.8 Balance estratégico situacional final	109
4.9 Validación de hipótesis	111
4.9.1 Prueba de signos aplicado al tiempo	112

4.9.2 Prueba de signos aplicado a la disponibilidad	113
<b>CONCLUSIONES</b>	116
<b>RECOMENDACIONES</b>	118
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	120
<b>ANEXOS</b>	123

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuantificación de estrategias iniciales 777F CAT	6
Tabla 2. Operacionalización de variables	12
Tabla 3. Componentes del tren de potencia 777F CAT	20
Tabla 4. Niveles de ponderación FODA	48
Tabla 5. Matriz analítica FODA	49
Tabla 6. Procedimiento del estudio de tiempo	53
Tabla 7. Elementos de una programación acertada	54
Tabla 8. Matriz analítica FODA situacional	59
Tabla 9. Ponderación de lista de fortalezas inicial	60
Tabla 10. Ponderación de lista de oportunidades inicial	61
Tabla 11. Ponderación de lista de debilidades inicial	61
Tabla 12. Ponderación de lista de amenazas inicial	62
Tabla 13. Resultados del FO y FR inicial	65
Tabla 14. Promedio de la DM flota 777F CAT	70

Tabla 15. Clasificación de procesos para PM	76
Tabla 16. Clasificación del pre-mantenimiento	77
Tabla 17. Clasificación del mantenimiento mecánico	78
Tabla 18. Clasificación del mantenimiento eléctrico	79
Tabla 19 Cronología del pre-mantenimiento	80
Tabla 20 Cronología del mantenimiento mecánico	82
Tabla 21. Cronología del mantenimiento eléctrico	85
Tabla 22. Rend-h de flota 777F CAT	92
Tabla 23. Costos unitarios de recursos lubricantes	94
Tabla 24. Costos unitarios de recursos por accesorios	94
Tabla 25. Sub-costo total de recursos lubricantes	96
Tabla 26. Sub-costo total de recursos por accesorios	97
Tabla 27. Ponderación de lista de fortalezas final	100
Tabla 28. Promedio de la DM de flota 777F CAT final	103
Tabla 29. Ponderación de lista de oportunidades final	104
Tabla 30. Ponderación de lista de debilidades final	107
Tabla 31. Ponderación de lista de amenazas final	109

Tabla 32. Resultados del FO y FR final	110
Tabla 33. Pruebas de signos a tiempos	112
Tabla 34. Pruebas de signos a disponibilidad	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación compañía minera Minsur Pucamarca	14
Figura 2. Taller de mantenimiento truck shop	16
Figura 3. Tolva de descarga de mineral granulado	17
Figura 4. Camión minero 777F CAT	18
Figura 5. Tren de potencia 777F CAT	19
Figura 6. Motor C32 CAT	21
Figura 7. Partes de convertidor de par	22
Figura 8. Transmisión planetaria	23
Figura 9. Componente mecánico diferencial	24
Figura 10. Componente mando final	25
Figura 11. Proceso del mantenimiento según Norma SAE JA 1012	26
Figura 12. Expectativas de mantenimiento creciente	28
Figura 13. Evolución de fallas en los equipos	29
Figura 14. Ciclo del mantenimiento preventivo	31

Figura 15. Proceso de programación	33
Figura 16. Modelo de diagrama Gantt	34
Figura 17. Curva de condición P-F	35
Figura 18. Proceso de gestión estratégica de mantenimiento	40
Figura 19. Costos asociados a los niveles de mantenimiento	44
Figura 20. Estadístico del FO y FR inicial	64
Figura 21. Estadístico de ponderación de fortalezas inicial	66
Figura 22. Estadístico de ponderación de oportunidades inicial	68
Figura 23. Estadístico de ponderación de debilidades inicial	71
Figura 24. Estadístico de ponderación de amenazas inicial	74
Figura 25. Análisis estadístico de estrategias de mantenimiento	87
Tabla 26. Análisis de tiempos preventivos	91
Figura 27. Estadístico de ponderación de fortalezas final	99
Figura 28. Estadístico de ponderación de oportunidades final	101
Figura 29. Optimización de H-H vs estrategias de mantenimiento	102
Figura 30. Estadístico de ponderación de debilidades final	104

Figura 31. Optimización de tiempos vs estrategias de mantenimiento	106
Figura 32. Estadístico de ponderación de amenazas final	107
Figura 33. Estadístico del FO y FR final	110

## **RESUMEN**

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal optimizar los tiempos de mantenimientos preventivos para incrementar la disponibilidad mecánica de la flota de camiones mineros 777F CAT de la compañía minera Minsur en Pucamarca.

Partiendo de un análisis FODA, se determinaron los factores de condición situacional, identificando las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que involucran y rodean al proceso de la cronología del servicio de mantenimiento preventivo, con estas variables de análisis podremos formular propuestas de mejora para minimizar el factor de riesgo y maximizar el factor de optimización, con la finalidad de conseguir un balance estratégico factible.

Bajo un procedimiento de estudios de tiempos, se evaluaron y estandarizaron los espacios cronológicos, asimismo, la inclusión de las actividades del mantenimiento preventivo y la asignación de estas a los puestos de trabajo mecánicos y eléctricos, para todos los niveles de mantenimientos preventivos de la flota.

Con tiempos cronológicos estandarizados, se implementaron y desarrollaron diagramas Gantt aplicados al servicio del mantenimiento preventivo de la flota, determinando y evaluando las rutas en función a la criticidad de las actividades preventivas.

Se determinaron los costos operacionales (accesorios y lubricantes) a un mediano plazo, en base al rendimiento hora y al cálculo del intervalo por mantenimiento preventivo, se proyectaron y acotaron los costos respectivos, se definieron los costos unitarios, validando y asociando los recursos a cada nivel de mantenimiento preventivo (PM).

Se realizó la prueba de signos para la validación estadística de la hipótesis general, de esta manera, de tomar o rechazar la hipótesis nula con respecto a la hipótesis alternativa de cada variable.

## **INTRODUCCIÓN**

La creciente industria del sector minero en nuestro país, obliga a alcanzar una eficiencia en el acarreo de mineral, a costa de niveles óptimos de mantenimiento preventivo, del mismo modo, la presión que ejerce sobre la organización de alcanzar la mayor disponibilidad de equipo.

El área de mantenimiento ha definido una cronología uniforme de 12 horas para todos los niveles de mantenimiento preventivo, cuenta con un total de 74 estrategias solo para el puesto de trabajo mecánico. Por otro lado, los programas de mantenimiento no tienen una relación total con los recursos (accesorios y lubricantes) para el servicio, tampoco cuentan con diagramas Gantt aplicados a la flota. Finalmente, el área de mantenimiento no cuenta con un centro de costos operacionales planificados a un mediano plazo.

Se debe considerar que no todos los niveles de mantenimiento requieren el mismo espacio cronológico. Esto genera un impacto en la

disponibilidad mecánica de equipo. La falta de relación entre los recursos (accesorios y lubricantes) y los programas de mantenimiento generan dificultades tanto en el desarrollo del servicio (aplazamiento de tiempos, certeza en la sustitución de elementos y cambios de lubricantes) como el proceso de notificación. Por la inexistencia de los diagramas Gantt se origina la falta de control y supervisión del servicio de mantenimiento, la falta de un centro de costo planificado a un mediano plazo, enlazabilidad respecto a la competitividad de costos de los recursos alternativos en el mercado.

El objetivo principal es optimizar los tiempos de mantenimiento preventivos para incrementar la disponibilidad mecánica de la flota de camiones 777F CAT. Como primer objetivo específico, incrementar las estrategias de mantenimiento preventivo; segundo, implementar diagramas Gantt a todos los niveles de mantenimiento; tercero, definir y validar las capacidades de los recursos (accesorios y lubricantes) y cuarto, estimar costos operacionales planificados de recursos (accesorios y lubricantes) a un mediano plazo.

Se realiza la descripción del planteamiento del problema, exponiendo los objetivos, la problemática, las hipótesis, el tipo de investigación y el tratamiento de las variables.

Se presentan los fundamentos teóricos que involucran la investigación, desde aspectos descriptivos del equipo, el proceso de mantenimiento, principales indicadores claves de mantenimiento (KPI) y teoría de costos aplicados al proceso de mantenimiento.

Se describe el desarrollo metodológico de la investigación: primero, el proceso analítico FODA y su variable para la determinación del balance estratégico; segundo, la metodología del proceso de estudio de tiempos y parámetros para una programación acertada; tercero, la metodología para la implementación de los diagramas Gantt de mantenimientos y cuarto, la metodología para la proyección y estimación de costos operacionales de recursos (accesorios y lubricantes) a un mediano plazo.

Se presenta el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de la investigación: el análisis del balance estratégico situacional final, la presentación del estudio de tiempos aplicados al mantenimiento preventivo de la flota y determinación de las actividades para inclusión, el resultado de

la implementación de los diagramas Gantt, el resultado del cálculo de los costos operacionales de los recursos (accesorios y lubricantes) a mediano plazo y el resultado del incremento de la disponibilidad mecánica por efecto de la optimización de los tiempos de mantenimientos preventivos.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

En la actualidad, la compañía minera Minsur en Pucamarca cuenta con una flota de seis camiones mineros 777F CAT<sup>1</sup>, destinados para el traslado del mineral explotado desde el cerro Checocollo hasta el área de trituración, para luego movilizar el mineral granulado hacia las áreas de lixiviación. El área encargada de la flota para su mantenimiento preventivo es el área de mantenimiento.

Durante la implementación del proceso de gestión estratégica de mantenimiento de la flota, se generaron hojas de rutas y estrategias basadas inicialmente en las recomendaciones del fabricante, siendo esta información limitada para el desarrollo del servicio. En la actualidad, solo se tiene actividades para el puesto de trabajo TECMEC<sup>2</sup>, no se registran actividades para el puesto de trabajo TECELE<sup>3</sup>, asimismo, no se cuentan con actividades del pre-mantenimiento.

---

<sup>1</sup> CAT: Marca Caterpillar.

<sup>2</sup> TECMEC: Puesto de trabajo mecánico.

<sup>3</sup> TECELE: Puesto de trabajo eléctrico.

Durante la ejecución del proceso se produjeron mantenimientos a quiebre, debido a las actividades ocultas basadas en su contexto operacional, perjudicando la disponibilidad mecánica de la flota de camiones.

Tabla 1

*Cuantificación de estrategias iniciales 777F CAT*

<b>Puesto de trabajo</b>	<b>Actividades</b>
TECMEC	74,0
TECELE	0,0

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

Se dio inicio a planes y programas de mantenimiento con una cronología uniforme de 12 horas para cada PM<sup>4</sup> correspondiente, sin considerar los espacios cronológicos variables en función a la demanda de las actividades de mantenimiento. Los tiempos implementados inicialmente, para la flota de camiones, no representan un valor considerable; por otro lado, el área de mantenimiento no cuenta con diagramas Gantt aplicados al proceso, sin poder realizar un análisis espacial y cuantificador cronológico del servicio; como consecuencia, limita la capacidad de evaluar tiempos de mantenimientos preventivos. Cuando

---

<sup>4</sup> PM: Mantenimiento preventivo.

el equipo se interna para su mantenimiento (proceso de lavado y protección de zona críticas) antes de iniciar su mantenimiento preventivo respectivo, se extiende el tiempo innecesariamente por la falta de capacitación, se ha registrado un tiempo máximo de 2,1 horas. Tampoco se registran y no se consideran los espacios cronológicos aplicados al proceso de gestión de seguridad e impacto ambiental que se produce durante el mantenimiento de la flota.

Otro factor asociado al aplazamiento de tiempos de servicio es la gestión y control de los recursos consumibles (accesorios y lubricantes) para los mantenimientos. Se tiene un almacén por consignación, el cual se encarga de la disponibilidad de los recursos. Al finalizar el servicio, se realiza el proceso de facturación. Dentro del proceso de programación del mantenimiento, se generan OT<sup>5</sup> sin considerar los recursos, esto genera la falta de control del proceso administrativo. Por otro lado, el área de mantenimiento no cuenta con un OPEX<sup>6</sup> planificado de los recursos consumibles, por lo tanto no se puede realizar una proyección y estimar costos anuales preventivos; así el área se encuentra sin la capacidad de competir estratégicamente en el mercado.

---

<sup>5</sup> OT: Orden de trabajo.

<sup>6</sup> OPEX: "Operating expense" Costos operacionales para la permanencia del funcionamiento de equipo.

## **1.2 Delimitación del problema**

La investigación se llevó a cabo en la empresa minera Minsur en Pucamarca, ubicada cerca al hito 52 de la frontera Perú – Chile, perteneciente a la comunidad del Vilavilani, en el distrito de Palca y departamento de Tacna. La flota de camiones mineros 777F CAT fueron los objetos de estudio con la finalidad de incrementar la disponibilidad mecánica de equipo.

## **1.3 Planteamiento del problema**

¿Con la propuesta de optimización de tiempos de mantenimientos preventivos, se logrará incrementar la disponibilidad mecánica de la flota de camiones 777F CAT de la compañía minera Minsur en Pucamarca?

## **1.4 Justificación del problema**

### **1.4.1 Desde el punto de vista estratégico**

Incrementar la disponibilidad mecánica de equipo.

### **1.4.2 Desde el punto de vista económico**

Acotar eficientemente costos de operación de recursos (accesorios y lubricantes).

## **1.5 Objetivos de la investigación**

### **1.5.1 Objetivo general**

Incrementar la disponibilidad mecánica de la flota de camiones 777F CAT, en base a la optimización de tiempos de mantenimiento preventivos de la compañía minera Minsur en Pucamarca.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Incrementar el BE<sub>F</sub><sup>7</sup> situacional final.
- Incrementar las estrategias del mantenimiento preventivo.
- Implementar diagramas Gantt en todos los niveles de mantenimiento.

---

<sup>7</sup> BE<sub>F</sub>: Balance estratégico final.

- ) Consolidar capacidades de recursos (accesorios y lubricantes).
- ) Estimar los OPEX planificados a mediano plazo de recursos (accesorios y lubricantes).

## **1.6 Problemática**

### **1.10.1 Problema general**

La flota de camiones 777F CAT presenta un impacto negativo en la disponibilidad mecánica considerable, debido a intervalos cronológicos de aplazamientos innecesarios.

### **1.10.2 Problemas específicos**

- ) El BE<sup>8</sup> situacional inicial tiene un valor negativo del -7,20 %.
- ) Estrategias de mantenimiento solo en base a las recomendaciones del fabricante.
- ) Falta de diagramas Gantt a niveles de mantenimiento.
- ) Falta de alcance a capacidades de recursos (accesorios y lubricantes).
- ) Falta de un presupuesto planificado OPEX a mediano plazo.

---

<sup>8</sup> BE: Balance estratégico inicial.

## **1.7 Hipótesis**

### **1.7.1 Hipótesis general**

Con la propuesta de optimización de tiempos de mantenimiento preventivos, se logrará incrementar la disponibilidad mecánica de la flota de camiones mineros 777F CAT de la compañía minera Minsur en Pucamarca.

### **1.7.2 Hipótesis específicos**

- Se incrementará el  $BE_F$  situacional final, en base al análisis FODA<sup>9</sup> final propuesto.
- Se incrementarán las estrategias de mantenimiento, en base a su desarrollo del contexto operacional y registro de fallas en la flota.
- Se implementarán diagramas Gantt, en base al nuevo estudio de tiempos propuestos.
- Se logrará definir capacidades de recursos (accesorios y lubricantes), en base a la nueva formulación de actividades preventivas.
- Se podrá estimar los OPEX planificados a mediano plazo de recursos (accesorios y lubricantes), en base al registro del Rend-h<sup>10</sup> del equipo.

---

<sup>9</sup> FODA: Herramienta de planeación estratégica de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

<sup>10</sup> Rend-h: Rendimiento por hora de equipo en operación.

## 1.8 Variables

- Variable independiente: Tiempos de mantenimientos preventivos.
- Variable dependiente: Disponibilidad mecánica.

## 1.9 Operacionalización de variables

A continuación, se muestra la operacionalización de las variables propuestas para análisis.

Tabla 2

### *Operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Und. Med</b>
Tiempos de mantenimientos preventivos.	Tiempo programado para servicio.	Semanal	Frecuencia mínima cada 250 h	h
Disponibilidad mecánica.	Condición final de operación.	Mensual	$DM = \frac{HOP - (HPM + HNMP)}{HOP} \%$	%

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

## 1.10 Tipo de investigación

### 1.10.1 Por la orientación

Aplicada.

### **1.10.2 Por el diseño**

No experimental.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Compañía minera Minsur

La compañía minera está ubicada cerca al hito 52 de la frontera Perú-Chile, formado por el límite oriental de la compañía. La superficie de la zona minera pertenece a la comunidad de Vilavilani, distrito de Palca y departamento de Tacna. La zona del tajo de explotación se encuentra en el cerro llamado Checocollo.



Figura 1. Ubicación compañía minera Minsur Pucamarca  
Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

## **2.2 Misión**

Generar valor transformando recursos minerales de manera sostenible.

## **2.3 Visión**

Desarrollar y operar activos mineros de clase mundial, siendo un referente en términos de seguridad, eficiencia operacional, responsabilidad socio ambiental y desarrollo de personas en todos los países donde operamos.

## **2.4 Infraestructura**

La compañía minera, cuenta con un taller denominado Truck Shop<sup>11</sup>, escenario donde se desarrollan las actividades de mantenimiento correspondiente a la flota de camiones 777F CAT, con una capacidad de poder internar dos camiones simultáneamente para servicio. Además, el taller está equipado con equipos auxiliares (puentes grúas de gran tonelaje, tecles móviles, etc.) y herramientas para el soporte del mantenimiento.

---

<sup>11</sup> Truck Shop: Taller de camiones (mantenimiento).



Figura 2. Taller de mantenimiento truck shop  
Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

## 2.5 Proceso productivo

En inicio de la producción, comienza en el tajo abierto Checocollo. Una vez explotado el mineral, este es acarreado por una flota auxiliar (tractores sobre orugas, tractor sobre ruedas y cargadores frontales) para el carguío hacia las tolvas de la flota de camiones mineros 777F CAT, trasladando el mineral hacia el área de chancado. Luego de pasar por un proceso de trituración, el mineral granulado es trasladado por bandas transportadoras hacia la tolva de mineral, donde mediante compuertas de cargas hidráulicas, abastecen a las tolvas de los camiones, para finalmente llevar el mineral hacia el pad de lixiviación, en donde otra flota de tractores apilan el mineral uniformemente para su proceso de lixiviación.



Figura 3. Tolva de descarga de mineral granulado  
Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015

## **2.6 Camión minero 777F CAT**

Diseñado para el acarreo de alta producción y bajo costo por tonelada en aplicaciones de minería. Ofrece una operación confiable de larga duración y una robusta construcción, con un servicio sostenible para el mantenimiento, modelo de motor C32 y con una potencia bruta de 1 016,0 Hp, con una capacidad de carga de 90,7 toneladas, peso de equipo 163 293,0 Kg. La organización cuenta con seis unidades.



Figura 4. Camión minero 777F CAT  
Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015

## 2.7 Tren de potencia 777F CAT

El tren de potencia del camión minero 777F es controlado y gobernado electrónicamente, el ECM<sup>12</sup> de la transmisión y chasis controlan los cambios y la operación del embrague lock up<sup>13</sup> del convertidor de par respectivamente. El conjunto de la transmisión tiene siete velocidades de avance y una de retroceso. El flujo de potencia inicia en el motor mediante la combustión, luego se transfiere la potencia del convertidor de par hacia

---

<sup>12</sup> ECM: Módulo de control electrónico.

<sup>13</sup> Lock Up: Cierre de sistema de la servo-transmisión.



Tabla 3

*Componentes del tren de potencia 777F CAT*

<b>Ítem</b>	<b>Descripción de componente</b>
1	Convertidor de torque
2	Eje impulsor
3	Engranajes de transferencia
4	Transmisión
5	Diferencial
6	Mandos finales
7	Filtros de carga transmisión
8	Filtro de carga convertidor de par
9	Tanque hidráulico

Fuente: Finning CAT (2010). *Manual del estudiante*.

### **2.7.1 Motor**

Este equipo tiene un motor C32<sup>14</sup> y está respaldado por una tecnología Acert que reduce las emisiones durante la operación del motor junto con la electrónica integrada, motor de 12 cilindros en V, y cuenta con un sistema de combustible MEUI<sup>15</sup>. Este sistema detecta las condiciones de operación regulando el flujo de combustible suministrado, logrando una eficiencia máxima de combustible y menores emisiones de humo. Todo este proceso es gobernado por un control electrónico ECM con la finalidad de controlar y proteger al motor. Este sistema realiza un diagnóstico de

---

<sup>14</sup> C32: Capacidad nominal de motor cilindrada de 32.1 Lts.

<sup>15</sup> MEUI: Inyector unitario electrónico de accionamiento mecánico.

operación y requerimientos de potencia con la finalidad de proporcionar el máximo rendimiento.



Figura 6. Motor C32 CAT  
Fuente: Finning CAT (2010). *Manual del estudiante*

### **2.7.2 Convertido de par**

El convertidor de par es un componente de acoplamiento hidráulico, utilizado para transmitir la potencia desde el motor hasta el eje principal de la transmisión. La potencia se transmite a través de un fluido (aceite) para conectar hidráulicamente la volante del motor y el eje de la transmisión. A continuación, se muestran las partes principales del convertidor de par.

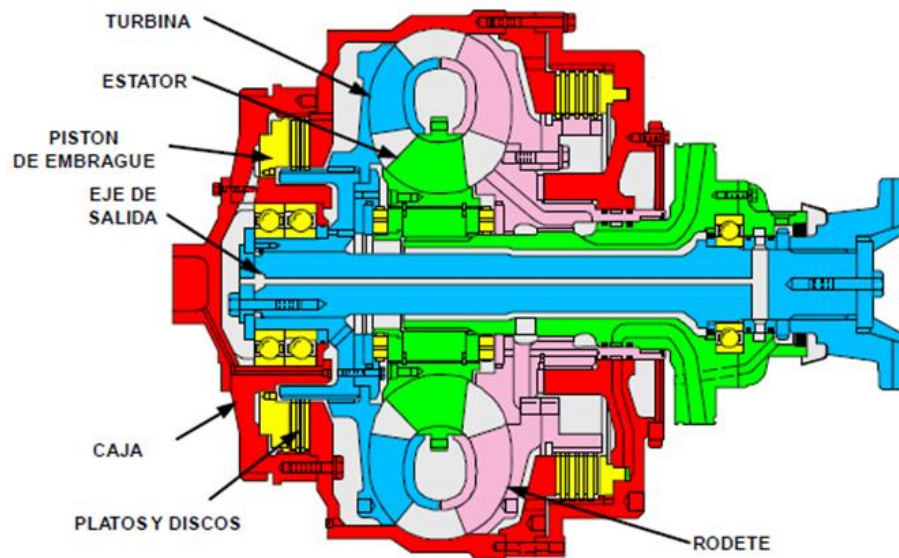


Figura 7. Partes de convertidor de par  
Fuente: Finning CAT (2010). *Manual del estudiante*

### 2.7.3 Transmisión

El sistema de la transmisión se encarga de dar los mandos de avance y retroceso del equipo, en base a una secuencia de relación que hay entre engranajes planetarios internos, gobierna la dirección, velocidad y la fuerza según la operación requerida. El tren de paquetes de engranajes planetarios transmite y adapta la potencia del motor hacia las ruedas de mandos. La velocidad de salida de la transmisión no es igual a la entrada, este varía en cada velocidad, permitiendo variar el torque al mando final, a velocidades bajas aumenta el torque y a velocidades altas disminuye el torque.



Figura 8. Transmisión planetaria  
Fuente: Finning CAT (2010). *Manual del estudiante*

Esta transmisión está conformada por conjuntos de embragues, que constan de discos y platos de fricción. Cada paquete de embrague está distribuido en una caja separada montadas en el perímetro del conjunto planetario. Los dientes internos de los discos de fricción tienen contacto con los dientes externos de la corona planetario. A continuación se describen las partes principales de un conjunto planetario.

- a) Engranaje solar: engranaje central del conjunto planetario.
- b) Engranajes planetarios: engranajes intermedios.

- c) Porta-planetario: componente que mantiene a los engranajes planetarios.
- d) Corona: componente que contiene a los engranajes planetarios.

#### 2.7.4 Diferencial

Es el mecanismo que transfiere la potencia desde la transmisión hacia los mandos finales, permitiendo que las ruedas motrices puedan girar a diferentes revoluciones y evitando el arrastre de las ruedas ante una variación angular de giro, transformando la dirección del movimiento de giro longitudinal de la transmisión a  $90^\circ$  hasta las ruedas motrices.

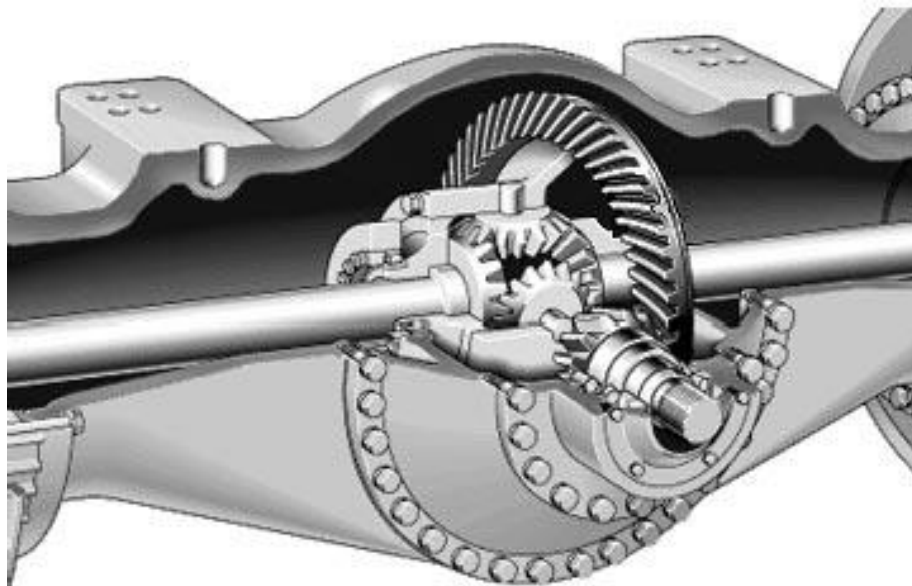


Figura 9. Componente mecánico diferencial  
Fuente: Finning CAT (2010). *Manual del estudiante*

### 2.7.5 Mandos finales

Los mandos finales son los componentes que realiza la última reducción de la velocidad y aumentos de torque requerida para el desplazamiento del equipo, a través de dos reducciones tipo planetario. La potencia pasa a través del eje de salida del diferencial hacia el engranaje solar de la primera reducción, de esta manera, al porta-planetario y engranajes planetarios de la primera reducción, este se comunica con el solar de la segunda reducción, así continúa hacia el porta-planetario y engranajes planetarios de la segunda reducción para, finalmente, transmitir la potencia motriz.

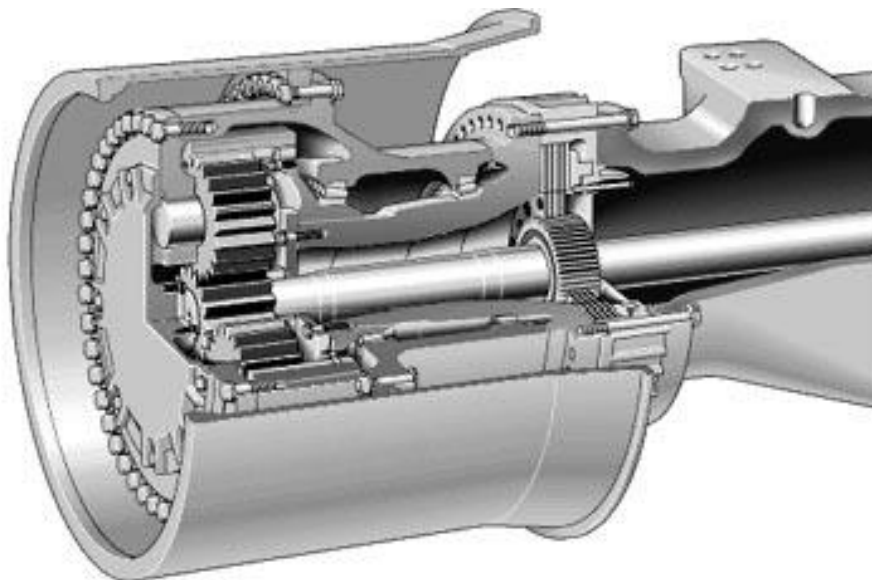


Figura 10. Componente mando final  
Fuente: Finning CAT (2010). *Manual del estudiante*

## 2.8 Norma SAE JA 1012

La norma SAE JA 1012<sup>16</sup> establece una definición del mantenimiento como “el objetivo es de asegurar que el activo continúe operando por encima del nivel mínimo”, desarrollando medidas de conservación (técnicas de mantenimiento), inspección (panorama actual) y reparación (reemplazo componentes), con la finalidad de alcanzar un nivel satisfactorio para el usuario y obtener una disponibilidad sostenida para la operación continua de los equipos.

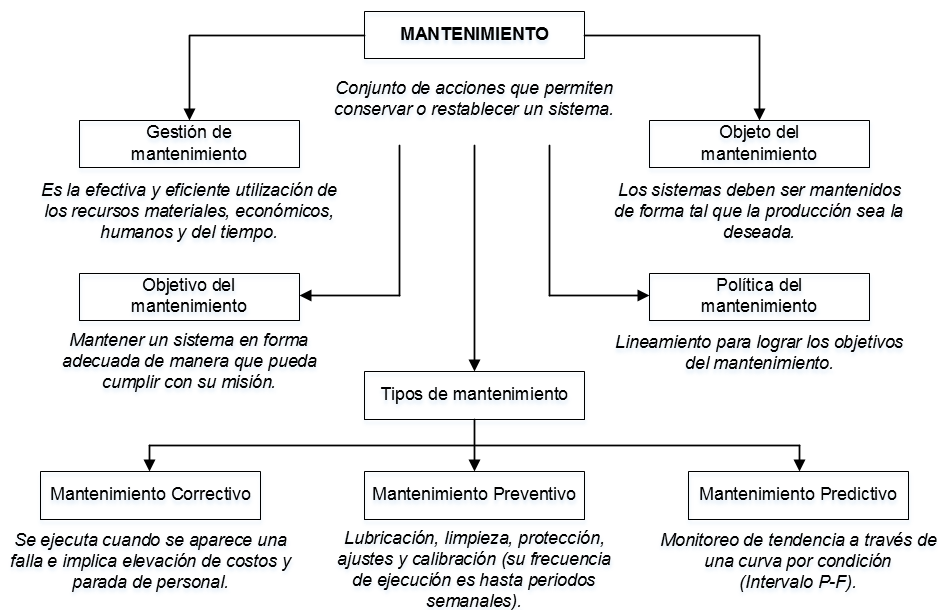


Figura 11. Proceso del mantenimiento según Norma SAE JA 1012  
Fuente: Norma SAE JA 1012, 2002.

<sup>16</sup> SAE JA 1012: Norma SAE basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

## **2.9 Evolución del mantenimiento**

Fue iniciada aproximadamente durante los últimos treinta años, relacionados con la creciente demanda y variedad de equipos de todas las industrias; incrementado de manera considerable la presión de alcanzar mayor disponibilidad de equipo, de esta manera, analizando los factores que puedan causar perjuicios (pérdidas de producción), integridad en la seguridad (asociado al personal ejecutor) e impacto ambiental en el proceso.

### **2.9.1 Primera generación**

Se extendió hasta la segunda guerra mundial. En esos tiempos, la industria no presentaba un desarrollo en la mecanización (equipos simples y sobredimensionados) de los equipos. Las paradas imprevistas no eran un factor de importancia, ignorando así los tiempos de parada en el proceso. Esto significaba que la prevención de las fallas en los activos no era de prioridad.

### **2.9.2 Segunda generación**

Etapa en el cual dio un paso notable durante la segunda guerra mundial, con la presión de los tiempos, aumento la demanda de los

diversos tipos de bienes. Encaminó a la idea de que las fallas en los equipos podían y debían de ser prevenidas (mantenimiento preventivo); a su vez, los costos de mantenimiento comenzaron a crecer rápidamente, por lo que trajo al desarrollo de sistemas de planeamiento y control.



Figura 12. Expectativas de mantenimiento creciente  
Fuente: Moubay, J. (2004). *RCM*.

### 2.9.3 Tercera generación

Aproximadamente, esta generación se dio a mediados de la década de los 70. El cambio de las industrias adquirió más impulso.

- a) Nuevas expectativas: Considerando como factor el tiempo de parada, analizando cómo las fallas pueden afectar la seguridad y el medio ambiente en las industrias.

- b) Nuevas investigaciones: Se manifiesta cada vez menos conexión entre la vida útil y la probabilidad de que estos fallen. Este concepto se basa en la curva de la bañera (segunda generación) propensa a fallar en la vida infantil y la vida vejez; luego más investigaciones revelaron seis patrones de fallas.

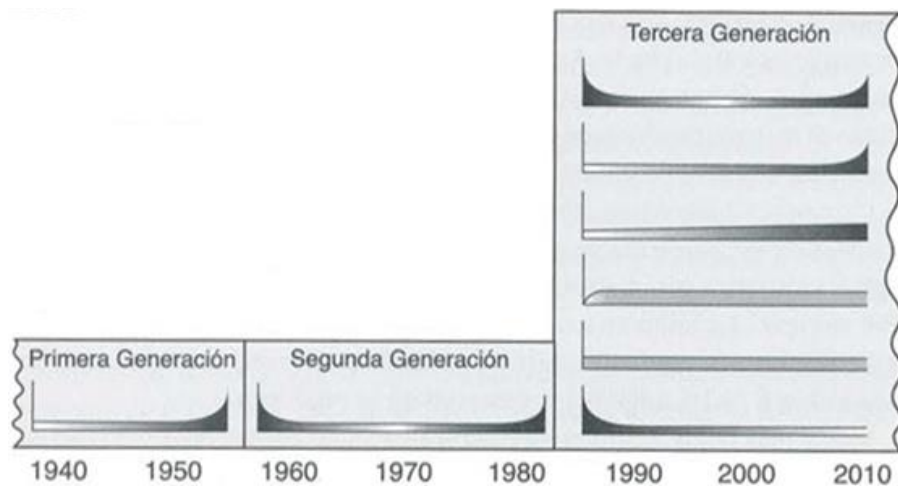


Figura 13. Evolución de fallas en los equipos  
Fuente: Moubray, J. (2004). RCM.

- c) Nuevas técnicas: Inicia el crecimiento explosivo de nuevos conceptos y métodos de mantenimiento.
- Herramientas: Estudio del riesgo, análisis de modos de falla y sus efectos.
  - Nuevos métodos: El monitoreo por condición.
  - Diseño: Mayor confiabilidad y factibilidad para el mantenimiento.

- Cambio del pensamiento en la organización: Mayor participación y motivación, el trabajo en grupo y flexibilidad.

### **2.10 Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo está en función al tiempo. Frente a un mantenimiento correctivo, reduce las fallas prematuras que se pueden desarrollar en el equipo y controlar la severidad de las mismas. Este tipo de mantenimiento se centra en una secuencia de actividades distribuidas en niveles de mantenimiento de proceso cíclicos, consisten en el desmontaje, recuperación o sustitución, montaje, pruebas y verificación. Además, la administración de estas actividades recae en la planificación de recursos y programaciones respectivas.

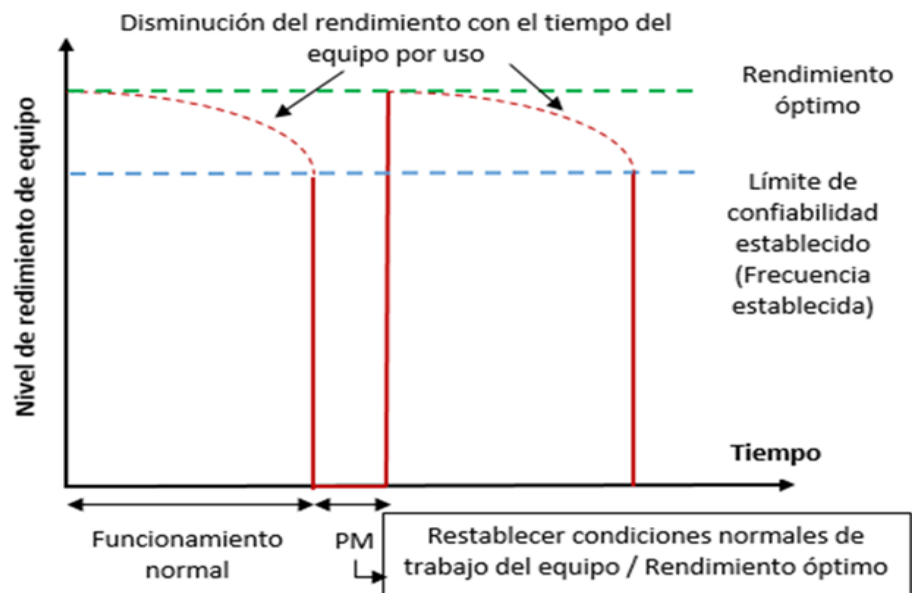


Figura 14. Ciclo del mantenimiento preventivo

Fuente: [www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/10frecuencia.pdf](http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/10frecuencia.pdf), 2015.

### 2.10.1 Ventajas

- Bajo costo con respecto al mantenimiento predictivo.
- Factibilidad y claridad en el área del planeamiento.
- Mayor control propio de mantenimientos.
- Mayor control de repuestos en el almacén logístico.
- Reducción de la probabilidad de paros imprevistos
- Mayor control de costos por mantenimiento.
- Menor costo de reparaciones.
- Reducción importante del riesgo a la seguridad y medio ambiente.

### **2.10.2 Desventajas**

- No permite establecer y determinar con exactitud el desgaste o la vida útil de los repuestos de los equipos.
- Es necesario que el personal técnico del mantenimiento tenga experiencia sólida del proceso.
- Dependencia de las recomendaciones del fabricante.
- Inversión de costos inicial significativa.
- Sobrecarga del costo de mantenimiento si hay un correcto análisis del mantenimiento preventivo.

### **2.11 Mantenimiento programado**

El mantenimiento programado consiste en la asignación de un determinado grupo de actividades, ligado a una frecuencia de tiempo específico, determinando las capacidades H-H<sup>17</sup> y estos asociados a los recursos para mantenimiento del equipo. Se debe considerar la máxima disponibilidad de los recursos en general antes de programar un mantenimiento. Un nivel elevado en la eficacia del programa da como resultado un alto nivel de eficacia del servicio.

---

<sup>17</sup> H-H: Capacidades de horas-hombres.

### 2.11.1 Objetivos de la programación

- Eliminar retrasos (entre actividades).
- Aumentar la utilización.
- Programar para mantenimiento el equipo.
- Gestión de los recursos.
- Gestión de accesorios.
- Manejo de capacidad de horas-hombre.
- Coordinar con el cliente (área correspondiente).
- Eliminar viajes adicionales.
- Simplificar la programación.
- Disminuir la improvisación.

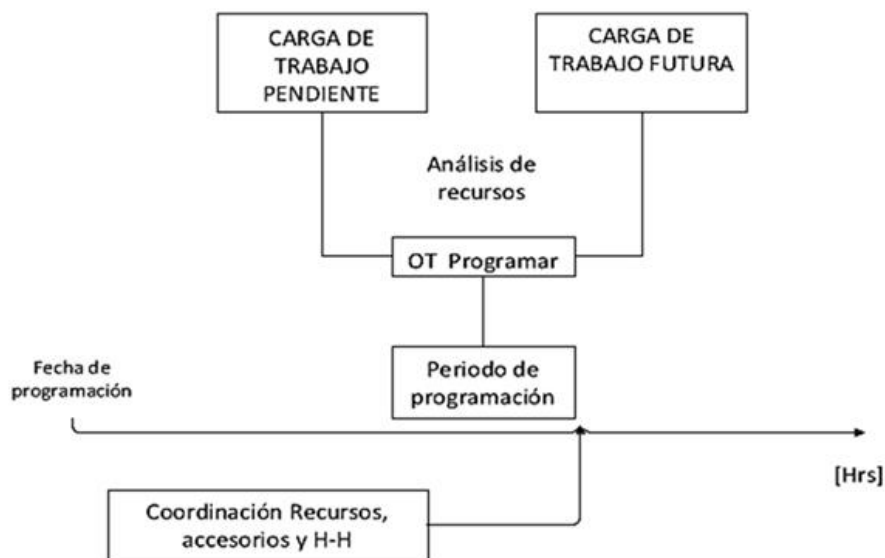


Figura 15. Proceso de programación  
Fuente: Tecsup (2014). *Programación del mantenimiento*

## 2.11.2 Proceso de programación

A continuación, se describe los sub-procesos que involucran ejecutar una programación del mantenimiento.

- Programa de mantenimiento semanal: Permite identificar el nivel de mantenimiento preventivo correspondiente a programar y ejecutar.
- Orden de trabajo: Documento que describe el conjunto de actividades de mantenimiento a realizar en un determinado equipo.
- Diagrama Gantt: Cuadro sinóptico, cuya finalidad es de determinar la secuencia lógica del desarrollo de las actividades.

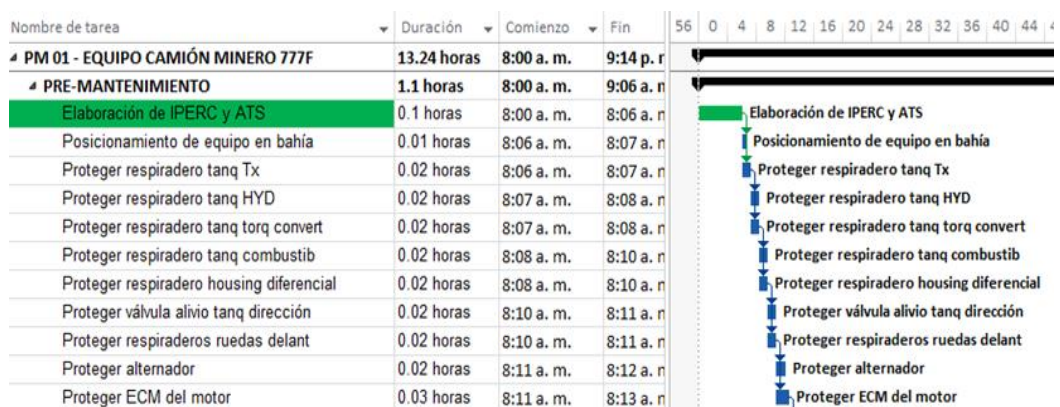


Figura 16. Modelo de diagrama Gantt  
Fuente: Elaboración propia

## 2.12 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo está en función a un monitoreo por condición de un determinado sistema, percibiendo una falla potencial y control de su evolución en una curva P-F<sup>18</sup>, con la finalidad de evaluar y toma de decisiones antes de que se presente una falla funcional del equipo. Si esta tarea por condición se utiliza adecuadamente, se pueden manejar correctamente la evolución de las fallas en condición de desarrollo.

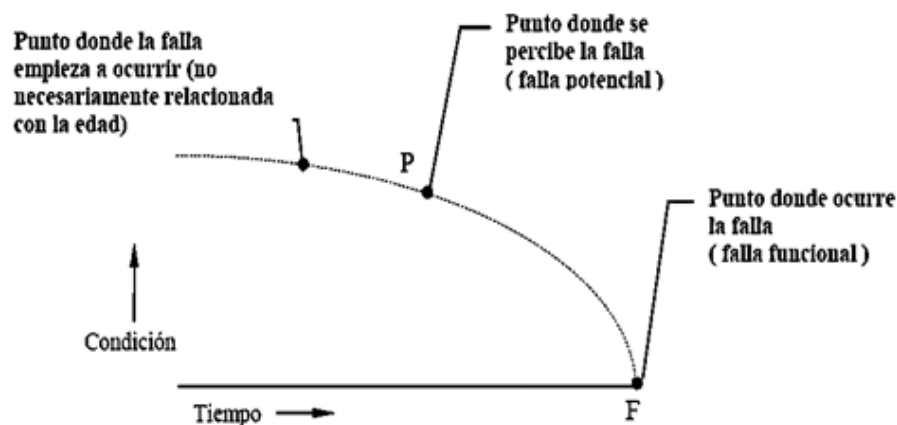


Figura 17. Curva de condición P-F

Fuente: Tecsup PEPP (2012). *Gestión de mantenimiento equipo pesado móvil.*

## 2.13 Mantenimiento por oportunidad

El mantenimiento por oportunidad son las actividades, las cuales se pueden realizar en periodos en donde los equipos se encuentran fuera de

<sup>18</sup> P-F: Curva en función de la falla potencial y falla funcional.

operación (cambios de turnos), sin presentar averías. Se alcanzan a realizar actividades como inspecciones, cambios de componentes, reparaciones menores y pruebas en equipos. Con el propósito de culminar el círculo de actividades pendientes de una determinada OT u otros factores asociados al equipo.

#### **2.14 Planeación**

Es el proceso mediante el cual se determinan los elementos necesarios (recursos humanos, equipos, accesorios, etc.) para efectuar un mantenimiento antes de iniciar el trabajo. La viabilidad de efectuar el proceso de planeación es para conseguir lo siguiente:

- Una reducción de los costes de mantenimiento.
- Una mejor utilización de la mano de obra al reducir demoras e interrupciones. Proporcionar un buen medio de coordinación y facilitar la supervisión.
- Adoptar mejores métodos y procedimientos.

Alcance del proceso de planeamiento:

- De reducir y minimizar el tiempo ocioso de los ejecutores de las actividades de mantenimiento.
- De maximizar la utilización eficiente del tiempo de trabajo para el desarrollo de las actividades, recursos y componentes.
- Fundamentalmente de mantener el equipo bajo condiciones óptimas de operación y que responda a las necesidades de producción.

#### **2.14.1 Niveles de planeación**

Se presentan los niveles de planeación designados según su espacio cronológico.

- a) Planeación a corto plazo: Se basan a una frecuencia diaria hasta semanal.
- b) Planeación a mediano plazo: Correspondiente a un plan que abarca desde un mes hasta un año.
- c) Planeación a largo plazo: Cubre un periodo de cinco años a más.

#### **2.14.2 Clasificación de la planeación**

Según su naturaleza en base a las actividades de mantenimiento, se puede clasificar en:

- a) Mantenimiento de rutina y preventivo: Desarrollo del mantenimiento periódico (lubricación, inspecciones y actividades menores repetitivas).
- b) Mantenimiento de emergencia o reactivo: Actuar el proceso de reparación después del reporte de la falla.
- c) Modificación del diseño: Identificar y determinar causas de descomposturas repetitivas y eliminar la causa mediante la modificación del diseño.
- d) Reparación programada, que implica el paro del activo: Requiere planear y organizar de tal manera que se minimice el paro del equipo.
- e) Reparación general programada, reparaciones y construcción de equipo: No recaen dentro de las categorías mencionadas.

### **2.15 Gestión estratégica de mantenimiento**

Las estrategias de mantenimiento involucran directamente el manejo de las actividades claves para el servicio. Se tiene como inicio las recomendaciones del fabricante y condiciones de diseño del equipo, posteriormente se puede enfocar en base a un análisis que se origina en la información en tiempo real e histórico de fallas con respecto a un equipo.

Las estrategias de mantenimiento en un mismo equipo pueden variar dependiendo de la condición de operación con respecto de un contexto operacional a otro.

Escobar (2011) presentó un trabajo basado en el estudio del mantenimiento para preservar las funciones del equipo y alargar la vida útil de los equipos. Este estudio se generó a través de las estrategias de mantenimiento basadas en las recomendaciones del fabricante y el análisis de información registrada durante el desarrollo de los respectivos equipos de su contexto operacional.

Suniaga (2010) en su trabajo de investigación, propone un diseño de un programa de mantenimiento preventivo a diversas máquinas de equipo pesado móvil, basado en la realización de inventario de los equipos, elaboración de cartillas preventivas bajo la determinación de las estrategias de mantenimiento, todo esto con un enfoque de un plan de mantenimiento anual, logrando, una propuesta de un nuevo proceso del sistema de gestión.

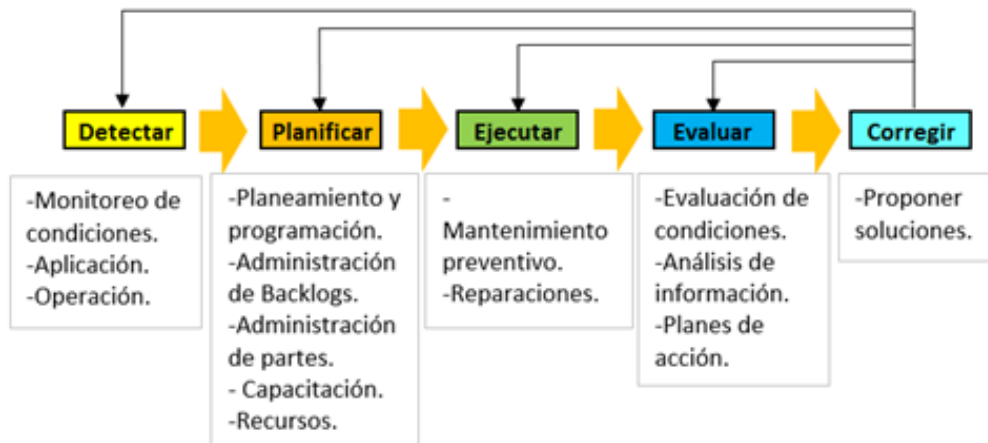


Figura 18. Proceso de gestión estratégica de mantenimiento

Fuente: Tecsup PEPP (2012). *Gestión de mantenimiento equipo pesado móvil*.

### 2.15.1 Estructura del proceso estratégico

- Recomendación del fabricante: Se determinan las actividades de mantenimiento en base al levantamiento de información recomendadas por el fabricante, pueden ser manuales físicos o a través de páginas web.
- Condiciones de diseño: Basadas en parámetros como capacidades, niveles, restricciones, etc. Estas actividades, a menudo, no están específicamente dentro de las recomendaciones.
- Condiciones de operación: No debemos de dejar de lado las condiciones de operación, a pesar que los equipos sean operados por personas capacitadas y con experiencia. Los equipos pueden desarrollar fallas potenciales debido a una mala operación.

- d) Análisis de información de flota: Registrando el comportamiento de operación del equipo en un determinado contexto operacional, podemos tener mayor control y anticiparnos ante una falla reactiva de mayor índole.

## **2.16 Indicadores de gestión KPI**

Conocido también como indicador clave de rendimiento, miden el nivel de desempeño de un determinado proceso, el valor de estos KPI<sup>19</sup> (disponibilidad mecánica planificada, disponibilidad mecánica real, etc.) están relacionados con un objetivo establecido por el área y, normalmente, se expresa en un valor porcentual, además de ofrecernos una acción de oportunidad de mejora continua en el desarrollo de un proceso, representado la efectividad del proceso de gestión del mantenimiento (ver tabla 14 y tabla 28).

### **2.16.1 Disponibilidad mecánica**

La DM<sup>20</sup> está relacionada directamente con la condición final del porcentaje del desempeño de operación del equipo, desarrollada durante un lapso de tiempo y de manera parcial o en su totalidad, dentro de este

---

<sup>19</sup> KPI: (Key performance indicator), indicador clave de desempeño.

<sup>20</sup> DM: KPI de la disponibilidad mecánica.

cálculo, se considera la relación que existe entre las HOP<sup>21</sup> y la sumatoria de las HPMp<sup>22</sup> y las HNPM<sup>23</sup>. De esta manera, se puede realizar el cálculo bajo la siguiente fórmula.

$$DM = (HOP - (HPMp + HNPM))/HOP \quad [1]$$

Knezevic (1996, p.27) expresa que es un indicador estratégicamente importante y útil para la toma de decisiones, identificando un panorama más amplio en el proceso de gestión del mantenimiento y asociado al perfil del correcto funcionamiento del equipo.

Rodríguez (2012) incrementó la DM bajo un trabajo de investigación, basado en la mantenibilidad de la flota de equipos destinados al acarreo de mineral; sabiendo que la mantenibilidad está en función a las HNPM. La relación que existe con este parámetro, con respecto al trabajo de investigación presente, son las actividades ocultas que dan como consecuencia paradas cronológicas perjudiciales en la flota de camiones mineros. Se busca controlar estas actividades ocultas que generan impacto.

---

<sup>21</sup> HOP: Horas operacionales planificadas.

<sup>22</sup> HPMp: Horas de parada por mantenimientos preventivos.

<sup>23</sup> HNPM: Horas no planificadas por mantenimientos correctivos.

### **2.16.2 Disponibilidad mecánica planificada**

La DMP<sup>24</sup> es un indicador probabilístico ideal planeado, con la condición de que el equipo realice las tareas de operación pre-definidas antes de su operación en tiempo real. Dentro de este indicador, no se consideran las paradas no planificadas del equipo, tan solo las HPM<sup>25</sup>, se puede realizar el siguiente cálculo según la fórmula:

$$DMP = (HOP - HPM)/HOP \quad [2]$$

### **2.17 Costos de operación OPEX**

Los costos de operación OPEX están vinculadas con las reparaciones requeridas por el equipo y el valor monetario final que implica invertir en estos. Este valor será un gasto que el área correspondiente debe asumir para asegurar una correcta operación en el equipo. Estos costos aplicados al mantenimiento deben de ser acotados eficientemente y contar con una capacidad presupuestal disponible para invertir en el servicio, equipos auxiliares y herramientas en general para el proceso.

---

<sup>24</sup> DMP: KPI de la disponibilidad mecánica planificada.

<sup>25</sup> HPM: Horas planificadas por mantenimientos preventivos.



Figura 19. Costos asociados a los niveles de mantenimiento  
Fuente: Mora, G. (2007). *Mantenimiento estratégico*.

### 2.17.1 Costos fijos

Los costos fijos son los costos que invierte la empresa en un determinado proceso y son todas las acciones planeadas de mantenimiento que se requieren para llevar a cabo las tareas proactivas. Además, estos son independientes con respecto a su nivel de operación, es decir, no tiene relación con la tasa de producción del equipo; de igual forma, debe de asumir con estos costos, planificarlos en periodos de tiempos definidos.

### 2.17.2 Costos variables

Los costos variables están ligados a costos por mantenimiento correctivos o paradas no planificadas, este valor monetario está asociado a los accesorios, capacidades H-H, recursos lubricantes, etc., que puedan

utilizar para las reparaciones y recuperar las funciones principales de operación del respectivo equipo o proceso. Estos costos variables se pueden controlar mediante la utilización y aplicación de instrumentos sofisticados (determinar el nivel de la falla potencial) que apoyen al monitoreo de condición y evitar fallas funcionales.

### **2.17.3 Costos financieros**

Los costos financieros son costos que implican invertir y la necesidad de mantener repuestos, accesorios, recursos lubricantes, materiales para mantenimiento como la administración y protección logística (almacenes). La flota de equipos requiere el financiamiento para asegurar una disponibilidad en base a los recursos vitales durante su vida útil y operación.

### **2.17.4 Costos de fallo**

Los costos de fallo son los costos que se generan por la pérdida de la función principal del equipo, por paradas no planificadas (reparaciones y modificaciones), causadas por fallas imprevistas. También pueden estar asociados a un servicio de mantenimiento defectuoso o adquisición de equipos errados en su selección, provocando pérdidas económicas, perdidas en la producción, etc. Generalmente, este costo es superior a los

tres costos descritos anteriormente y probablemente un factor potencial en la atención de estas (Mora, 2007, p.288).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Herramienta analítica FODA**

El análisis FODA enfoca una planeación estratégica que constituye un análisis situacional, de esta manera, reconociendo el perfil de operación de una empresa en un determinado momento, proporcionada la información necesaria para la implementación de acciones, medidas correctivas y la mejora continua, con esto, definir un diagnóstico para integrar planes estratégicos y mejorar la competitividad de la organización; basándose en la descripción analítica de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas con la finalidad de incrementar el factor de optimización y minimizar el factor de riesgo, bajo el análisis y enfoque de una herramienta de planeación estratégica Ramírez Rojas (2007).

##### **3.1.1 Análisis de ponderación**

Se presenta una escala numérica, con la finalidad de identificar la eficiencia del proceso para análisis, este basado en tres niveles significativos, desde una escala de nivel baja 1, la escala 2 de nivel medio

y la escala 3 que define el nivel más alto. A partir de estos valores, se le asigna una ponderación individual y clasificarlo en un nivel de jerarquía para análisis.

Tabla 4

*Niveles de ponderación FODA*

<b>Denominación</b>	<b>Ponderación</b>
Nivel alto	3,0
Nivel Medio	2,0
Nivel bajo	1,0

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

### **3.1.2 Identificación de criterio para el análisis**

Se determina el factor como criterio para el análisis, se tiene un valor relevante en el desempeño de la organización. Este criterio enfoca de manera global de un proceso o un valor específico. Para facilitar el análisis, se debe tener en cuenta que los criterios no deben abarcar un círculo extenso, se recomienda que sean menores a diez, con la finalidad de enfocar en los críticos y facilitar el manejo de datos.

### **3.1.3 Condiciones de actuación**

Las condiciones de actuación encierran un listado de objetivos basados en metas y estándares de la compañía, de las condiciones

percibidas durante el desarrollo del mantenimiento; se busca alcanzar el cumplimiento de dichos objetivos con relación y al análisis de las variables internas y externas que afligen a la organización.

Durante este proceso, se elaboró una matriz descriptiva situacional (condición inicial y condición final) que permitió realizar el análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que afronta la organización.

Tabla 5

*Matriz analítica FODA*

<b>Descripción FODA</b>
Descripción de fortalezas
F.1
⋮
F.n
Descripción de oportunidades
O.1
⋮
O.n
Descripción de debilidades
D.1
⋮
D.n
Descripción de amenazas
A.1
⋮
A.n

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

### **3.1.4 Asignación de ponderación**

La asignación de la ponderación se realiza de acuerdo a cada ítem descrito en las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas respectivamente, dentro de un sub-grupo matricial. Así con una sumatoria vertical, se determina un resultado por cada sub-grupo, para obtener al final un valor porcentual del 100% que representa el total de la ponderación general, también, un valor de sub-porcentaje por cada sub-grupo respectivamente.

### **3.1.5 Balance estratégico**

El BE<sup>26</sup> es el resultado de la relación que hay entre el FO<sup>27</sup> y la FR<sup>28</sup> de la organización. Con los resultados numéricos y porcentuales de los sub-grupos matriciales, se puede determinar la condición situacional en la que se encuentra. Si el resultado es negativo, implica desarrollar planes de acción para reducir este FR. El BEI<sup>29</sup> se da cuando el FO y el FR son iguales en valor numérico, por tanto presenta un valor de cero. El FO representa la posición favorable de la organización y el FR, condiciones que limitan el

---

<sup>26</sup> BE: Balance estratégico situacional.

<sup>27</sup> FO: Factor de optimización.

<sup>28</sup> FR: Factor de riesgo.

<sup>29</sup> BEI: Balance estratégico ideal.

desarrollo competitivo a futuro de la organización. Se muestra la siguiente fórmula para el cálculo del BE.

$$BE = FO + FR \quad [3]$$

Para el cálculo del FO, fue la cuantificación del valor numérico de F<sup>30</sup> y O<sup>31</sup>, bajo la siguiente ecuación:

$$FO = F + O \quad [4]$$

Para el cálculo del FR, se usará la cuantificación del valor numérico de D<sup>32</sup> y A<sup>33</sup>, bajo la siguiente ecuación:

$$FR = D + A \quad [5]$$

### 3.1.6 Estadísticos y síntesis

Los estadísticos y la síntesis se logran al finalizar el procedimiento del cálculo del BE, el FO y el FR correspondientes a la situación respectiva

---

<sup>30</sup> F: Valor cuantitativo de las fortalezas.

<sup>31</sup> O: Valor cuantitativo de las oportunidades.

<sup>32</sup> D: Valor cuantitativo de las debilidades.

<sup>33</sup> A: Valor cuantitativo de las amenazas.

del proceso. El resultado del BE se puede llevar a un diagrama descriptivo circular, asimismo representar con diagramas de barras verticales la condición de puntos críticos de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, dando el mayor alcance de clarificar, establecer relaciones, valoración de las condiciones que apoyen al análisis. Después de este proceso, se plantea las medidas correctivas para minimizar el FR e incrementar el FO.

### **3.2 Estudio basado en el tiempo**

El estudio basado en el tiempo se ejecuta considerando una cronología de medición a medida que se realiza una actividad específica. Con este estudio, se pueden estandarizar tiempos y proporcionar tolerancias permisibles para la demanda de las actividades y otras condiciones de trabajos variables. Esta operación de estudio puede contribuir a mejorar considerablemente metas para evaluar y mejorar el rendimiento de las operaciones del servicio de mantenimiento. Para este caso de análisis, se realiza el estudio de tiempos indirectos. A continuación, se presenta un procedimiento basado en el estudio de tiempos.

Tabla 6

*Procedimiento del estudio de tiempo*

<b>N°</b>	<b>Descripción del procedimiento</b>
1	Seleccionar procesos
2	Descomponer la actividad en elementos
3	Observar el trabajo
4	Establecer un estándar de la actividad

Fuente: Raouf, D. (2005). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*.

Según Bruzual (2009), en un trabajo de investigación se logra optimizar los tiempos de mantenimientos de las actividades con respecto a los digestores, encargados de procesar como producto final Alúmina de grado metalúrgico, midiendo este parámetro del estudio de la cronología de manera indirecta.

### **3.3 Proceso de programación de mantenimiento**

El proceso de programación de mantenimiento se lleva a cabo asociando las actividades de mantenimiento con la distribución de los recursos respectivamente, describiendo estas en una secuencia lógica según el nivel de mantenimiento, el desarrollo del programa tiene una frecuencia semanal, también, se tendrán en cuenta el tratamiento de las actividades pendientes para su respectiva re-programación. Para lograr un proceso de programación eficaz, se muestra el siguiente procedimiento (Duffua, 2005, p.198).

Tabla 7

*Elementos de una programación acertada*

<b>N°</b>	<b>Descripción del procedimiento</b>
1	Órdenes de trabajo escritas
2	Estándares de tiempos
3	Disponibilidad de recursos humanos
4	Existencia de refacciones
5	Disponibilidad de equipo y herramientas
6	Acceso del programa
7	Clasificación del nivel de prioridades
8	Trabajos pendientes

Fuente: Raouf, D. (2005). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*.

### **3.4 Diagramas Gantt de mantenimiento**

Con un nuevo estudio de tiempos y una nueva demanda de actividades de mantenimientos preventivos, se propone la implementación de diagramas Gantt desde el nivel PM-01<sup>34</sup> hasta el PM-08<sup>35</sup> respectivamente, considerando los puestos de trabajo TECMEC y TECELE, asimismo, la inclusión de las actividades del pre-mantenimiento (lavado general de equipo) a este proceso, considerando los espacios de distribución de tiempo real para la flota de camiones 777F CAT.

---

<sup>34</sup> PM-01: Nivel de mantenimiento preventivo de 250 Horas.

<sup>35</sup> PM-08: Nivel de mantenimiento preventivo de 2000 Horas.

### 3.5 Proyección de costos de operación

La proyección de costos de operación (accesorios y lubricantes) planificados se ejecuta en base al Rend-h registrada por la operación de la flota y con la relación de la frecuencia mínima de mantenimiento, se obtiene el intervalo de tiempo entre cada PM en función a los días; se determina y valida los recursos requeridos para los PM respectivos, asociando a estos costos unitarios, de esta manera, estimando los costos a un mediano plazo (un año), dando un porcentaje adicional del 10 % para fines de variación del Rend-h de los equipos. A continuación se presentará la fórmula para el cálculo de la proyección en función al intervalo por PM.

Para este caso de estudio, la Frec Min PM<sup>36</sup>, para un intervalo mínimo de mantenimiento de 250 h<sup>37</sup>, para el Rend-h, se considera el dato promedio de los registros de la flota de camiones 777F CAT.

$$\text{Intervalo de PM} = (\text{Frec Min PM})/(\text{Rend} - h) \quad [6]$$

Esta metodología será aplicada en base a las recomendaciones para la estimación del cálculo de los recursos y, a su vez, los costos totales en

---

<sup>36</sup> Frec Min PM: Valor de la frecuencia mínima de mantenimiento preventivo.

<sup>37</sup> h: Valor de punto de medida en Horas.

la aplicación del mantenimiento preventivo, proyectando estratégicamente estas variables a un mediano plazo.<sup>38</sup>

### 3.6 Prueba de los signos

Para la validación de la hipótesis para este estudio de la optimización del tiempo e incremento de la disponibilidad mecánica, se realiza la prueba de los signos. Para la aplicación de esta prueba, no se requiere realizar suposiciones de normalidad de la población, pero sí que los valores de la muestra se encuentren cuando menos en una escala ordinal.

La hipótesis nula consiste en confirmar que la mediana de la población, parámetro que se denomina por  $\tilde{u}$  es igual a algún valor dado  $\tilde{u}_0$ , esto se puede expresar como  $H_0^{39}$ :  $\tilde{u} = \tilde{u}_0$ , se rechaza  $H_0$  si el valor  $P^{40}$  calculado es menor que el nivel de significación  $\alpha^{41}$  y considera la hipótesis alternativa  $H_1^{42}$ . Para el cálculo de  $P^{43}$ , se presenta la siguiente fórmula (Córdova, 2006, p.377).

---

<sup>38</sup> Tecsup (2012). Material de estudio Und.10. Gestión estratégica de mantenimiento. Perú: Autor.

<sup>39</sup>  $H_0$ : Hipótesis nula.

<sup>40</sup> P: Probabilidad de valor acumulado.

<sup>41</sup>  $\alpha$ : Nivel de significación, caso de estudio del 5%.

<sup>42</sup>  $H_1$ : Hipótesis alternativa.

<sup>43</sup> P: Probabilidad de valor acumulado.

$$P = P [x \leq 1, \text{ cuando } p=0,5] = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} p^k (X - p)^{n-k} \quad [7]$$

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 Análisis FODA situacional**

Para este caso de estudio, el criterio de análisis se basa en los factores externos e internos, que están asociados con los tiempos de mantenimientos preventivos aplicados a la flota de camiones mineros 777F CAT, en base a los registros de eventos y prolongaciones de tiempos cronológicos perjudiciales que afectan la disponibilidad mecánica de los equipos.

Criterio: Tiempos de mantenimientos preventivos.

##### **4.1.1 Condiciones de actuación iniciales**

Bajo un análisis realizado a las condiciones de actuaciones iniciales, se describen las variables relacionadas con el factor de optimización (fortalezas y oportunidades), detallando las ventajas que presenta el área correspondiente de la flota. Por otro lado, describimos las variables con relación al factor de riesgo (debilidades y amenazas), enfocando las desventajas que presenta el proceso.

Tabla 8

*Matriz analítica FODA situacional*

<b>Determinación de condiciones iniciales</b>		<b>Ponderación</b>
<b>N°</b>	<b>Fortalezas</b>	<b>Sub Total 10,0</b>
F.1	Excelente imagen corporativa minera	2,7
F.2	Sistema de gestión mantenimiento SAP R3	2,3
F.3	Equipos con poco recorrido y gran tecnología	2,4
F.4	Control de impacto ambiental y seguridad	2,6
<b>N°</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Sub Total 7,4</b>
O.1	Optimizar capacidades H-H	1,9
O.2	Incrementar la vida útil de los equipos	2,0
O.3	Incrementar la DM	2,1
O.4	Acotar eficientemente costos de operación	1,4
<b>N°</b>	<b>Debilidades</b>	<b>Sub Total 10,2</b>
D.1	Falta de coordinación del pre-mantenimiento	2,7
D.2	Administración de actividades pendientes	2,6
D.3	Falta de control del proceso de mantenimiento	2,4
D.4	Estandarizar espacios cronológicos	2,5
<b>N°</b>	<b>Amenazas</b>	<b>Sub Total 9,9</b>
A.1	Incremento de costos de fallo	2,1
A.2	Impacto de la DM por extensión de tiempos	2,8
A.3	Desarrollo de mantenimientos a quiebre	2,6
A.4	Competitividad de costos en el mercado	2,4

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

#### 4.1.2 Asignación de ponderación situacional inicial

Para la asignación de la ponderación situacional inicial, se da un valor a cada variable identificada, según la condición alcanzada con respecto al nivel en cada proceso descrito y vinculado al principal criterio de análisis, luego, determinar los sub-valores numéricos y porcentuales de cada nivel analítico FODA.

#### 4.1.2.1 Ponderación de fortalezas inicial

Se ha asignado los valores de ponderación inicial a las 4 variables, con respecto a las fortalezas descritas de la matriz analítica situacional propuestas en la tabla 8. La sumatoria del sub-valor numérico de estas 4 variables tiene como resultado 10 y un valor sub-valor porcentual de 26,67 %. Se muestra el valor porcentual en la siguiente tabla.

Tabla 9

*Ponderación de lista de fortalezas inicial*

N°	Fortalezas	Pond
F.1	Excelente imagen corporativa minera	2,7
F.2	Sistema de gestión mantenimiento SAP R3	2,3
F.3	Equipos con poco recorrido y gran tecnología	2,4
F.4	Control de impacto ambiental y seguridad	2,6
	Sub-total	10,0
	Sub-porcentaje	26,67 %

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

#### 4.1.2.2 Ponderación de oportunidades inicial

Se ha asignado los valores de ponderación inicial a las 4 variables, con respecto a las oportunidades descritas de la matriz analítica situacional propuestas en la tabla 8. La sumatoria del sub-valor numérico de estas 4 variables tiene como resultado 7,4 y un valor sub-valor porcentual de 19,73 %. Se muestra el valor porcentual en la siguiente tabla.

Tabla 10

*Ponderación de lista de oportunidades inicial*

<b>N°</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Pond</b>
O.1	Optimizar capacidades H-H	1,9
O.2	Incrementar la vida útil de los equipos	2,0
O.3	Incrementar la DM	2,1
O.4	Acotar eficientemente costos de operación	1,4
	Sub-total	7,4
	Sub-porcentaje	19,73 %

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

#### 4.1.2.3 Ponderación de debilidades inicial

Se ha asignado los valores de ponderación inicial a las 4 variables, con respecto a las debilidades descritas de la matriz analítica situacional propuestas en la tabla 8. La sumatoria del sub-valor numérico de estas 4 variables tiene como resultado 10,2 y un valor sub-valor porcentual de 27,20 %. Se muestra el valor porcentual en la siguiente tabla.

Tabla 11

*Ponderación de lista de debilidades inicial*

<b>N°</b>	<b>Debilidades</b>	<b>Pond</b>
D.1	Falta de coordinación del pre-mantenimiento	2,7
D.2	Administración de actividades pendientes	2,6
D.3	Falta de control del proceso de mantenimiento	2,4
D.4	Estandarizar espacios cronológicos	2,5
	Sub-total	10,2
	Sub-porcentaje	27,20 %

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

#### 4.1.2.4 Ponderación de amenazas inicial

Se ha asignado los valores de ponderación inicial a las 4 variables, con respecto a las amenazas descritas de la matriz analítica situacional propuestas en la tabla 8. La sumatoria del sub-valor numérico de estas 4 variables tiene como resultado 9,9 y un valor sub-valor porcentual de 26,40 %. Se muestra el valor porcentual en la siguiente tabla.

Tabla 12

##### *Ponderación de lista de amenazas inicial*

N°	Amenazas	Pond
A.1	Incremento de costos de fallo	2,1
A.2	Impacto de la DM por extensión de tiempos	2,8
A.3	Desarrollo de mantenimientos a quiebre	2,6
A.4	Competitividad de costos en el mercado	2,4
	Sub-total	9,9
	Sub-porcentaje	26,40 %

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

#### 4.1.3 Balance estratégico situacional inicial

A continuación, se determina el FO, con el valor porcentual de F con la tabla 9 y el valor porcentual de O con la tabla 10, sujeto a la ecuación [4].

Reemplazando, se tiene:

$$FO = F + O$$

$$FO = 26,67 \% + 19,73 \%$$

$$FO = + 46,40 \%$$

Ahora se determina el FR, con el valor porcentual de D con la tabla 11 y el valor porcentual de A con la tabla 12, con la ecuación [5]. Se debe tener en cuenta que estas variables son de valor negativo para la organización. Reemplazando, se tiene:

$$FR = D + A$$

$$FR = - 27,20 \% - 26,40 \%$$

$$FR = - 53,60 \%$$

Se presenta la relación que existe entre FO y el FR que representa inicialmente el proceso.

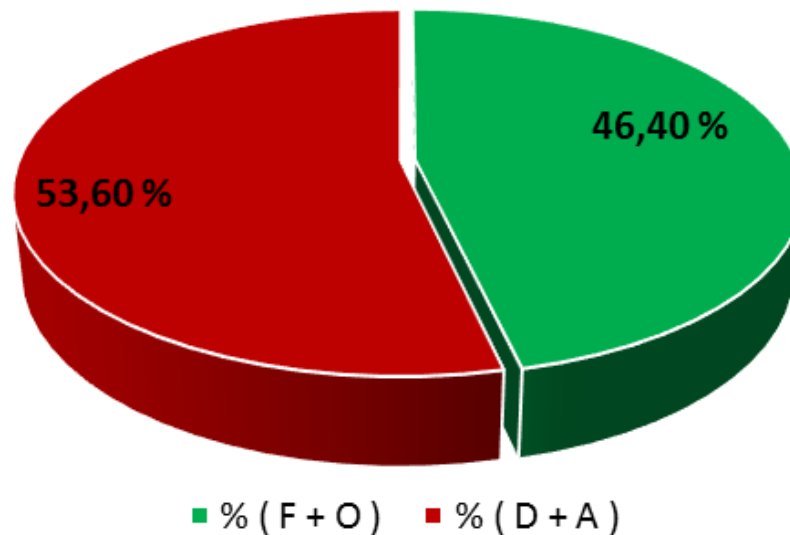


Figura 20. Estadístico del FO y FR inicial  
 Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

Finalmente, determinar el  $BE_i$  situacional inicial que presenta el área de mantenimiento con respecto a la flota de camiones 777F CAT, bajo la ecuación [3].

$$BE_i = FO + FR$$

$$BE_i = 46,40 \% + (-53,60 \%)$$

$$BE_i = -7,20 \%$$

El resultado del balance estratégico inicial para el área de mantenimiento es un valor porcentual negativo de -7,20 %, siendo el factor

de riesgo un potencial considerable que puede afectar e influenciar en el proceso de la flota de camiones 777F CAT. Se debe de presentar un análisis para controlar y a la vez minimizar estratégicamente este factor.

Tabla 13

*Resultados del FO y FR inicial*

<b>( F + O )</b>	<b>( D + A )</b>	<b>% ( F + O )</b>	<b>% ( D + A )</b>	<b>% Total</b>
17,4	20,1	46,40	53,60	100,00

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

#### **4.1.4 Presentación de estadísticos y síntesis**

En esta parte de la presentación de estadísticos y síntesis iniciales, se realiza una descripción breve sobre las variables (se detalla los puntos débiles que acoge la organización) presentadas en la matriz analítica FODA con la finalidad de buscar las medidas correctivas que permitan la viabilidad de incrementar estratégicamente el factor de optimización y minimizar el factor de riesgo, logrando un balance estratégico de valor porcentual positivo y favorable para el área de mantenimiento.

#### 4.1.4.1 Maximizar fortalezas

Se describe las variables situacionales correspondientes a las fortalezas y se presenta las propuestas de mejora respectivas para maximizarlas respectivamente.

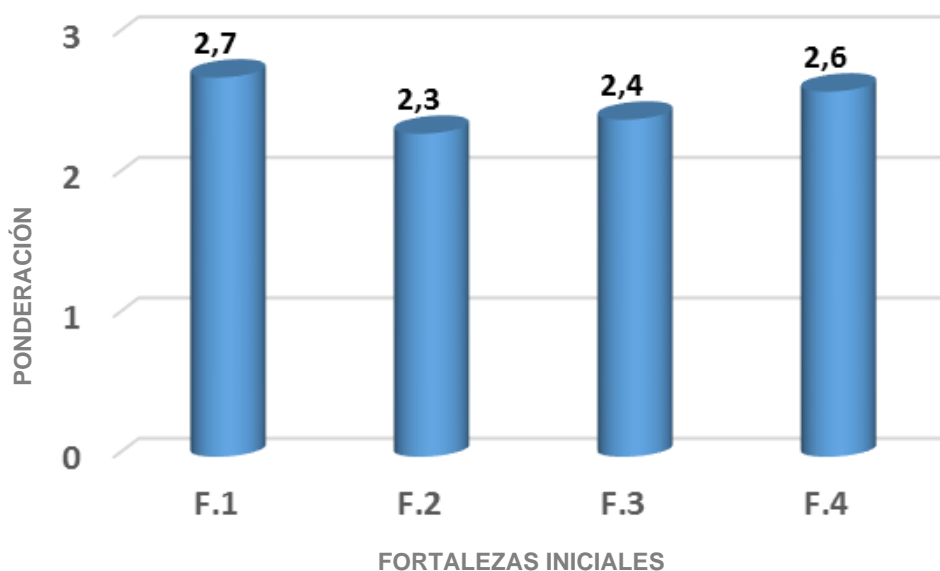


Figura 21. Estadístico de ponderación de fortalezas inicial

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

F.1. Excelente imagen corporativa minera: Compañía minera con una alta tasa de alta producción. Se puede contribuir en este parámetro de la producción si limitamos las condiciones que afectan directamente la disponibilidad mecánica de la flota de camiones 777F CAT, así, proporcionar la máxima disponibilidad mecánica posible.

F.2. Sistema de gestión mantenimiento SAP R3<sup>44</sup>: Software ERP<sup>45</sup> aplicado en el sistema de gestión de mantenimiento, con módulos específicos que permiten controlar los procesos de operación aplicados al servicio. Se puede conseguir un mayor control sobre el proceso de mantenimiento, tanto en la liberación y manejo de programas como la gestión de los recursos (accesorios y lubricantes).

F.3. Equipos con poco recorrido y gran tecnología: La flota de camiones mineros 777F CAT cuentan con una operación no mayor a 3 años aproximadamente, presentan una versión mejorada y de gran tecnología. Se puede lograr aplazar mantenimientos mayores en base a una correcta aplicación del mantenimiento preventivo cíclico aplicado al servicio. Esto va a estar relacionado directamente con las estrategias ejecutadas en la flota.

F.4. Control de impacto ambiental y seguridad: La compañía minera cumple con todos los estándares relacionados con la seguridad e impacto ambiental. Se puede comprometer e incrementar la relación que existe entre la seguridad e impacto ambiental durante el servicio

---

<sup>44</sup> SAP R3: Software de control de procesos a través de módulos.

<sup>45</sup> ERP: Enterprise Resource Planning" traducido, Planificación de recursos empresariales.

de mantenimiento, considerando los espacios cronológicos que implica fomentar esta práctica del control ambiental y cuidar la integridad física del personal técnico durante el proceso.

#### 4.1.4.2 Maximizar oportunidades

Se describe las variables situacionales correspondientes a las oportunidades y se presenta las propuestas de mejora respectivas para maximizarlas correlativamente.

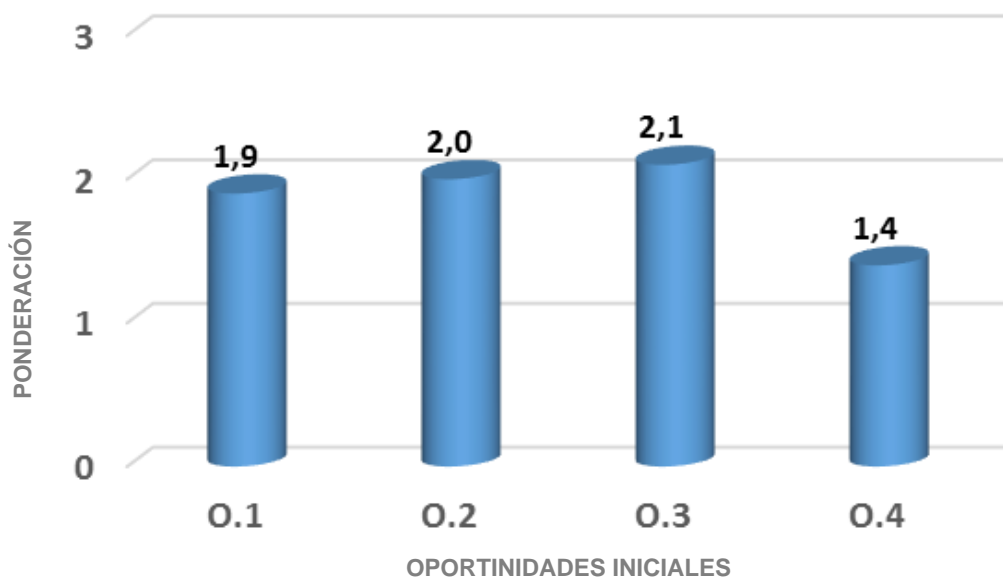


Figura 22. Estadístico de ponderación de oportunidades inicial

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

- O.1. Optimizar capacidades H-H: Durante la implementación del proceso de capacidades H-H, se planteó un espacio inicial total de 71,4 H-H destinados para mantenimientos preventivos de la flota de camiones 777F CAT; lo que se busca es reducir y distribuir eficientemente estas capacidades, bajo un estudio de tiempos y predecir la carga.
- O.2. Incrementar la vida útil de los equipos: En el proceso del mantenimiento preventivo, se desarrolla un total de 74 actividades, las cuales están ligados al servicio de diferentes componentes de los equipos. Si no se definen estratégicamente el manejo de estas, pueden desarrollar fallas potenciales perjudiciales a futuro. Se busca objetivamente proponer el desarrollo de nuevas estrategias de mantenimiento en función al contexto operacional, de esta manera, contribuir con la vida útil del equipo respectivo.
- O.3. Incrementar la DM: Se ha registrado una disponibilidad mecánica promedio del 92,91 % de la flota de camiones 777F CAT, considerando los tiempos de servicio planificados y no planificados. El área de mantenimiento ha distribuido uniformemente un espacio cronológico de 12 h para los ocho PM. Se requiere incrementar favorablemente este indicador, optimizando los tiempos de

mantenimientos preventivos, considerando que no todos los PM tienen el mismo proceso cronológico.

Tabla 14

*Promedio de la DM flota 777F CAT*

<b>Equipo</b>	<b>Horas No Prog</b>	<b>Horas Prog</b>	<b>% DM</b>
777F-1	34,8	23,4	91,91
777F-2	40,6	21,7	91,35
777F-3	24,3	23,8	93,31
777F-4	10,6	26,8	94,81
777F-5	31,1	24,6	92,27
777F-6	18,8	25,9	93,79
		DM (Prom)	92,91

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2012.

O.4. Acotar eficientemente costos de operación: El área de mantenimiento registra sus costos operacionales (accesorios y lubricantes) en base a la facturación posterior al servicio, integrando posteriormente cada recurso a su OT respectiva para la notificación y el cierre técnico final. Bajo un análisis del Rend-h se va a proyectar los costos unitarios a través de un mediado plazo, logrando validar y asociar cada recurso a su estrategia y PM correspondiente, de esta manera, limitando los costos aplicados al servicio.

#### 4.1.4.3 Minimizar debilidades

Se describe las variables situacionales correspondientes a las debilidades y se presentan las propuestas de mejora respectivas para minimizarlas correlativamente.

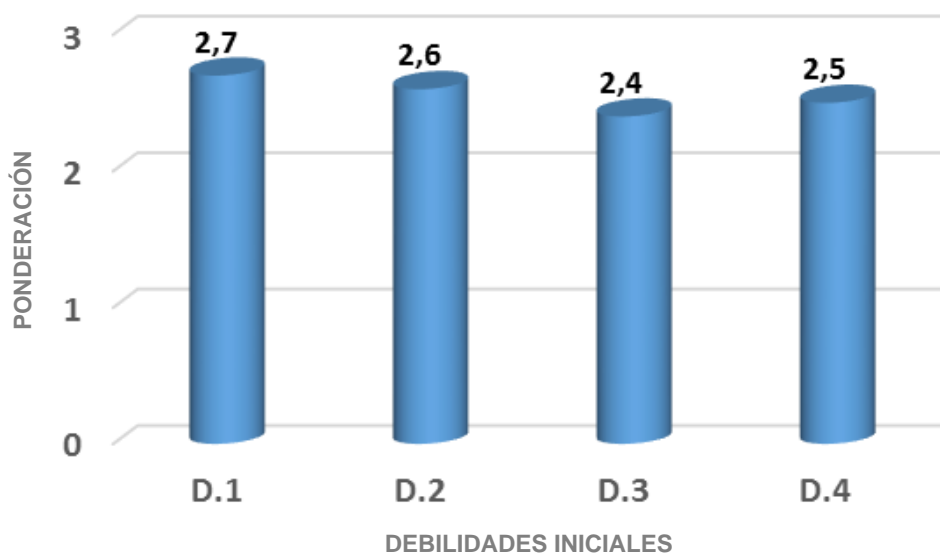


Figura 23. Estadístico de ponderación de debilidades inicial

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

D.1. Falta de coordinación del pre-mantenimiento: Para el desarrollo inicial del lavado de equipo, se genera una congestión por la falta de coordinación en el desarrollo de las actividades correspondientes a este, ya que se podrían producir fallas en componentes electrónicos y eléctricos en el equipo a causa del lavado, como consecuencia, se producen prolongaciones de tiempos hasta de 2,1 h. Para controlar

este factor, se implementarán una secuencia de actividades que permitirá la viabilidad del proceso, así, minimizar el tiempo de lavado.

D.2. Administración de actividades pendientes: Durante el proceso del mantenimiento preventivo, se generan actividades en condición de backlog<sup>46</sup>, para lo cual, se requiere la re-programación a futuro. Algunas actividades no mantienen relación con las estrategias preventivas, por lo que, dificulta la re-programación de estas actividades. Se busca relacionar cada recurso con cada actividad, para conseguir un mayor control de las actividades re-programadas y concluir con los mantenimientos preventivos programados.

D.3. Falta de control del proceso de mantenimiento: Cuando se interna un equipo para mantenimiento preventivo, no se tiene un control continuo en el proceso, tampoco cuentan con diagramas Gantt aplicados al mantenimiento. Esto dificulta seguir el desarrollo de las actividades (cambio de accesorios y lubricantes) y la evaluación del análisis de rutas críticas. Con una nueva demanda de actividades preventivas y un nuevo estudio de tiempos, se implementaran diagramas Gantt de

---

<sup>46</sup> Backlog: Actividades pendientes de trabajo.

mantenimientos preventivos para cada PM respectivamente, de esta manera, influenciar un mayor control del proceso.

D.4. Estandarizar espacios cronológicos: El tiempo preventivo propuesto inicialmente por el área de mantenimiento eran espacios cronológicos horizontales de 12 h para todos los PM de la flota de camiones 777F CAT. Para este proceso, el área de mantenimiento no cuenta con un estándar cronológico aplicado al servicio. Bajo un procedimiento de estudio de tiempos, se integrarán estándares cronológicos con la finalidad de optimizar tiempos de mantenimientos preventivos.

#### **4.1.4.4 Minimizar amenazas**

Se describe las variables situacionales correspondientes a las amenazas y se presenta las propuestas de mejora respectivas para minimizarlas correlativamente.

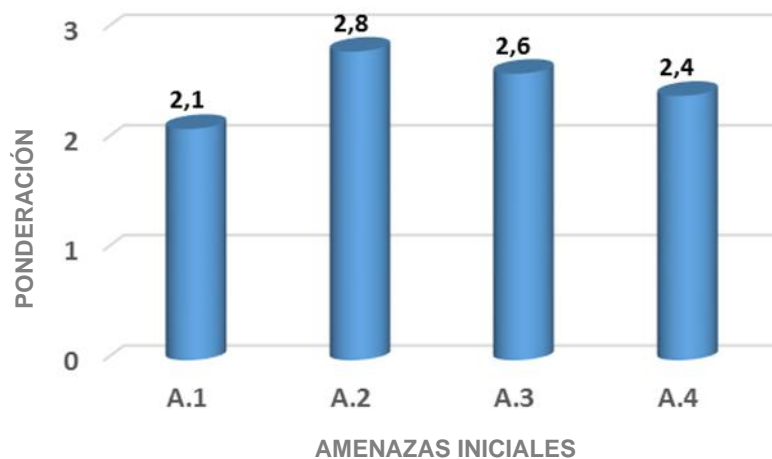


Figura 24. Estadístico de ponderación de amenazas inicial  
 Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

A.1. Incremento de costos de fallo: Se ha registrado una falla, debido al desgaste por abrasión en las planchas de las tolvas de la flota de camiones 777F CAT. Esta falla fue desarrollándose durante su operación, sin detectarlas hasta su condición final. Esto provocó una parada no planificada de la flota, perjudicando tanto la operación del equipo como la producción, el tiempo de mantenimiento requerido fue de aproximadamente 18 h por camión. Se implementarán actividades preventivas que permitan el monitoreo de las planchas de las tolvas de la flota de camiones con la finalidad de evitar mantenimientos correctivos y pérdidas de la producción.

A.2. Impacto de la DM por extensión de tiempos: Con una incorrecta distribución de tiempos preventivos, por la falta de coordinación e

improvisaciones, se generan extensiones cronológicas perjudiciales para la flota de camiones 777F CAT, de esta manera, generando un impacto considerable en la disponibilidad mecánica. Se busca incrementar y de dar la máxima disponibilidad mecánica de equipo, en base a un nuevo estudio del proceso de mantenimiento preventivo.

A.3. Desarrollo de mantenimientos a quiebre: La flota de camiones 777F CAT se encuentra propensa a desarrollar fallas potenciales, debido a las actividades ocultas que están relacionadas con el contexto operacional y que rodean al equipo, actualmente se cuentan con un total de 74 actividades preventivas. Se busca incrementar estratégicamente las actividades de mantenimiento preventivos aplicados al servicio con la finalidad de garantizar un mantenimiento óptimo para el proceso.

A.4. Competitividad de costos en el mercado: El área de mantenimiento, no cuenta con un centro de costos operacionales (accesorios y lubricantes) planificados a un mediano plazo. Para innovar en mantenimiento a costa de la mejor inversión alternativa en el mercado, es necesario consolidar todos los recursos con la finalidad de proyectar a un nivel estratégico los costos operacionales planificados.

## 4.2 Estudio de tiempos aplicados a la flota 777F CAT

Se realiza el estudio de tiempos de las actividades del mantenimiento preventivo, aplicadas a la flota de equipos 777F CAT, realizando un análisis del proceso con la finalidad de estandarizar y optimizar la cronología del servicio.

### 4.2.1 Selección de procesos

Dentro de este parámetro para la selección de procesos, se determina tres puntos fundamentales, las cuales determinarán el círculo para la selección. Se clasificaran en tres sub-grupos: el primero se basa en el pre-mantenimiento (lavado de equipo); en el segundo en el mantenimiento preventivo mecánico y el tercero, en el mantenimiento preventivo eléctrico, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 15

*Clasificación de procesos para PM*

<b>Procesos para mantenimiento</b>
Pre-mantenimiento
Mantenimiento mecánico
Mantenimiento eléctrico

Fuente: Raouf, D. (2005). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*.

#### 4.2.2 Clasificación de actividades en elementos

Para la clasificación del pre-mantenimiento (lavado de equipo), se están clasificando según su proceso de aplicación, desde la parte que implica la seguridad, la protección de componentes críticos (ECM del motor, alternador, filtros respiradores, etc.), lavado de accesorios (filtros, bombas, etc.), lavado de componentes (motor, convertidor de par, transmisión, diferencial, mandos finales, tolva, etc.) y la ejecución de una inspección final de equipo.

Tabla 16

##### *Clasificación del pre-mantenimiento*

<b>Pre-mantenimiento</b>
Actividades seguridad
Protección de componentes
Lavado de accesorios
Lavado de componentes
Inspecciones generales

Fuente: Raouf, D. (2005). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*.

Para la clasificación del mantenimiento preventivo mecánico, se tiene en cuenta aspectos de seguridad, la toma de muestras de aceites lubricantes (motor, diferencial, mandos finales, sistema hidráulico, etc.), limpiezas de accesorios (tapones magnéticos, respiraderos, rejillas, etc.), cambios de accesorios (elementos filtrantes de aire y aceites, sellos, etc.),

cambios de aceites lubricantes (Motor, transmisión, sistema hidráulico, mandos finales, diferencial, etc.), calibración de válvulas de motor, inspecciones de niveles (al concluir con los cambios respectivos de fluidos), mediciones (condición y medición de espesores), lubricación manual de componentes específicos y, finalmente, las pruebas de equipo.

Tabla 17

*Clasificación del mantenimiento mecánico*

---

<b>Mantenimiento Mecánico</b>
Actividades seguridad
Tomas de muestra
Limpiezas de accesorios
Cambios de accesorios
Cambios de lubricantes
Calibración válvulas
Inspecciones de niveles
Mediciones
Lubricación de componentes
Pruebas de equipo

---

Fuente: Raouf, D. (2005). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*.

Para la clasificación del mantenimiento preventivo eléctrico, también se considera aspectos de seguridad, revisiones de conexiones generales y la revisión de controles (control de la transmisión, controles de dirección, control de frenos, etc.).

Tabla 18

*Clasificación del mantenimiento eléctrico*

<b>Mantenimiento Eléctrico</b>
Actividades seguridad
Revisiones conexiones
Revisiones de controles

Fuente: Raouf, D. (2005). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*.

### **4.2.3 Observación del proceso**

Para la validación e inclusión de las actividades de mantenimiento preventivo, se realiza en base a la observación y evaluación repetitiva del ciclo del proceso, así, determinando las actividades críticas que influyen en el equipo, desde aspectos de mantenimientos operativos hasta las pruebas finales de operación que implica la parada planificada del equipo.

Se establecieron límites cronológicos, asimismo, la validación de cada actividad preventiva en cada PM respectivo, también se vincularon los recursos (accesorios y lubricantes) y capacidades correspondientes, con las designaciones en función del puesto de trabajo y capacidades de H-H empleadas para el proceso del mantenimiento preventivo.

#### 4.2.4 Estándares de tiempos

Se estandarizaron los tiempos de las actividades preventivas, correspondientes al pre-mantenimiento del equipo, con un total de 41 actividades y con una cronología lineal de 1,19 h. A continuación, se muestra el desarrollo y los estándares de tiempos empleados para el pre-mantenimiento (lavado de equipo) de la flota de camiones 777F CAT.

Tabla 19

##### *Cronología del pre-mantenimiento*

<b>N°</b>	<b>Actividades del pre-mantenimiento</b>	<b>Tiempo</b>
001	Elaboración de IPERC y ATS	0,10
002	Posicionamiento de equipo en bahía	0,01
003	Proteger respiradero tanque Tx	0,02
004	Proteger respiradero tanque HYD	0,02
005	Proteger respiradero tanque torq convert	0,02
006	Proteger respiradero tanque combustible	0,02
007	Proteger respiradero housing diferencial	0,02
008	Proteger válvula alivio tanque dirección	0,02
009	Proteger respiraderos ruedas delantero	0,02
010	Proteger alternador	0,02
011	Proteger ECM del motor	0,03
012	Retirar tapas de PRE-CLEANERS	0,02
013	Lavado de tolva	0,09
014	Lavado plataforma exterior de cabina	0,02
015	Lavado exterior de cabina	0,02
016	Lavado zona frontal de equipo	0,02
017	Lavado de PRE-CLEANERS	0,01
018	Lavado zona izquierdo del equipo	0,02
019	Lavado de filtros HYD	0,02
020	Lavado zona posterior de equipo	0,02
021	Lavado zona derecha de equipo	0,02
022	Lavado filtros de Tx	0,01
023	Lavado de barras, rotulas direc y pines	0,02

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

Continuación de la Tabla 19

*Cronología del pre-mantenimiento*

<b>N°</b>	<b>Actividades del pre-mantenimiento</b>	<b>Tiempo</b>
024	Lavado de Arm center	0,02
025	Lavado zona Izquierda/Derecha de motor	0,01
026	Lavado zona superior motor	0,01
027	Lavado zona superior Tx	0,01
028	Lavado zona superior torq convert	0,01
029	Lavado zona inferior torq convert	0,01
030	Lavado filtro carga torq convert	0,01
031	Lavado de bombas de motor	0,02
032	Lavado de filtros de motor	0,02
033	Lavado de radiador	0,05
034	Lavado zona superior de baterías	0,02
035	Lavado zona superior de máquina	0,02
036	Lavado de mandos finales	0,02
037	Lavado de diferencial	0,01
038	Lavado de neumáticos delantero	0,03
039	Lavado de neumáticos posterior	0,03
040	Inspección final de lavado de equipo	0,10
041	Orden y limpieza de área de trabajo	0,20

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

Se estandarizaron los tiempos de las actividades preventivas, correspondiente al proceso de mantenimiento mecánico, con un total de 102 actividades y con una cronología lineal de 18,87 h. A continuación, se muestra el desarrollo y los estándares de tiempos empleados para el mantenimiento mecánico de la flota de camiones 777F CAT.

Tabla 20

*Cronología del mantenimiento mecánico*

<b>N°</b>	<b>Actividades PM mecánico</b>	<b>Tiempo</b>
001	Elaboración de IPERC y ATS	0,10
002	Tomar muestra aceite motor	0,02
003	Tomar muestra aceite dirección	0,02
004	Tomar muestra aceite diferencial	0,02
005	Tomar muestra aceite mandos finales	0,02
006	Tomar muestra aceite Tx	0,02
007	Tomar muestra aceite HYD	0,02
008	Tomar muestra aceite ruedas delantero	0,02
009	Tomar muestra refrigerante	0,02
010	Limpiar Tapones magnéticos mandos finales	0,04
011	Limpiar respiradero de cárter	0,02
012	Limpiar paneles de radiador	0,08
013	Limpiar rejilla/tapa llenado combustible	0,02
014	Limpiar rejilla SCREEN de Tx	0,05
015	Limpiar parabrisas/espejos general	0,05
016	Cambio aceite de motor	0,90
017	Cambio aceite Convertidor de par	0,80
018	Cambio aceite de Tx	0,70
019	Cambio aceite de dirección	0,50
020	Cambio aceite HYD	1,80
021	Cambio aceite Diferencial/Mandos Finales	2,00
022	Cambio aceite Bb auto lubricación	0,10
023	Cambio aceite ruedas delantero	0,30
024	Cambio filtros de aceite motor	0,04
025	Cambio filtros de Tx	0,04
026	Cambio filtro carga torq convert	0,04
027	Cambio filtro secundario combustible	0,02
028	Cambio filtro primario de combustible	0,02
029	Cambio filtro HYD	0,02
030	Cambio filtro HYD drenaje Bb dirección	0,02
031	Cambio filtro HYD retorno sist dirección	0,02
032	Cambio filtro liberación freno parqueo	0,02
033	Cambio O´ring anillo filtro dirección	0,02
034	Cambio filtro primario de aire	0,04
035	Cambio filtro secundario de aire	0,04
036	Cambio filtro exterior de cabina	0,02
037	Cambio filtro de aire acondicionado	0,02
038	Cambio respiradero tanque combustible	0,02
039	Cambio respiradero tanque HYD	0,02

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

Continuación de la Tabla 20

*Cronología del mantenimiento mecánico*

<b>N°</b>	<b>Actividades PM mecánico</b>	<b>Tiempo</b>
040	Cambio respiradero tanque Tx	0,02
041	Cambio respiradero tanque torq convert	0,02
042	Cambio respiradero de diferencial	0,02
043	Cambio Gasket tapón rueda delantero	0,04
044	Cambio Gasket tapón magnético Mando Fin	0,04
045	Cambio Gasket rejilla torq convert	0,02
046	Cambio sello filtro torq convert	0,02
047	Cambio sello filtro torq convert	0,02
048	Cambio sello freno de parqueo	0,02
049	Cambio O´ring tapón magnético mando final	0,04
050	Calibración de válvulas de motor	5,50
051	Inspección nivel aceite de motor	0,01
052	Inspección nivel aceite de Tx	0,01
053	Inspección nivel aceite HYD	0,01
054	Inspección nivel aceite diferencial	0,01
055	Inspección nivel aceite de mandos finales	0,01
056	Inspección nivel aceite de dirección	0,01
057	Inspección nivel de refrigerante	0,01
058	Inspección varillaje de dirección	0,01
059	Inspección nivel botella de ETHER	0,01
060	Inspección base de tolva (Medición espesor)	0,20
061	Inspección lateral Izquierda Tolva (Medición espesor)	0,20
062	Inspección lateral Derecho Tolva (Medición espesor)	0,20
063	Inspección posterior tolva (Medición espesor)	0,20
064	Inspección condición de neumáticos delantero	0,10
065	Inspección condición de neumáticos posterior	0,10
066	Inspección válvula alivio tanque dirección	0,05
067	Inspección actuadores suspensión delantero	0,02
068	Inspección actuadores suspensión posteriores	0,02
069	Medición desgaste de frenos delantero	0,50
070	Medición desgaste de frenos posterior	0,50
071	Medición TRUSH PIN	0,30
072	Medición altura suspensión delantera RH	0,02
073	Medición altura suspensión delantera LH	0,02
074	Medición altura suspensión posterior RH	0,02
075	Medición altura suspensión posterior LH	0,02
076	Lubricar cojinete mando ventilador	0,02
077	Lubricar polea tensora de la correa	0,02
078	Drenar agua/sedimentos tanque combustible	0,01
079	Cortar filtros de motor	0,02

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

Continuación de la Tabla 20

*Cronología del mantenimiento mecánico*

<b>N°</b>	<b>Actividades PM mecánico</b>	<b>Tiempo</b>
080	Cortar filtro primario de combustible	0,02
081	Cortar filtro secundario de combustible	0,02
082	Cortar filtros de Tx	0,02
083	Cortar filtros de dirección	0,02
084	Cortar filtros HYD	0,02
085	Cortar filtro del diferencial	0,02
086	Agregar agua recipiente limpiaparabrisas	0,05
087	Purgar sistema de combustible	0,05
088	Rellenar tanque de grasa	0,09
089	Verificar puntos de engrase	0,09
090	Conectar ET(Verificar códigos activos)	0,10
091	Conectar ET(Verificar códigos registrados)	0,10
092	Conectar ET(Verificar códigos eventos)	0,10
093	Prueba P° aceite motor (ET) alta RPM	0,04
094	Prueba P° aceite motor (ET) baja RPM	0,04
095	Prueba corte de actuadores (ET)	0,30
096	Verificar P° Acumuladores freno servicio(2)	0,04
097	Verificar P° Acumuladores freno Parqueo(1)	0,04
098	Verificar P° carga en advisor (Vims) delantero	0,04
099	Verificar P° carga en advisor (Vims) posterior	0,04
100	Evaluar parámetros de motor (ET)	0,10
101	Pruebas de calado (Motor)	0,80
102	Orden y limpieza de área de trabajo	0,30

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

Se estandarizaron los tiempos de las actividades preventivas, correspondiente al proceso de mantenimiento eléctrico, con un total de 102 actividades y con una cronología lineal de 18,87 h. A continuación, se muestra el desarrollo y los estándares de tiempos empleados para el mantenimiento mecánico de la flota de camiones 777F CAT.

Tabla 21

*Cronología del mantenimiento eléctrico*

<b>N°</b>	<b>Actividades PM eléctrico</b>	<b>Tiempo</b>
001	Elaboración de IPERC y ATS	0,10
002	Revisar luces direccionales	0,05
003	Revisar luces neblineros	0,05
004	Revisar luces carretera	0,06
005	Revisar luces de freno	0,05
006	Revisar luces de ARC	0,05
007	Revisar luces de retroceso	0,05
008	Revisar luces de motor	0,05
009	Revisar luces de escalera	0,05
010	Revisar indicadores de cabina	0,20
011	Revisar luces/Interruptores de cabina	0,20
012	Revisar claxon	0,05
013	Revisar tablero advisor	0,35
014	Revisar harness zona inferior motor	0,35
015	Revisar harness zona post chasis	0,35
016	Revisar harness zona derecha motor	0,35
017	Revisar harness zona superior de Tx	0,35
018	Revisar harness zona superior torq convert	0,35
019	Revisar harness entrada de cabina	0,35
020	Revisar fusibles sistema eléctrico	0,25
021	Revisar estado de baterías	0,10
022	Revisar voltaje de carga de alternador	0,10
023	Revisar controles de Tx	0,25
024	Revisar controles de dirección	0,25
025	Revisar controles de frenos	0,25
026	Revisar controles de desaceleración	0,25
027	Revisar estado asiento(control inclinación)	0,08
028	Revisar estado asiento(control desplazamiento)	0,08
029	Verificar voltaje de baterías	0,05
030	Inspección alternador, fajas y templado	0,10
031	Inspección terminales cables baterías	0,10
032	Inspección estado de soporte de baterías	0,10
033	Limpieza posterior de cabina	0,10
034	Orden y limpieza de área de trabajo	0,20

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

### **4.3 Gestión estratégica de mantenimiento 777F CAT**

Con actividades preventivas y tiempos estandarizados, se pueden relacionar cada una de estas y a cada nivel de mantenimiento en una cartilla de mantenimiento preventivo, asimismo, vincular los recursos (accesorios y lubricantes) y la identificación de los números de partes respectivos, cantidades de consumos, capacidades H-H. De esta manera, desarrollar un nuevo proceso estratégico, que tenga la viabilidad de proporcionar el mayor alcance para la aplicación del servicio preventivo de la flota de camiones 777F CAT.

Con esto, se logrará conseguir una programación acertada cuando se programen los mantenimientos preventivos; además, siguiendo con el correcto procedimiento en la programación, se tiene un mayor acceso al programa de mantenimiento y con estándares de tiempos flexibles al proceso.

Se presenta las nuevas estrategias de mantenimiento en el **anexo**

**B.**

Inicialmente, no se contaban con actividades del pre-mantenimiento (lavado de equipo), las cuales dificultaban el inicio del proceso. Ahora se han implementado 41 actividades. Se ha incrementado estratégicamente 28 actividades para el puesto de trabajo mecánico, permitiendo un mayor alcance al proceso. No se contaban con actividades para el puesto eléctrico y se ha implementado 34 actividades.

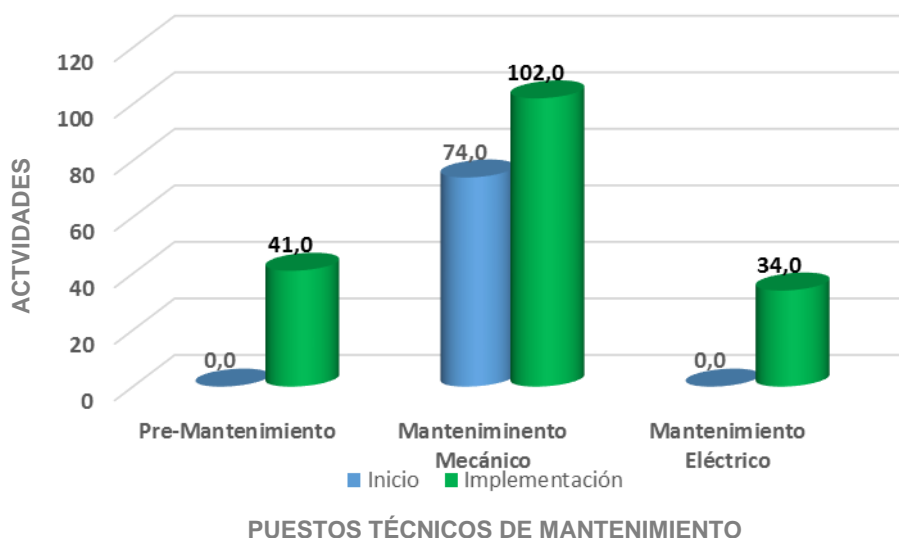


Figura 25. Análisis estadístico de estrategias de mantenimiento  
Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

#### 4.4 Desarrollo de diagramas Gantt 777F CAT

Con un proceso estratégico definido, Se puede proyectar la cronología en un espacio de distribución real, de esta manera, evaluar la mejor ruta para las actividades críticas que demanden de mayor espacio

cronológico y afecten la paralización del equipo, de distribuir una carga laboral factible y maximizar el uso de los recursos (accesorios y lubricantes) en el proceso de mantenimiento. Se presentarán los diagramas Gantt correspondientes al PM-01 hasta el PM-08 respectivamente.

#### **4.4.1 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-01**

Correspondiente a un mantenimiento preventivo de nivel PM-01, el diagrama Gantt se muestra en el **anexo C-1**.

#### **4.4.2 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-02**

Correspondiente a un mantenimiento preventivo de nivel PM-02<sup>47</sup>, el diagrama Gantt se muestra en el **anexo C-2**.

#### **4.4.3 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-03**

Correspondiente a un mantenimiento preventivo de nivel PM-03<sup>48</sup>, el diagrama Gantt se muestra en el **anexo C-3**.

---

<sup>47</sup> PM-02: Nivel de mantenimiento preventivo de 500 Horas.

<sup>48</sup> PM-03: Nivel de mantenimiento preventivo de 750 Horas.

#### **4.4.4 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-04**

Correspondiente a un mantenimiento preventivo de nivel PM-04<sup>49</sup>, el diagrama Gantt se muestra en el **anexo C-4**.

#### **4.4.5 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-05**

Correspondiente a un mantenimiento preventivo de nivel PM-05<sup>50</sup>, el diagrama Gantt se muestra en el **anexo C-5**.

#### **4.4.6 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-06**

Correspondiente a un mantenimiento preventivo de nivel PM-06<sup>51</sup>, el diagrama Gantt se muestra en el **anexo C-6**.

#### **4.4.7 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-07**

Correspondiente a un mantenimiento preventivo de nivel PM-07<sup>52</sup>, el diagrama Gantt se muestra en el **anexo C-7**.

---

<sup>49</sup> PM-04: Nivel de mantenimiento preventivo de 1000 Horas.

<sup>50</sup> PM-05: Nivel de mantenimiento preventivo de 1250 Horas.

<sup>51</sup> PM-06: Nivel de mantenimiento preventivo de 1500 Horas.

<sup>52</sup> PM-07: Nivel de mantenimiento preventivo de 1750 Horas.

#### **4.4.8 Diagrama Gantt de mantenimiento PM-08**

Correspondiente a un mantenimiento preventivo de nivel PM-08, el diagrama Gantt se muestra en el **anexo C-8**.

#### **4.5 Análisis de tiempos preventivos**

Inicialmente, se distribuían los tiempos de mantenimiento preventivos a una escala uniforme de 12 h para todos los PM de la flota. Ahora con un análisis cronológico propuesto, se ha validado cada actividad con cada espacio de tiempo, logrando conseguir una reducción de los tiempos de servicios considerablemente, a excepción del PM-01, se ha superado en un espacio de 0,04 h con respecto al tiempo inicial propuesto. El tiempo optimizado permitirá disponer de la flota para operación, de esta manera, incrementar favorablemente la disponibilidad mecánica de equipo para fines operacionales requeridos.

El espacio cronológico total de mantenimiento preventivo inicial es de 96 h y el espacio cronológico con el nuevo estudio es de 69,18 h.

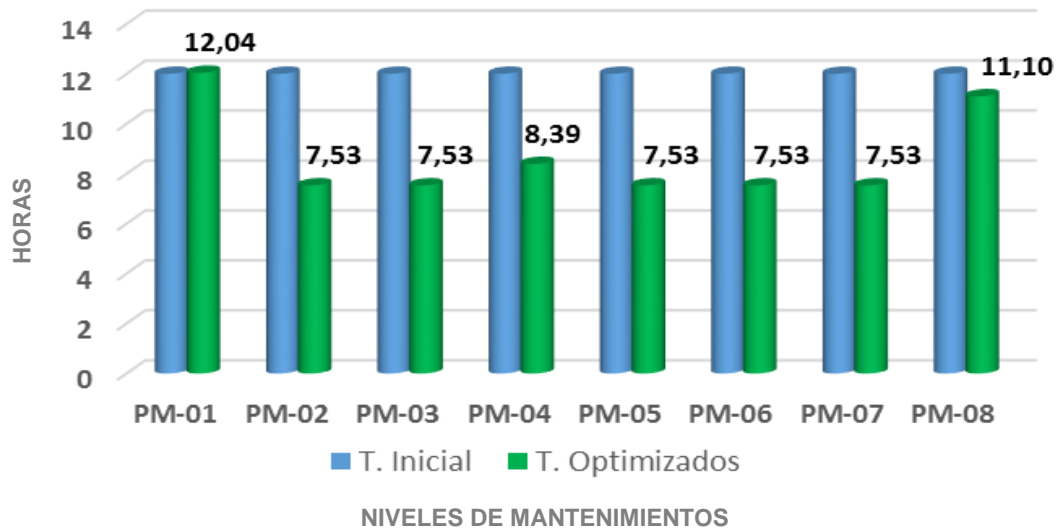


Tabla 26. Análisis de tiempos preventivos  
Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

#### 4.6 Cálculo del OPEX (accesorios y lubricantes)

Para el cálculo de los OPEX, basado en los recursos generales y aplicación de lubricantes en los mantenimientos preventivos de la flota de camiones 777F CAT, se tuvo en cuenta fundamentalmente el cálculo del Intervalo por PM, de esta manera, poder proyectar estos costos en función al cálculo de los costos unitarios respectivos con la finalidad de determinar el presupuesto estratégico financiero final.

##### 4.6.1 Cálculo del Rend-h

Para este parámetro del Rend-h, se tuvo en cuenta el registro acumulativo de operación por cada equipo, el cual, se registra de manera

diaria por el área de mantenimiento. Este punto de medida determina el control progresivo para la ejecución del nivel de mantenimiento preventivo a desarrollar. Otra aplicación de este punto de medida será proveer las horas desarrolladas de operación por día.

Tabla 22

*Rend-h de flota 777F CAT*

<b>Flota 777F CAT</b>	<b>Rend-h</b>
Camión minero 777F-1	19,7
Camión minero 777F-2	20,1
Camión minero 777F-3	19,0
Camión minero 777F-4	17,9
Camión minero 777F-5	21,1
Camión minero 777F-6	19,6

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

El Rend-h para este caso de estudio será del 19,6 h. Este resultado, se puede interpretar como el número total de horas de operación por día promedio de la flota de camiones 777F CAT, entonces:

$$Rend Hr = 19,6 h$$

#### **4.6.2 Cálculo del Intervalo por PM**

Ahora se determina el intervalo de mantenimiento preventivo en días que existe entre cada PM, calculamos este parámetro de la ecuación [6].

$$\text{Intervalo de PM} = (\text{Frec Min PM})/(\text{Rend} - h)$$

Donde la:

$$\text{Frec Min PM} = 250 h$$

Donde el Rend-h es el valor numérico promedio de la tabla 22, reemplazando en la ecuación [6] tenemos:

$$\text{Intervalo de PM} = (\text{Frec Min PM})/(\text{Rend} - h)$$

$$\text{Intervalo de PM} = (250 h)/(19,6 h/día)$$

$$\text{Intervalo de PM} = 12,8 \text{ día}$$

Este resultado del intervalo de PM refiere que aproximadamente, cada 12,8 días sucederá un mantenimiento preventivo. Este valor permitirá realizar la proyección de los costos a un mediano plazo.

#### **4.6.3 Costos unitarios de recursos**

Para determinar los costos unitarios de los recursos (accesorios y lubricantes) asociados al mantenimiento preventivo, se ha identificado y validado las cantidades según su sistema funcional, de esta manera, el

producto de estas por las capacidades determinara los costos unitarios totales de los recursos. A continuación se muestra los costos unitarios de los recursos lubricantes.

Tabla 23

*Costos unitarios de recursos lubricantes*

<b>Lubricante</b>	<b>Grado</b>	<b>Cant</b>	<b>Und</b>	<b>C.U. [ \$ ]</b>	<b>C.T.U. [ \$ ]</b>
Aceite de motor	SAE 15W40	32,0	Gal	10,21	326,77
Aceite Convertidor de par	SAE 10W	5,5	Gal	7,69	42,30
Aceite de Tx	SAE 30W	25,0	Gal	8,20	205,00
Aceite de dirección	SAE 10W	15,0	Gal	7,69	115,35
Aceite HYD	SAE 10W	70,0	Gal	7,69	538,31
Aceite Diferenc/Mandos Finales	SAE 50W	80,0	Gal	8,20	656,00
Aceite Bb autolubricación	SAE 10W	0,1	Gal	7,69	0,77
Aceite ruedas delanteras	SAE 50W	4,0	Gal	8,20	32,80
Relleno depósito lubricante	Grade 2 NLGI	50,0	Kg	4,86	243,13

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

Se muestran los costos unitarios de los recursos de accesorios.

Tabla 24

*Costos unitarios de recursos por accesorios*

<b>Accesorio</b>	<b>Part Number</b>	<b>Cant</b>	<b>Und</b>	<b>C.U. [ \$ ]</b>	<b>C.T.U. [ \$ ]</b>
Filtro aceite de motor	1R-1808	2,0	Und	53,31	106,62
Filtro de Tx	328-3655	2,0	Und	133,37	266,74
Filtro carga torq convert	1R-0741	2,0	Und	25,91	51,82
Filtro secundario combustible	1R-0755	1,0	Und	85,00	85,00
Filtro primario combustible	326-1644	1,0	Und	55,57	55,57
Filtro HYD	328-3655	1,0	Und	133,37	133,37
Filtro HYD drenaje Bb dirección	126-1813	1,0	Und	108,99	108,99
Filtro HYD retorno sist dirección	144-0832	1,0	Und	94,61	94,61

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

Continuación de la Tabla 24

*Costos unitarios de recursos por accesorios*

<b>Accesorio</b>	<b>Part Number</b>	<b>Cant</b>	<b>Und</b>	<b>C.U. [ \$ ]</b>	<b>C.T.U. [ \$ ]</b>
Filtro liberación freno parqueo	134-0964	1,0	Und	129,46	129,46
O´ring anillo filtro dirección	103-8236	1,0	Und	5,36	5,36
Filtro primario de aire	246-5009	2,0	Und	200,53	401,06
Filtro secundario de aire	246-5010	2,0	Und	117,39	234,78
Filtro exterior de cabina	107-0266	1,0	Und	47,19	47,19
Filtro de aire acondicionado	149-1912	1,0	Und	62,29	62,29
Respiradero tanque combustible	8X-4575	1,0	Und	36,46	36,46
Respiradero tanque HYD	8X-4575	1,0	Und	36,43	36,43
Respiradero tanque Tx	8X-4575	1,0	Und	36,43	36,43
Respiradero tanque torq convert	8X-4575	1,0	Und	36,43	36,43
Respiradero de diferencial	9C-4937	1,0	Und	34,65	34,65
Gasket tapón rueda delantera	5B-3265	2,0	Und	4,68	9,36
Gasket tapón magnetic Mando Fin	1S-3889	2,0	Und	24,60	49,20
Gasket rejilla torq convert	9S-2760	1,0	Und	4,74	4,74
Sello filtro torq convert	8T-6444	1,0	Und	9,20	9,20
Sello filtro torq convert	6F-4855	1,0	Und	1,52	1,52
Sello freno de parqueo	194-7986	1,0	Und	15,41	15,41
O´ring tapón magnetic mando Fin	5F-1678	2,0	Und	2,49	4,98

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

#### **4.6.4 Proyección de costos a mediano plazo**

Para la proyección de costos, se considera el resultado del intervalo por PM con una aproximación entera de 12 días; para un mediano plazo, se realizarán exactamente 30 mantenimientos preventivos progresivos cíclicos; adicional a esto, se integrará 4 mantenimiento preventivos más con la finalidad de anticiparnos ante alguna variación del Rend-h. A esta escala de proyección, teniendo en cuenta la inclusión de los costos unitarios, para determinar los costos totales de operación (accesorios y

lubricación) que implica invertir estratégicamente, se calcularán sub-costos por recursos lubricantes y sub-costos por accesorios.

La proyección de costos se muestra en el **anexo D**.

#### 4.6.5 Costo total de la flota 777F CAT

Con la proyección de costos, se ha determinado el costo sub-total de los recursos lubricantes, correspondientes al servicio del mantenimiento preventivo de un año, con un valor monetario total de \$ 29 804,50. A continuación, se detallan los respectivos costos por lubricantes.

Tabla 25

*Sub-costo total de recursos lubricantes*

<b>Lubricante</b>	<b>C.T.U. [ \$ ]</b>	<b>C.T. [ \$ ] Proy</b>
Aceite de motor	326,77	11 110,06
Aceite Convertidor de par	42,30	169,18
Aceite de Tx	205,00	1 845,00
Aceite de dirección	115,35	922,82
Aceite HYD	538,31	4 306,50
Aceite Diferenc/Mandos Finales	656,00	2 624,00
Aceite Bb auto lubricación	0,77	3,08
Aceite ruedas delanteras	32,80	557,60
Relleno depósito lubricante	243,13	8 266,25
	Sub-total	29 804,50

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

También se ha determinado el costo sub-total de los recursos por accesorios, correspondientes al servicio del mantenimiento preventivo de un año, con un valor monetario total de \$ 42 091,17. A continuación, se detalla los respectivos costos por accesorios.

Tabla 26

*Sub-costo total de recursos por accesorios*

<b>Accesorio</b>	<b>C.T.U. [ \$ ]</b>	<b>C.T. [ \$ ] Proy</b>
Filtro aceite de motor	106,62	3 625,08
Filtro de Tx	266,74	4 534,58
Filtro carga torq convert	51,82	880,94
Filtro secundario combustible	85,00	2 890,00
Filtro primario combustible	55,57	1 889,38
Filtro HYD	133,37	1 066,96
Filtro HYD drenaje Bb dirección	108,99	1 852,83
Filtro HYD retorno sist dirección	94,61	1 608,37
Filtro liberación freno parqueo	129,46	2 200,82
O´ring anillo filtro dirección	5,36	91,12
Filtro primario de aire	401,06	13 636,04
Filtro secundario de aire	234,78	3 991,26
Filtro exterior de cabina	47,19	424,71
Filtro de aire acondicionado	62,29	560,61
Respiradero tanque combustible	36,46	619,82
Respiradero tanque HYD	36,43	291,44
Respiradero tanque Tx	36,43	291,44
Respiradero tanque torq convert	36,43	291,44
Respiradero de diferencial	34,65	589,05
Gasket tapón rueda delantera	9,36	74,88
Gasket tapón magnetic Mando Fin	49,20	393,60
Gasket rejilla torq convert	4,74	37,92
Sello filtro torq convert	9,20	73,60
Sello filtro torq convert	1,52	12,16
Sello freno de parqueo	15,41	123,28
O´ring tapón magnético mando final	4,98	39,84
	<b>Sub-total</b>	<b>42 091,17</b>

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

El costo total de la proyección a un mediano plazo del mantenimiento preventivo por camión 777F CAT es de \$ 71 895,67, por lo tanto el costo total de operación de recursos (accesorios y lubricantes) para la flota de 6 camiones mineros 777F CAT es de \$ 431 374,00.

#### **4.7 Condición final de análisis FODA**

Luego de realizar las propuestas de mejoras planteadas inicialmente, se ejecuta la evaluación de la condición final del análisis FODA, en relación al control sobre factores de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, con esto, incrementar favorablemente el balance estratégico situacional final.

##### **4.7.1 Análisis final de fortalezas**

Se presenta los resultados que implicaron incrementar favorablemente los índices iniciales de las fortalezas.

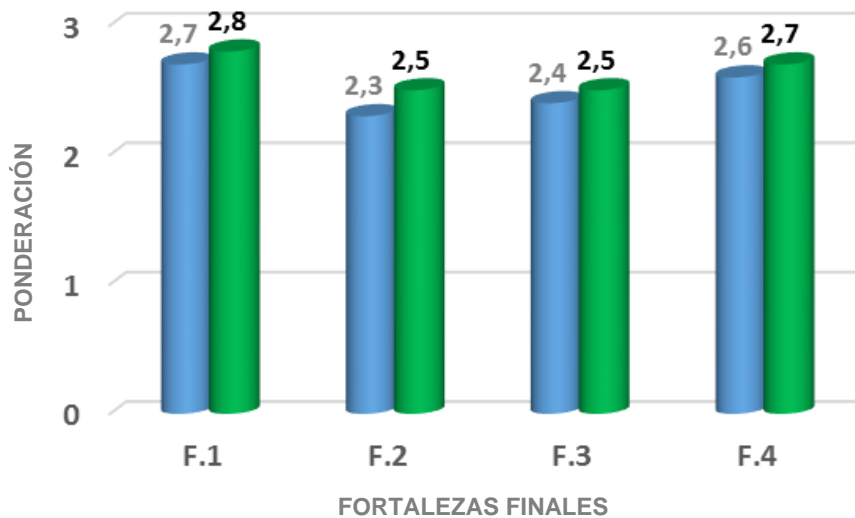


Figura 27. Estadístico de ponderación de fortalezas final  
 Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

- F.1. Excelente imagen corporativa minera: Se ha incrementado la disponibilidad mecánica de equipo, este parámetro contribuirá con el índice de la producción de la flota de camiones 777F CAT.
- F.2. Sistema de gestión SAP R3: Con la propuesta de las nuevas estrategias de mantenimiento, se tiene mayor control del proceso de la programación y notificación de las órdenes de trabajo, asimismo, facilitar el proceso de gestión de los recursos (accesorios y lubricantes) en el sistema SAP R3.

F.3. Equipos con poco recorrido y gran tecnología: Se puede alargar estas condiciones del equipo, con la aplicación sistemática de las estrategias de mantenimiento preventivas propuestas, con la finalidad, de aplazar mantenimientos de mayores niveles.

F.4. Control de impacto ambiental y seguridad: Se ha integrado al proceso de mantenimiento, actividades que competen al control del impacto ambiental y aspectos de seguridad que se vinculan directamente con el equipo. Además, se han considerado los espacios cronológicos aplicados a estos, de esta manera, contribuir con los estándares de la compañía minera.

A continuación, se muestra el resultado de la ponderación final de las fortalezas.

Tabla 27

*Ponderación de lista de fortalezas final*

<b>N°</b>	<b>Fortalezas</b>	<b>Pond</b>	<b>Pond 2</b>
F.1	Excelente imagen corporativa minera	2,7	2,8
F.2	Sistema de gestión mantenimiento SAP R3	2,3	2,5
F.3	Equipos con poco recorrido y gran tecnología	2,4	2,5
F.4	Control de impacto ambiental y seguridad	2,6	2,7
		Sub-total	10,5
		Sub-porcentaje	29,75 %

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

#### 4.7.2 Análisis final de oportunidades

Se presenta los resultados que implicaron incrementar favorablemente los índices iniciales de las oportunidades.

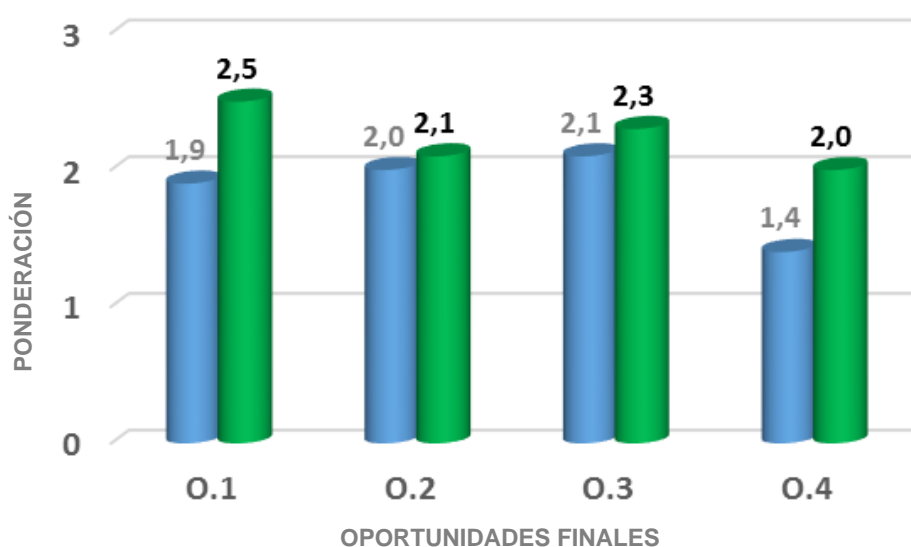


Figura 28. Estadístico de ponderación de oportunidades final  
Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

O.1. Optimizar las capacidades H-H: Se ha optimizado las capacidades de las horas hombre en 28,5 H-H. Inicialmente, se tenía una capacidad total de 71,4 H-H; luego, con un nuevo estudio y distribución, se optimizó a 42,9 H-H. A continuación, se muestra el análisis estadístico de las H-H.

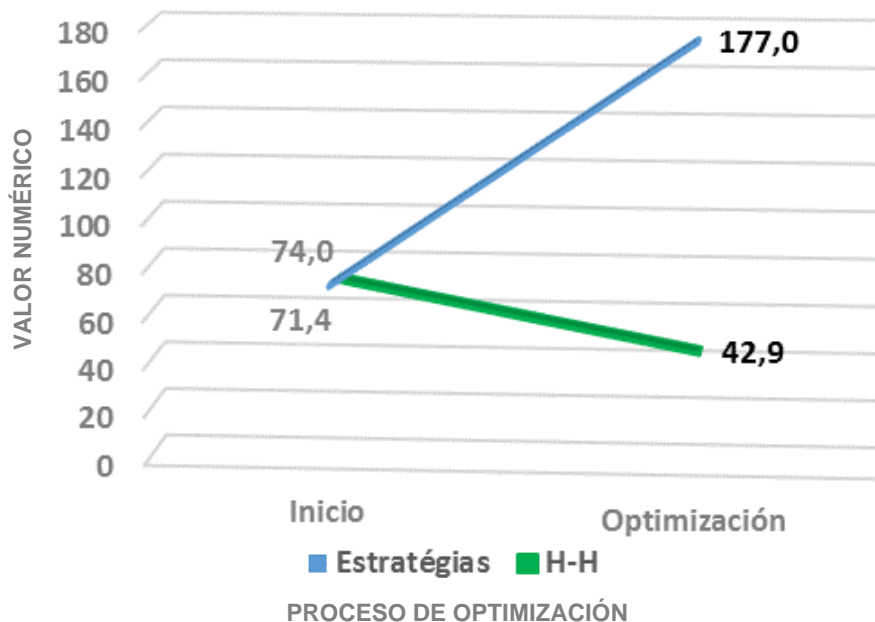


Figura 29. Optimización de H-H vs estrategias de mantenimiento  
 Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

O.2. Incrementar la vida útil de los equipos: La correcta aplicación de las actividades de mantenimientos preventivos propuestas detallan en base a una determinada frecuencia y validación, la sustitución de elementos y cambios de aceites lubricantes a los componentes de los diferentes sistemas. Esto contribuirá a lo largo con la vida útil del equipo.

O.3. Incrementar la DM: Luego de realizar un nuevo estudio de tiempos por mantenimiento preventivos y la distribución de los niveles PM

correspondientes, se ha incrementado el KPI de la disponibilidad mecánica de la flota de camiones 777F CAT en un 94,06 %.

Tabla 28

*Promedio de la DM de flota 777F CAT final*

<b>Equipo</b>	<b>Horas No Prog</b>	<b>Horas Prog</b>	<b>% DM</b>
777F-1	34,8	15,1	93,07
777F-2	40,6	19,6	91,65
777F-3	24,3	12,0	94,95
777F-4	10,6	15,9	96,32
777F-5	31,1	15,1	93,59
777F-6	18,8	18,6	94,80
		DM (Prom)	94,06

Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

O.4. Acotar eficientemente costos de operación: Se ha calculado y acotado los costos de operación de los recursos (accesorios y lubricantes) aplicados al servicio del mantenimiento preventivo, con un valor monetario planificado de \$ 431 374,00 correspondiente a un mediado plazo.

A continuación, se muestra el resultado de la ponderación final de las oportunidades.

Tabla 29

*Ponderación de lista de oportunidades final*

N°	Oportunidades	Pond	Pond 2
O.1	Optimizar capacidades H-H	1,9	2,5
O.2	Incrementar la vida útil de los equipos	2,0	2,1
O.3	Incrementar la DM	2,1	2,3
O.4	Acotar eficientemente costos de operación	1,4	2,0
		Sub-total	8,9
		Sub-porcentaje	25,21 %

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

### 4.7.3 Análisis final de debilidades

Se presenta los resultados que implicaron minimizar estratégicamente los índices iniciales de las debilidades.

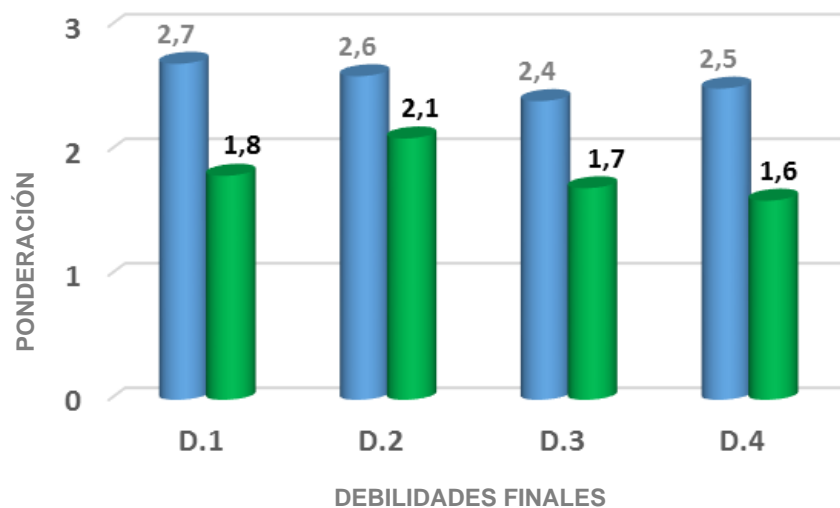


Figura 30. Estadístico de ponderación de debilidades final

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

D.1. Falta de control del pre-mantenimiento: Se ha realizado la inclusión de 41 actividades preventivas correspondientes al pre-mantenimiento del equipo, también el desarrollo del proceso en un diagrama Gantt. Esto permite la evaluación y viabilidad durante el proceso, así mismo, se ha reducido el espacio cronológico del pre-mantenimiento a 1,19 h.

D.2. Administración de actividades pendientes: Ahora se tendrá mayor control en la administración de las actividades pendientes que se generen durante el mantenimiento preventivo, con una designación específica de los recursos (accesorios y lubricantes) con las actividades y de tener la capacidad de re-programar en base a un registro consolidado.

D.3. Falta de control del proceso de mantenimiento: Se implementó un conjunto de diagramas Gantt aplicados al mantenimiento preventivo para todos los niveles de mantenimiento, desde el PM-01 hasta el PM-08, logrando con esto un mayor dominio y control del servicio preventivo de la flota de camiones 777F CAT.

D.4. Estandarizar espacios cronológicos: Se ha optimizado los tiempos de mantenimiento preventivos propuestos, inicialmente, por el área de mantenimiento en 25,7 h, estandarizando estratégicamente las cronologías para cada actividad y la distribución de las mismas.

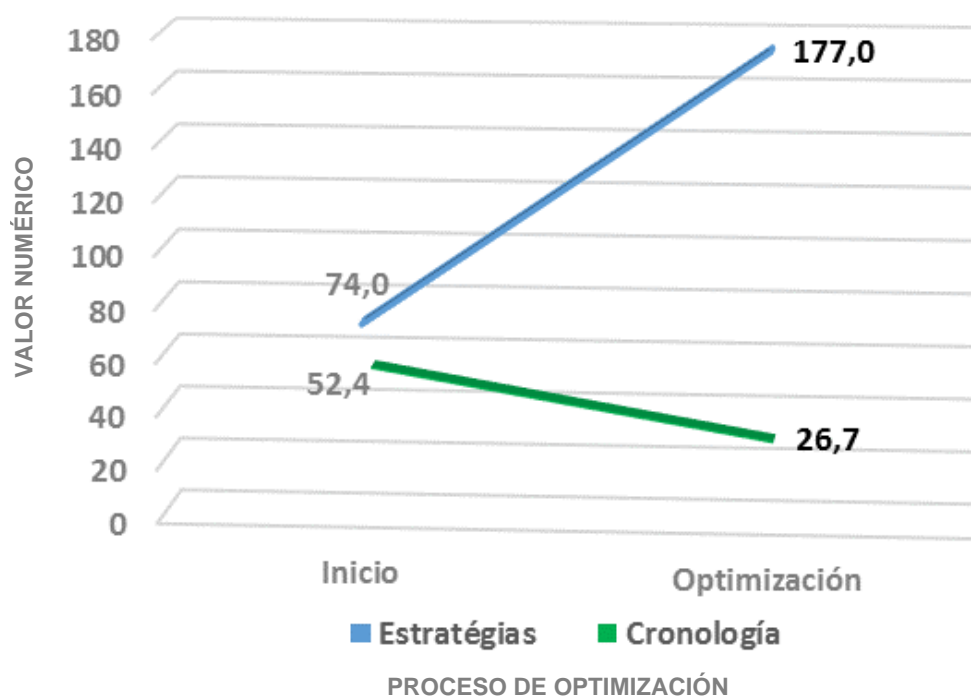


Figura 31. Optimización de tiempos vs estrategias de mantenimiento  
 Fuente: Compañía minera Minsur Pucamarca, 2015.

A continuación, se muestra el resultado de la ponderación final de las debilidades.

Tabla 30

*Ponderación de lista de debilidades final*

N°	Debilidades	Pond	Pond 2
D.1	Falta de coordinación del pre-mantenimiento	2,7	1,8
D.2	Administración de actividades pendientes	2,6	2,1
D.3	Falta de control del proceso de mantenimiento	2,4	1,7
D.4	Estandarizar espacios cronológicos	2,5	1,6
		Sub-total	7,2
		Sub-porcentaje	20,40 %

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA.*

#### 4.7.4 Análisis final de amenazas

Se presentan los resultados que implicaron minimizar estratégicamente los índices iniciales de las amenazas.

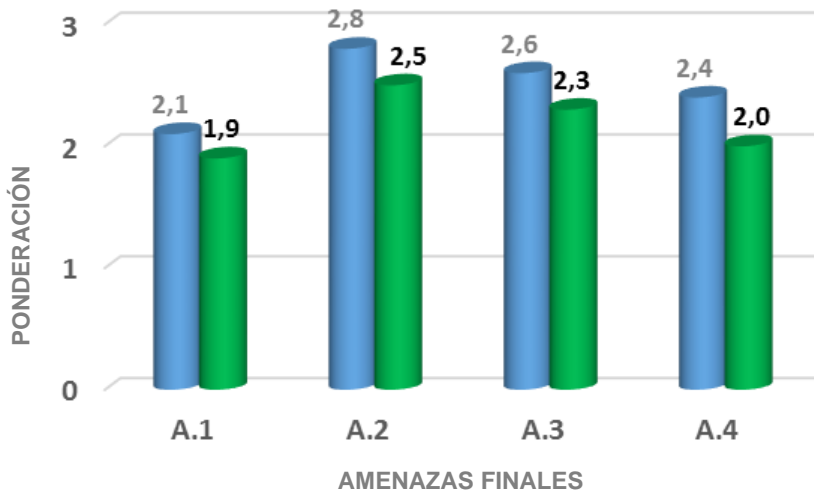


Figura 32. Estadístico de ponderación de amenazas final

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA.*

- A.1. Incremento de costos de fallo: Se estableció las actividades correspondientes al control de medición del nivel de desgaste de las planchas de la tolva de la flota de camiones, con espacio cronológico de 0,8 h. Esto se desarrollará con una frecuencia de 250 h, de esta manera, evitar paradas no planificadas que afecten la continua operación del equipo e incremento de costos de fallo.
- A.2. Impacto de la DM por extensión de tiempos: Con un nuevo espacio de tiempo optimizado, se puede alcanzar mayor disponibilidad mecánica. Esto estará sujeto directamente a un continuo análisis y control total en el proceso para lograr las metas establecidas por el servicio.
- A.3. Desarrollo de mantenimiento a quiebre: Se ha minimizado el desarrollo de mantenimientos a quiebre. Incrementó estratégicamente las actividades del mantenimiento preventivo en base a los registros de eventos y al entorno del contexto operacional. Inicialmente, se contaban con 74 estrategias, luego se incrementaron a un total de 177, logrando eliminar las improvisaciones y minimizar el desarrollo de fallas potenciales en la flota.

A.4. Competitividad de costos en el mercado: Con un valor presupuestal definido y acotado, se puede buscar la mejor inversión de recursos (accesorios y lubricantes) alternativos en el mercado y asociarlos con proveedores estratégicos para invertir en el mantenimiento preventivo de flota de camiones 777F CAT.

A continuación, se muestra el resultado de la ponderación final de las debilidades.

Tabla 31

*Ponderación de lista de amenazas final*

N°	Amenazas	Pond	Pond 2
A.1	Incremento de costos de fallo	2,1	1,9
A.2	Impacto de la DM por extensión de tiempos	2,8	2,5
A.3	Desarrollo de mantenimientos a quiebre	2,6	2,3
A.4	Competitividad de costos en el mercado	2,4	2,0
	Sub-total		8,7
	Sub-porcentaje		24,65 %

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

#### **4.8 Balance estratégico situacional final**

Bajo el mismo análisis del cálculo inicial, el resultado del FO final será la suma del valor porcentual de F según tabla 27 y el valor porcentual de O según tabla 29; asimismo, el resultado del FR final será la suma del valor porcentual negativa de D según tabla 30 y el valor porcentual de A

según tabla 31, tal como se muestra el resumen de estos parámetros en la siguiente tabla.

Tabla 32

*Resultados del FO y FR final*

( F + O )	( D + A )	% ( F + O )	% ( D + A )	% Total
19,4	15,9	54,96	45,04	100,00

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

Se presenta la relación estadística del valor porcentual del análisis final que existe entre el FO y el FR que representa en el proceso.

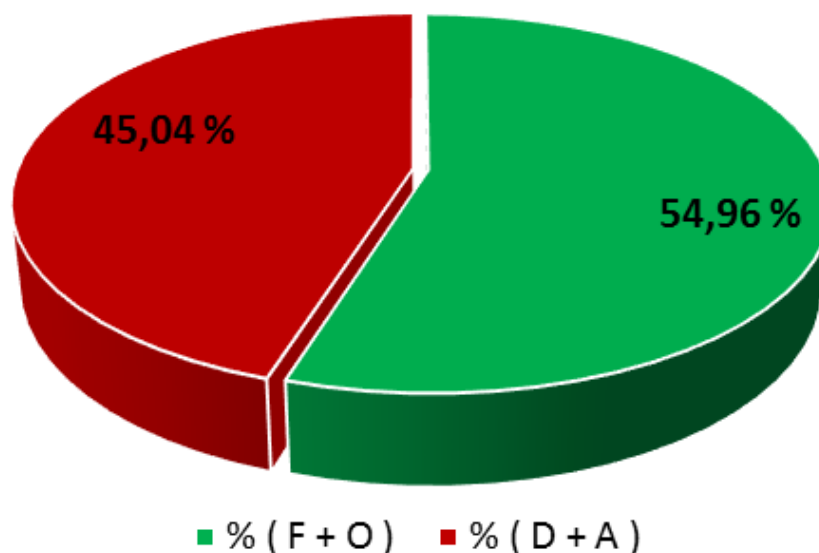


Figura 33. Estadístico del FO y FR final

Fuente: Ramírez, J. (2012). *Procedimiento para elaboración análisis FODA*.

Se muestra el cálculo del resultado final del  $BE_F$ , tomando el FO y el FR de la tabla 32. Reemplazando estos valores en la ecuación [3], se tiene:

$$BE_F = FO + FR$$

$$BE_F = 54,96 \% + (-45,04 \%)$$

$$BE_F = 9,92 \%$$

Finalmente, se determinó el  $BE_F$  situacional final, con un valor positivo de 9,92 %, bajo un análisis de mejora con respecto a los factores asociados con el estudio cronológico de la flota de camiones 777F CAT.

#### **4.9 Validación de hipótesis**

Luego de presentar la propuesta de la optimización de tiempos de mantenimiento preventivos e incremento de la disponibilidad mecánica de la flota de camiones, se realizó la prueba de los signos independientemente para cada variable propuesta.

#### 4.9.1 Prueba de signos aplicado al tiempo

Tabla 33

*Pruebas de signos a tiempos*

n	T. Inicial	T. Optimizado	Signos
1	12,0	12,04	-
2	12,0	7,53	+
3	12,0	7,53	+
4	12,0	8,39	+
5	12,0	7,53	+
6	12,0	7,53	+
7	12,0	7,53	+
8	12,0	11,10	+

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Para el cálculo, se tiene los siguientes parámetros:

- $H_0 = 12$  h
- $H_1 < 12$  h
- $\alpha = 0,05$
- $n = 8$
- $p = 0,5$

Para este caso del tiempo, se tiene 1 (-) y 7 (+); por lo tanto, se considera el menor valor para  $X = 1$ , reemplazando en la ecuación [7]:

Luego de la tabla de distribución de probabilidad binomial acumulada (**Ver anexo E**), con los parámetros  $p=0,5$  y  $X=1$ , se tiene el siguiente resultado:

$$P = P [x \leq 1, \text{ cuando } p=0,5] = \sum_{k=0}^n \binom{8}{k} 0,5^k (1 - 0,5)^{8-k} = 0,0352$$

Como  $P$  es menor que  $\alpha$ , entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, determinando que los tiempos de mantenimientos preventivos son optimizados.

#### **4.9.2 Prueba de signos aplicado a la disponibilidad**

Para esta prueba de los signos a la disponibilidad mecánica, se considerará una disponibilidad bajo un periodo semanal, esto significa, que solo ocurrirá un evento de mantenimiento correlativo por semana.

Tabla 34

*Pruebas de signos a disponibilidad*

n	D. Inicial	D. Final	Signos
1	92,86 %	92,83 %	+
2	92,86 %	95,52 %	-
3	92,86 %	95,52 %	-
4	92,86 %	95,01 %	-
5	92,86 %	95,52 %	-
6	92,86 %	95,52 %	-
7	92,86 %	95,52 %	-
8	92,86 %	93,39 %	-

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Para el cálculo, se tiene los siguientes parámetros:

- $H_0 = 92,86 \%$
- $H_1 > 92,86 \%$
- $\alpha = 0,05$
- $n = 8$
- $p = 0,5$

Para este caso del tiempo, se tiene 1 (+) y 7 (-); por lo tanto, se considera el menor valor para  $X = 1$ , reemplazando en la ecuación [7]:

Luego de la tabla de distribución de probabilidad binomial acumulada (**ver anexo E**), con los parámetros  $p=0,5$  y  $X=1$ , se tiene el siguiente resultado:

$$P = P [x \leq 1, \text{ cuando } p=0,5] = \sum_{k=0}^n \binom{8}{k} 0,5^k (1 - 0,5)^{8-k} = 0,0352$$

Como P es menor que  $\alpha$ , entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, determinando que hay un incremento en la disponibilidad mecánica de la flota de camiones mineros.

## **CONCLUSIONES**

Con el nuevo estudio cronológico propuesto y validación estadística de la hipótesis con la prueba de signos, se ha optimizado los tiempos de mantenimientos preventivos, con un valor cronológico inicial de 52,4 horas a un valor cronológico optimizado de 26,7 horas; asimismo, se ha incrementado la disponibilidad mecánica de la flota de camiones 777F CAT, con una disponibilidad mecánica inicial de 92,91 % a una disponibilidad mecánica final de 94,06 %.

Se obtuvo un resultado estratégico final positivo del 9,92 % con respecto al BEF. Inicialmente, el BEI presentaba un valor negativo de -7,20 %, reflejados en los factores relacionados al entorno de los tiempos de mantenimiento preventivos de análisis.

El resultado, luego del proceso de análisis FODA, sobre las estrategias de mantenimiento, fue el desarrollo de un total de 177 actividades preventivas: se realizó la inclusión de 41 actividades relacionadas con el pre-mantenimiento, se incrementaron estratégicamente las actividades del mantenimiento mecánico en 102 y finalmente se realizó la inclusión de 34

actividades para el mantenimiento eléctrico, todo esto en entorno de su contexto operacional y eventos registrados.

Se implementaron diagramas Gantt de mantenimiento, aplicados a todos los niveles correspondientes del PM-01, PM-02, PM-03, PM-04, PM-05, PM-06, PM-07 y PM-08, en base al nuevo estudio cronológico de tiempos preventivos propuestos.

Se ha consolidado y asociado las capacidades de los recursos por accesorios y recursos lubricantes vinculados a todos los niveles de mantenimientos preventivos de la flota de camiones 777F CAT.

El resultado del costo total del OPEX por recursos (accesorios y lubricantes) a un mediado plazo es de \$ 431 374,00. Con este presupuesto estratégico planificado, se podrá evaluar económicamente y competir con otros recursos alternativos en el mercado.

## **RECOMENDACIONES**

La actualización de las nuevas estrategias de mantenimiento preventivos en el sistema de gestión SAP R3, aplicados a la flota de camiones 777F CAT, en función al puesto de trabajo TECMEC y TECELE respectivamente, asimismo, las nuevas cronologías propuestas.

La actualización de los recursos (accesorios y lubricantes) en todos los niveles de mantenimientos preventivos con la finalidad de conseguir mayor alcance de los programas de mantenimientos, viabilidad de realizar los preparativos antes del internamiento del equipo y evitar extensiones de tiempos innecesarios.

La difusión y capacitación de los nuevos planes y diagramas Gantt de mantenimiento preventivo hacia el personal técnico y supervisión; con esto, conseguir un mejor canal y desempeño en la operación del servicio.

Mayor control y supervisión durante el servicio del mantenimiento preventivo correspondiente, fiscalizando el proceso cronológico propuesto, la correcta sustitución de accesorios y cambios de lubricantes, con la

finalidad de cumplir con los estándares cronológicos propuestos y de controlar el impacto de la disponibilidad mecánica de equipo.

Evaluar y adoptar nuevos recursos (accesorios y lubricantes) alternativos en función al presupuesto económico planificado a mediano plazo y competitividad en el mercado por la mejor opción económica; de esta manera, evaluar el costo-beneficio de los recursos aplicados a futuro.

El continuo análisis del contexto operacional con respecto a la flota de 6 camiones 777F CAT con la finalidad de anticipar ante los factores potenciales que puedan afectar los diversos sistemas operativos del equipo, así integrando nuevas estrategias para su control en mantenimiento preventivo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bloom, N. (2006). *Reliability Centered Maintenance (RCM)*. New York: McGraw-Hill.

Bruzual, V. (2009). *Optimización del tiempo de las actividades para realizar el mantenimiento general de los digestores del área 33 lado rojo I y su costo de su contratación en la empresa CVG Bauxilium*. Venezuela: Tesis, Universidad Nacional Antonio José de Sucre.

Córdova, M. (2006). *Estadística inferencial*. Perú: Moshera S.R.L.

Duffua, D. (2005). *Sistemas de mantenimiento, planeación y control*. México: Limusa Grupo Noriega Editores Balderas.

Escobar, H. (2011). *Estudio del mantenimiento para maquinaria pesada y su incidencia en la producción*. Ecuador: Tesis, Universidad de Ambato.

Finning CAT (2010). *Manual del estudiante*. Camión de obras 777F (JRP). Chile: Autor.

Knezevic, J. (1996). *Mantenibilidad*. Madrid: Isdefe c/Edison 4-28006.

Mora, A. (2007). *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios*. Colombia: AMG ISBN 958-33-8218-3.

Moubray. J. (2004). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM*. Gran Bretaña: ISBN 09539603-2-3.

Norma SAE JA 1012 (2002). *Norma de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)*. Estados Unidos: Autor.

Ramírez, J. (2007). *Procedimiento para la elaboración de un análisis FODA como una herramienta de planeación estratégica*. México: Material de estudio, IIESCA UV.

Rodríguez, M. (2012). *Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento basado en la mantenibilidad de equipos de acarreo de una empresa minera de Cajamarca*. Perú: Tesis, Universidad Privada Laureate International Universities.

Suniaga, L. (2010). *Diseño del programa de mantenimiento preventivo a la maquinaria pesada perteneciente a la empresa Venezuelan Heavy Industries C.A. (VHICOA)*. Guayana: Tesis, Universidad Nacional Experimental de Guayana.

Tecsup (2012). Material de estudio Und.10. *Gestión estratégica de mantenimiento*. Perú: Autor.

Tecsup (2013). Material de estudio Und. 10. *Principales indicadores del mantenimiento*. Perú: Autor.

Tecsup (2013). Material de estudio Und. 8. *La planificación del mantenimiento*. Perú: Autor.

Tecsup (2013). Material de estudio Und. 9. *La programación del mantenimiento*. Perú: Autor.

Tecsup (2014). Material de estudio Und. 7. *Costos de operación*. Perú: Autor.

Villavicencio, H. y Sigüenza, L. (2015). *Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la empresa minera Dynasty Mining del cantón Portovelo*. (Tesis) Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca.

# **ANEXOS**

**ANEXO - A**

**GLOSARIO**

## GLOSARIO

---

### A

A	Valor cuantitativo de las amenazas. ....	51
ARC	Control de retardo automático, controla y mantiene las rpm y la velocidad constante del motor según las condiciones de terreno. ....	85
Arm center	Conjunto de sistema mecánico de la dirección. ....	81
ATS	Herramienta de gestión de seguridad "Análisis de trabajo seguro". ....	80

---

### B

Backlog	Actividades pendientes de trabajo. ....	72
Bb	Abreviatura de componente mecánico bomba. ....	82
BE	Balance estratégico situacional. ....	50
BE <sub>F</sub>	Balance estratégico final. ....	9
BE <sub>I</sub>	Balance estratégico ideal. ....	50
	Balance estratégico inicial. ....	10

---

### C

C32	Capacidad nominal de motor cilindrada de 32.1 Lts. ....	20
-----	---	----

### CAT

Marca Caterpillar, fabricante más grande del mundo en maquinaria en minería. ....	5
Marca Caterpillar, fabricante más grande del mundo en maquinaria en minería. ....	5

---

### D

D	Valor cuantitativo de las debilidades. ....	51
DM	KPI de la disponibilidad mecánica. ....	41
DMP	DMP	
	KPI de la disponibilidad mecánica planificada. ....	43

---

### E

ECM	Módulo de control electrónico. ....	18
ERP	Enterprise Resource Planning" traducido, Planificación de recursos empresariales. ....	67
ET	Software Sis Cat ET CAT. ....	84

---

### F

F	Valor cuantitativo de las fortalezas. ....	51
FO	Factor de optimización. ....	50
FODA	Herramienta de planeación estratégica de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. ....	11

FR	
Factor de riesgo. ....	50
Frec Min PM	
Valor de la frecuencia mínima de mantenimiento preventivo. ....	55

---

## **G**

Gasket	
Componente de sellado "Empaquetadura".	83

---

## **H**

H <sub>0</sub>	
Hipótesis nula. ....	56
H <sub>1</sub>	
Hipótesis alternativa. ....	56
harness	
Conjunto de uno más circuitos eléctricos, con la función de transmitir corriente a todos los dispositivos eléctricos y manejos de componentes electrónicos. ....	85
H-H	
Capacidades de horas-hombres. ....	32
HNPM	
Horas no planificadas por mantenimientos correctivos. ....	42
HOP	
Horas operacionales planificadas. ....	42
Housing	
Componente externo "Carcasa". ....	80
HPM	
Horas planificadas por mantenimientos preventivos. ....	43
HPMp	
Horas de parada por mantenimientos preventivos. ....	42
Hrs	
Valor de punto de medida en Horas. ....	55
HYD	
Palabra abreviada "Hidráulico". ....	80

---

## **I**

IPERC	
Herramienta de gestión de seguridad "Identificación de peligros, evaluación y control de riesgos". ....	80

---

## **K**

KPI	
(Key performance indicator), indicador clave de desempeño. ....	41

---

## **L**

LH	
Lado izquierdo. ....	83
Lock up	
Cierre de sistema de la servo-transmisión. ...	18

---

## **M**

MEUI	
Inyector unitario electrónico de accionamiento mecánico. ....	20

---

## **O**

O	
Valor cuantitativo de las oportunidades. ....	51
O´ring	
Sello de goma. ....	82
OPEX	
"Operating expense" Costos operacionales para la permanencia del funcionamiento de equipo. ....	7
OT	
Orden de trabajo. ....	7

---

**P**

p	Probabilidad de éxito.....	57
P	Probabilidad de valor acumulado.....	56
P°	Abreviatura de magnitud física de "Presión". .....	84
P-F	Curva en función de la falla potencial y falla funcional.....	35
PM	Mantenimiento preventivo.....	6
PM-01	Nivel de mantenimiento preventivo de 250 Horas.....	54
PM-02	Nivel de mantenimiento preventivo de 500 Horas.....	88
PM-03	Nivel de mantenimiento preventivo de 750 Horas.....	88
PM-04	Nivel de mantenimiento preventivo de 1000 Horas.....	89
PM-05	PM-05 Nivel de mantenimiento preventivo de 1250 Horas.....	89
PM-06	Nivel de mantenimiento preventivo de 1500 Horas.....	89
PM-07	Nivel de mantenimiento preventivo de 1750 Horas.....	89
PM-08	Nivel de mantenimiento preventivo de 2000 Horas.....	54
PRE-CLEANERS	Protectores del pre-filtrado.....	80

---

**R**

Rend-Hr	Rendimiento por hora de equipo en operación.....	11
RH		

Lado derecho.....	83	
RPM	Métrico de las revoluciones por minuto.....	84

---

**S**

SAE JA 1012	Norma SAE basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).....	26
SAP R3	Software de control de procesos a través de módulos.....	67
SCREEN	Rejilla magnética de elemento filtrante.....	82

---

**T**

TECMEC	Puesto de trabajo mecánico.....	5
torq convert	Componente mecánico "Convertidor de par". .....	80
Truck Shop	Taller de camiones (mantenimiento).....	15
TRUSH PIN	Pin de empuje del portador, previene el movimiento del prota-diferencial durante condiciones de carga extrema.....	83
Tx	Componente mecánico de transmisión.....	80

---

**V**

Vims	Es un sistema integrado, diseñado por CAT, que controla las prestaciones de la máquina proporcionando información en tiempo real sobre las funciones críticas del equipo.....	84
------	---	----

---

**A**

$\alpha$	Nivel de significación, caso de estudio del 5%. .....	56
----------	--	----

**ANEXO - B**

**ESTRATEGIAS DE**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

**777F CAT**

Estrategia Mantenimiento Preventivo Camión Minero 777F CAT										PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08
Elaborado por: Jhony Ronald Huayhua Vilca										250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
N°	Actividades Mantenimiento	N° Parte	Cant	Und	P.Trabajo	Tiempo	N° Tec	H-H		A	B	C	D	E	F	G	H
<b>PRE-MANTENIMIENTO (LAVADO DE EQUIPO)</b>																	
0001	Elaboración de IPERC y ATS				tecme1	0.10	2	0.20		x	x	x	x	x	x	x	x
0002	Posicionamiento de equipo en bahía				tecme1	0.01	1	0.01		x	x	x	x	x	x	x	x
0003	Proteger respiradero tanque Tx				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0004	Proteger respiradero tanque HYD				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0005	Proteger respiradero tanque torq convert				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0006	Proteger respiradero tanque combustible				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0007	Proteger respiradero housing diferencial				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0008	Proteger válvula alivio tanque dirección				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0009	Proteger respiraderos ruedas delantero				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0010	Proteger alternador				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0011	Proteger ECM del motor				tecme1	0.03	1	0.03		x	x	x	x	x	x	x	x
0012	Retirar tapas de PRE-CLEANERS				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0013	Lavado de tolva				tecme1	0.09	1	0.09		x	x	x	x	x	x	x	x
0014	Lavado plataforma exterior de cabina				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0015	Lavado exterior de cabina				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0016	Lavado zona frontal de equipo				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0017	Lavado de PRE-CLEANERS				tecme1	0.01	1	0.01		x	x	x	x	x	x	x	x
0018	Lavado zona izquierdo del equipo				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0019	Lavado de filtros HYD				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0020	Lavado zona posterior de equipo				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0021	Lavado zona derecha de equipo				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0022	Lavado filtros de Tx				tecme1	0.01	1	0.01		x	x	x	x	x	x	x	x
0023	Lavado de barras, rotulas direc y pines				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0024	Lavado de Arm center				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0025	Lavado zona Izquierda/Derecha de motor				tecme1	0.01	1	0.01		x	x	x	x	x	x	x	x
0026	Lavado zona superior motor				tecme1	0.01	1	0.01		x	x	x	x	x	x	x	x
0027	Lavado zona superior Tx				tecme1	0.01	1	0.01		x	x	x	x	x	x	x	x
0028	Lavado zona superior torq convert				tecme1	0.01	1	0.01		x	x	x	x	x	x	x	x
0029	Lavado zona inferior torq convert				tecme1	0.01	1	0.01		x	x	x	x	x	x	x	x
0030	Lavado filtro carga torq convert				tecme1	0.01	1	0.01		x	x	x	x	x	x	x	x
0031	Lavado de bombas de motor				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0032	Lavado de filtros de motor				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0033	Lavado de radiador				tecme1	0.05	1	0.05		x	x	x	x	x	x	x	x
0034	Lavado zona superior de baterías				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0035	Lavado zona superior de máquina				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0036	Lavado de mandos finales				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0037	Lavado de diferencial				tecme1	0.01	1	0.01		x	x	x	x	x	x	x	x
0038	Lavado de neumáticos delantero				tecme1	0.03	2	0.06		x	x	x	x	x	x	x	x
0039	Lavado de neumáticos posterior				tecme1	0.03	2	0.06		x	x	x	x	x	x	x	x
0040	Inspección final de lavado de equipo				tecme1	0.10	2	0.20		x	x	x	x	x	x	x	x
0041	Orden y limpieza de área de trabajo				tecme1	0.20	2	0.40		x	x	x	x	x	x	x	x
N°	Actividades Mantenimiento	N° Parte	Cant	Und	P.Trabajo	Tiempo	N° Tec	H-H		A	B	C	D	E	F	G	H
<b>DESCRIPCIÓN DE PM MECÁNICO</b>																	
0042	Elaboración de IPERC y ATS				tecme1	0.10	2	0.20		x	x	x	x	x	x	x	x
0043	Tomar muestra aceite motor				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0044	Tomar muestra aceite dirección				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0045	Tomar muestra aceite diferencial				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0046	Tomar muestra aceite mandos finales				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0047	Tomar muestra aceite Tx				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0048	Tomar muestra aceite HYD				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0049	Tomar muestra aceite ruedas delantero				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0050	Tomar muestra refrigerante				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0051	Limpiar Tapones magnéticos mandos finales				tecme1	0.04	1	0.04		x	x	x	x	x	x	x	x
0052	Limpiar respiradero de cárter				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0053	Limpiar paneles de radiador				tecme1	0.08	2	0.16		x	x	x	x	x	x	x	x
0054	Limpiar rejilla/tapa llenado combustible				tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0055	Limpiar rejilla SCREEN de Tx				tecme1	0.05	2	0.10		x	x	x	x	x	x	x	x
0056	Limpiar parabrisas/espejos general				tecme1	0.05	2	0.10		x	x	x	x	x	x	x	x
0057	Cambio aceite de motor	SAE 15W40	32.0	Gal	tecme1	0.90	2	1.80		x	x	x	x	x	x	x	x
0058	Cambio aceite Convertidor de par	SAE 10	5.5	Gal	tecme1	0.80	2	1.60		x	x	x	x	x	x	x	x
0059	Cambio aceite de Tx	SAE 30	25.0	Gal	tecme1	0.70	2	1.40		x	x	x	x	x	x	x	x
0060	Cambio aceite de dirección	SAE 10	15.0	Gal	tecme1	0.50	2	1.00		x	x	x	x	x	x	x	x
0061	Cambio aceite HYD	SAE 10	70.0	Gal	tecme1	1.80	2	3.60		x	x	x	x	x	x	x	x
0062	Cambio aceite Diferencial/Mandos Finales	SAE 50	80.0	Gal	tecme1	2.00	2	4.00		x	x	x	x	x	x	x	x
0063	Cambio aceite Bb auto lubricación	SAE 10	240.0	ml	tecme1	0.10	2	0.20		x	x	x	x	x	x	x	x
0064	Cambio aceite ruedas delantero	SAE 50	4.0	Gal	tecme1	0.30	2	0.60		x	x	x	x	x	x	x	x
0065	Cambio filtros de aceite motor	1R-1808	2.0	Pza	tecme1	0.04	2	0.08		x	x	x	x	x	x	x	x
0066	Cambio filtros de Tx	328-3655	2.0	Pza	tecme1	0.04	2	0.08		x	x	x	x	x	x	x	x
0067	Cambio filtro carga torq convert	1R-0741	2.0	Pza	tecme1	0.04	1	0.04		x	x	x	x	x	x	x	x
0068	Cambio filtro secundario combustible	1R-0755	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0069	Cambio filtro primario de combustible	326-1644	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0070	Cambio filtro HYD	328-3655	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0071	Cambio filtro HYD drenaje Bb dirección	126-1813	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0072	Cambio filtro HYD retorno sist dirección	144-0832	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0073	Cambio filtro liberación freno parqueo	134-0964	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0074	Cambio O ring anillo filtro dirección	103-8236	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0075	Cambio filtro primario de aire	246-5009	2.0	Pza	tecme1	0.04	1	0.04		x	x	x	x	x	x	x	x
0076	Cambio filtro secundario de aire	246-5010	2.0	Pza	tecme1	0.04	1	0.04		x	x	x	x	x	x	x	x
0077	Cambio filtro exterior de cabina	107-0266	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0078	Cambio filtro de aire acondicionado	149-1912	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0079	Cambio respiradero tanque combustible	8X-4575	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0080	Cambio respiradero tanque HYD	8X-4575	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0081	Cambio respiradero tanque Tx	8X-4575	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0082	Cambio respiradero tanque torq convert	8X-4575	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0083	Cambio respiradero de diferencial	9C-4937	1.0	Pza	tecme1	0.02	1	0.02		x	x	x	x	x	x	x	x
0084	Cambio Gasket tapón rueda delantero	5B-3265	2.0	Pza	tecme1	0.04	1	0.04		x	x	x	x	x	x	x	x
0085	Cambio Gasket tapón magnético Mando Final	1S-3889	2.0	Pza	tecme1	0.04	1	0.04		x	x	x	x	x	x	x	x
0086	Cambio Gasket rejilla torq convert	9S-															

**ANEXO - C**

**DIAGRAMAS GANTT**

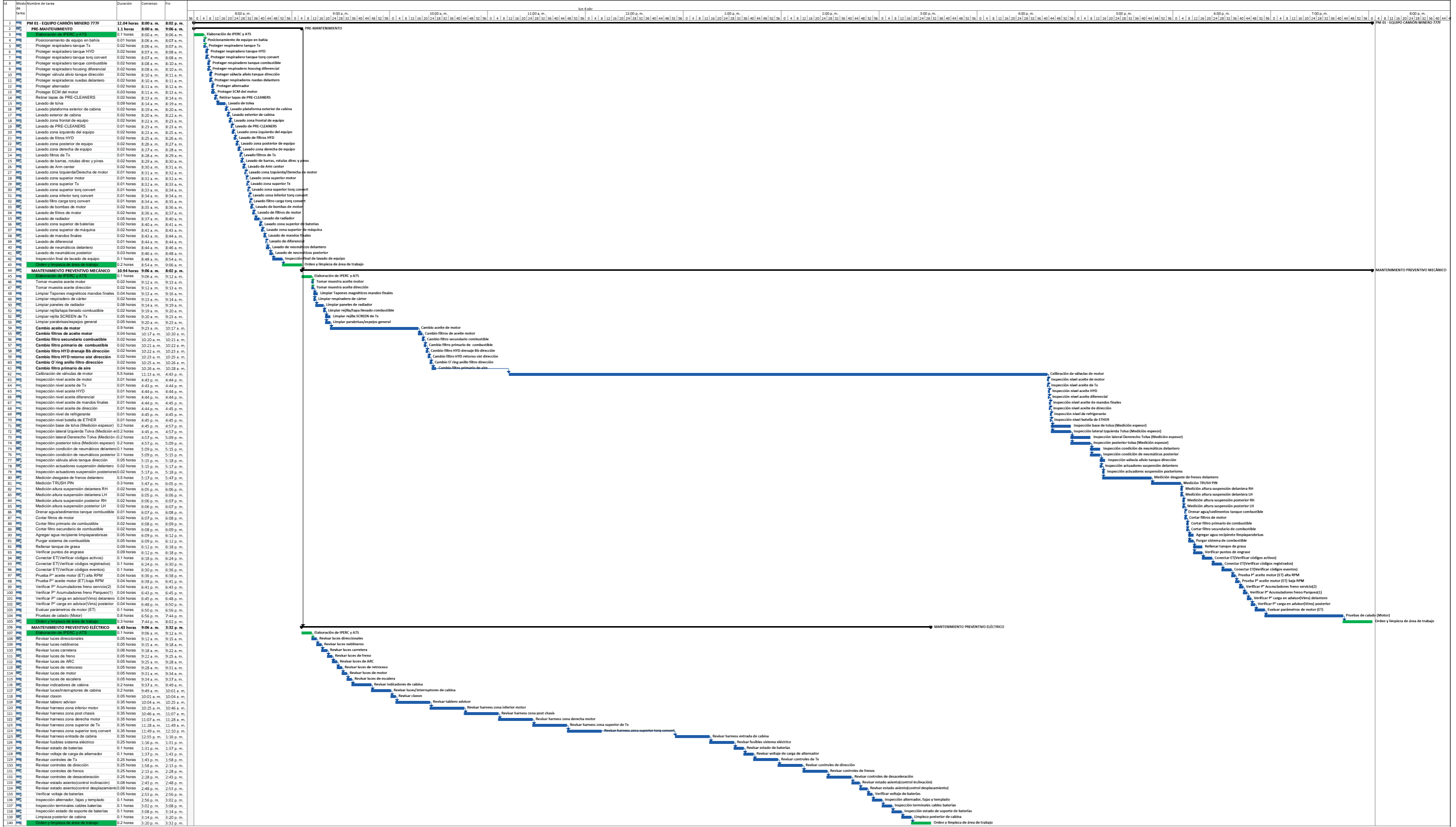
**MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

**777F CAT**

**ANEXO C-1**

**DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO PM-01 777F CAT**

DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO CAMIÓN MINERO 777F CAT PM-01

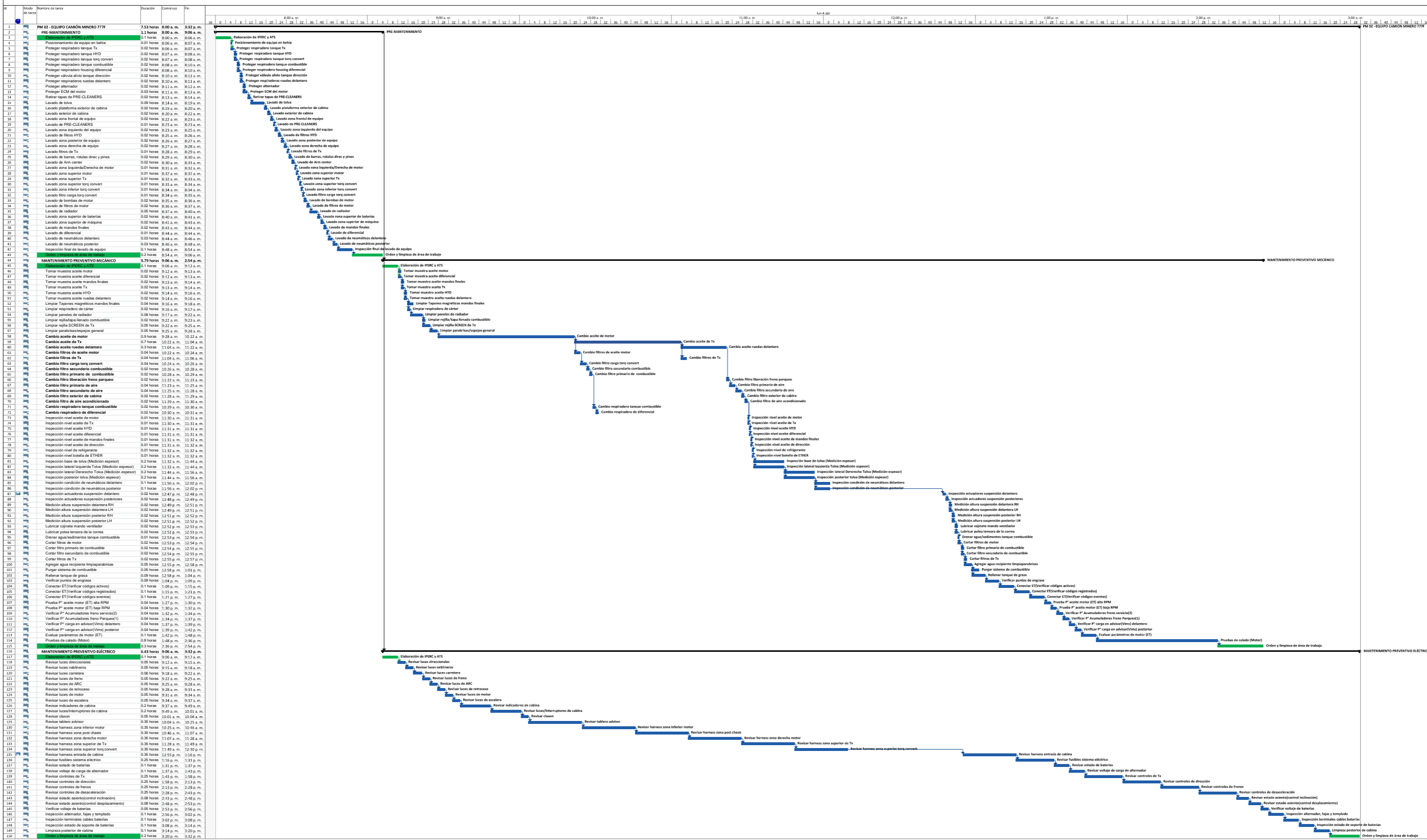


**ANEXO C-2**

**DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO PM-02 777F CAT**



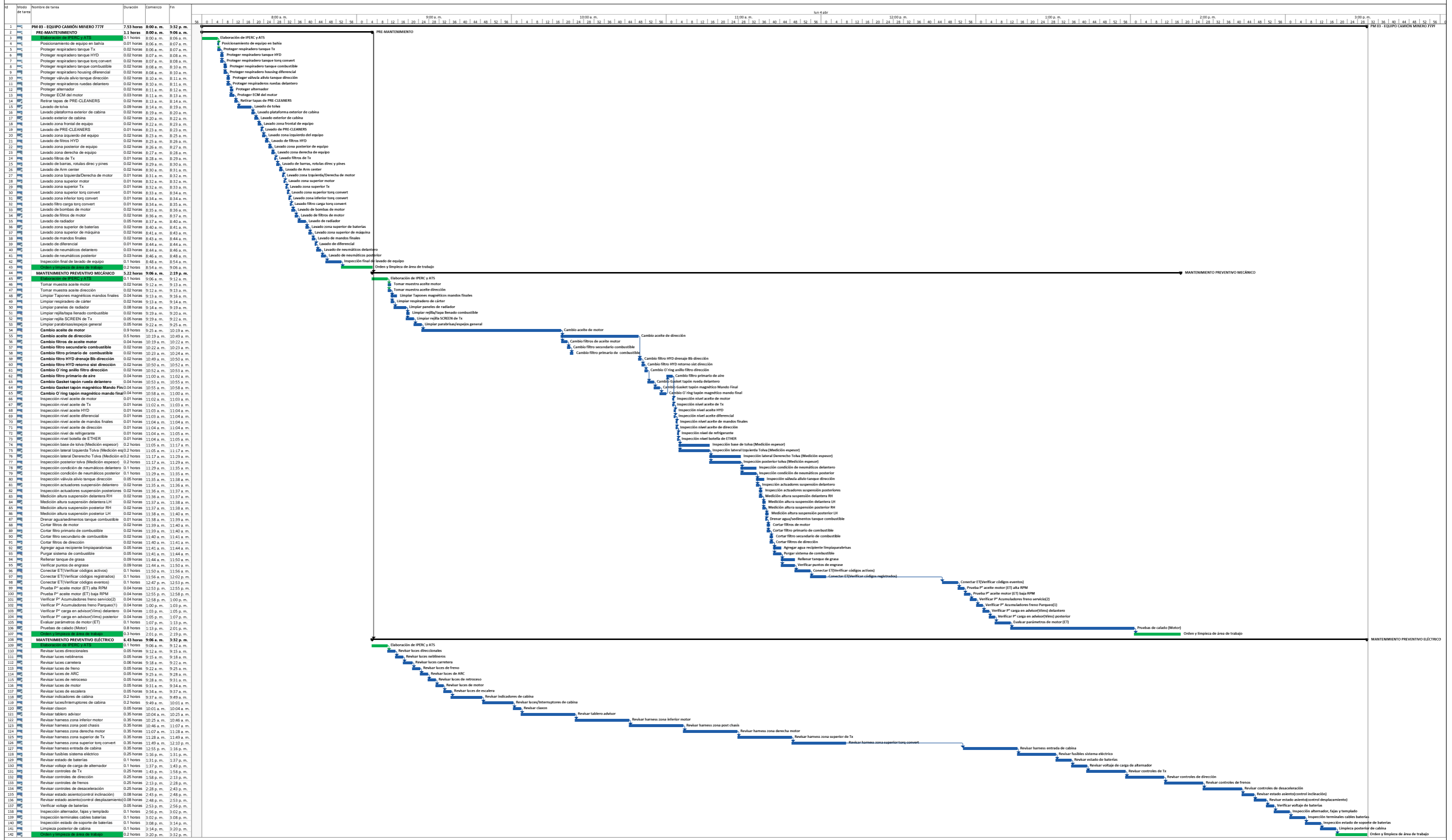
# DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO CAMIÓN MINERO 777F CAT PM-02



**ANEXO C-3**

**DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO PM-03 777F CAT**

DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO  
CAMIÓN MINERO 777F CAT  
PM-03



**ANEXO C-4**

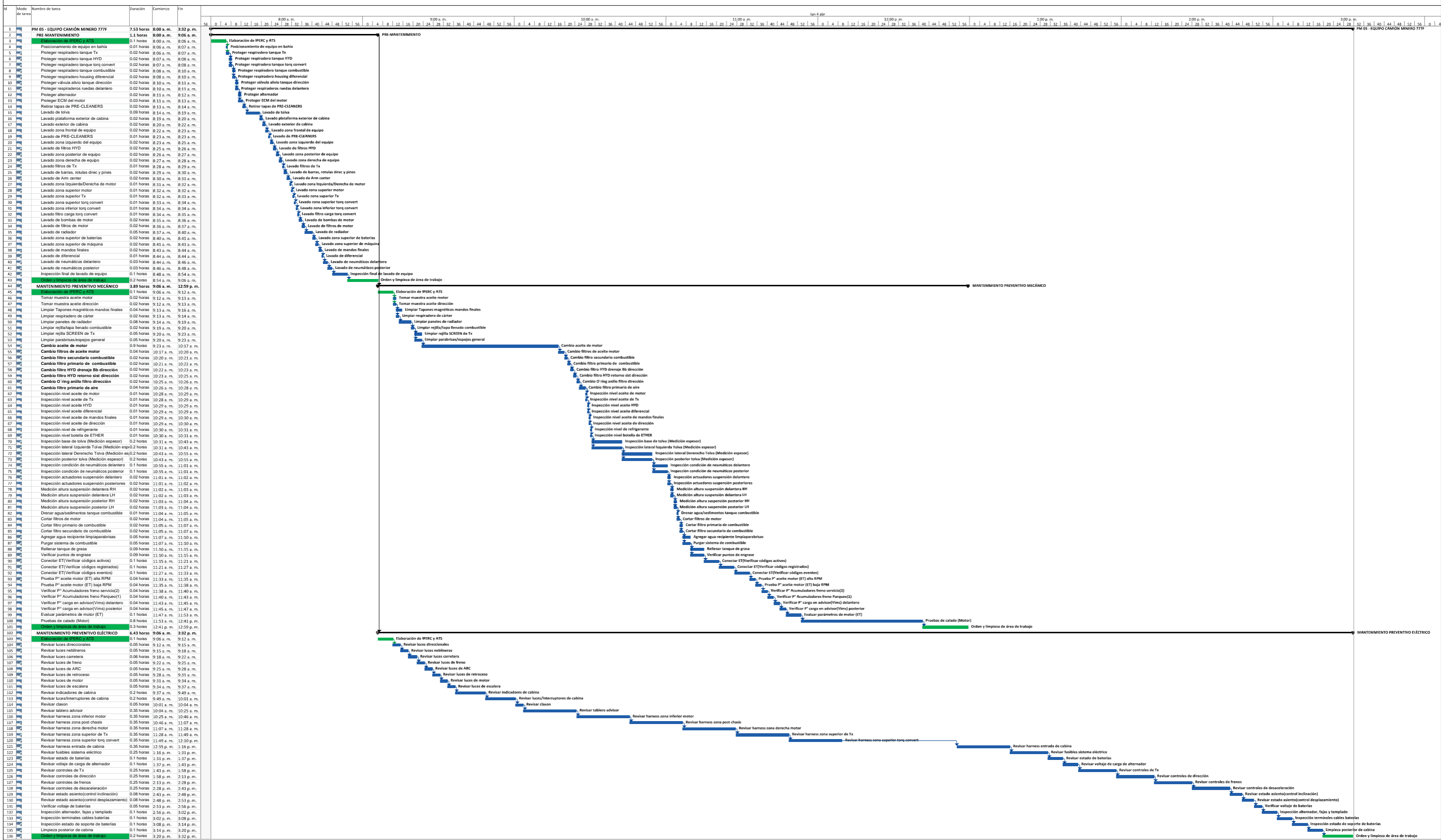
**DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO PM-04 777F CAT**



**ANEXO C-5**

**DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO PM-05 777F CAT**

# DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO CAMIÓN MINERO 777F CAT PM-05

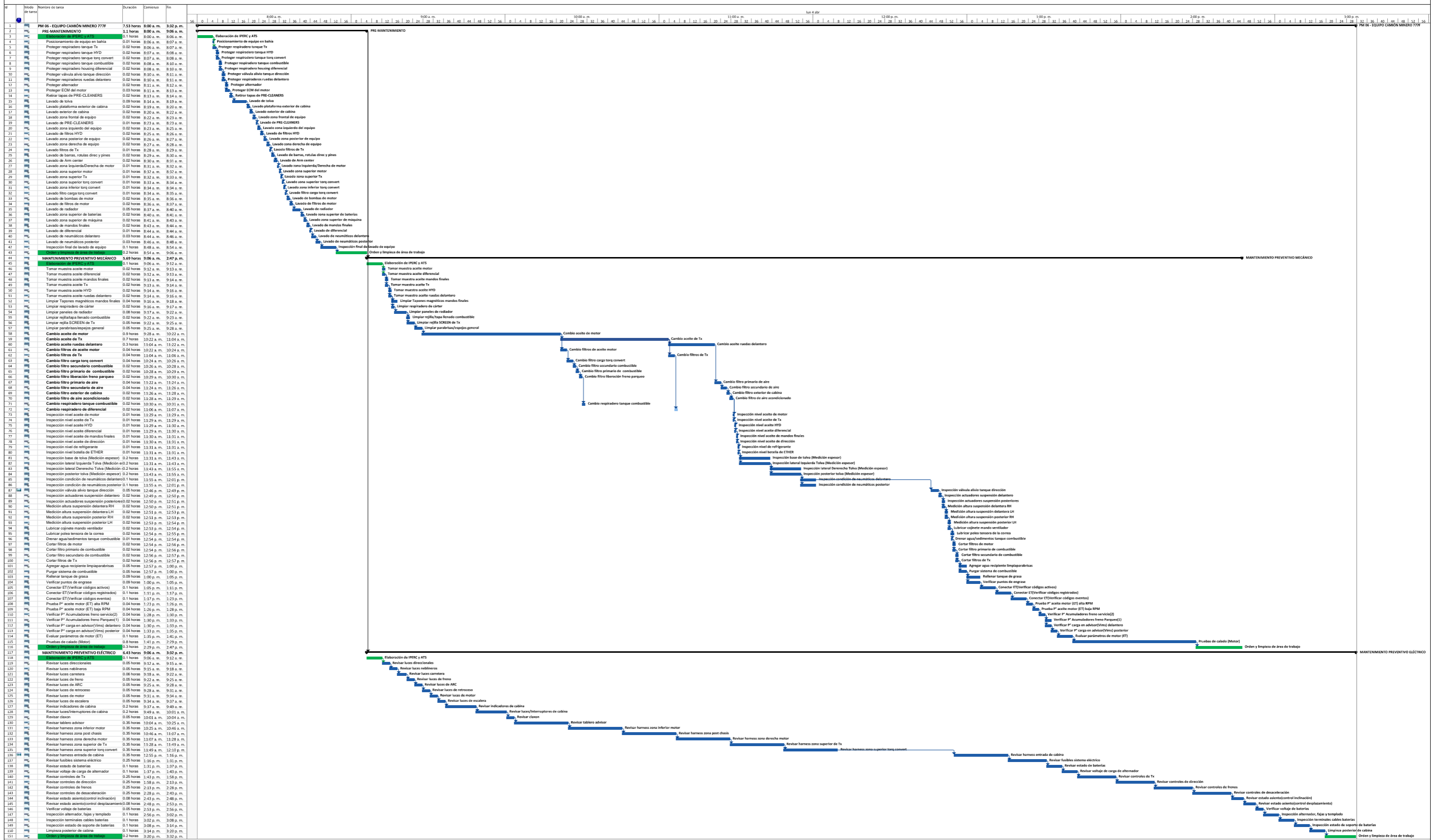


**ANEXO C-6**

**DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO PM-06 777F CAT**



# DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO CAMIÓN MINERO 777F CAT PM-06

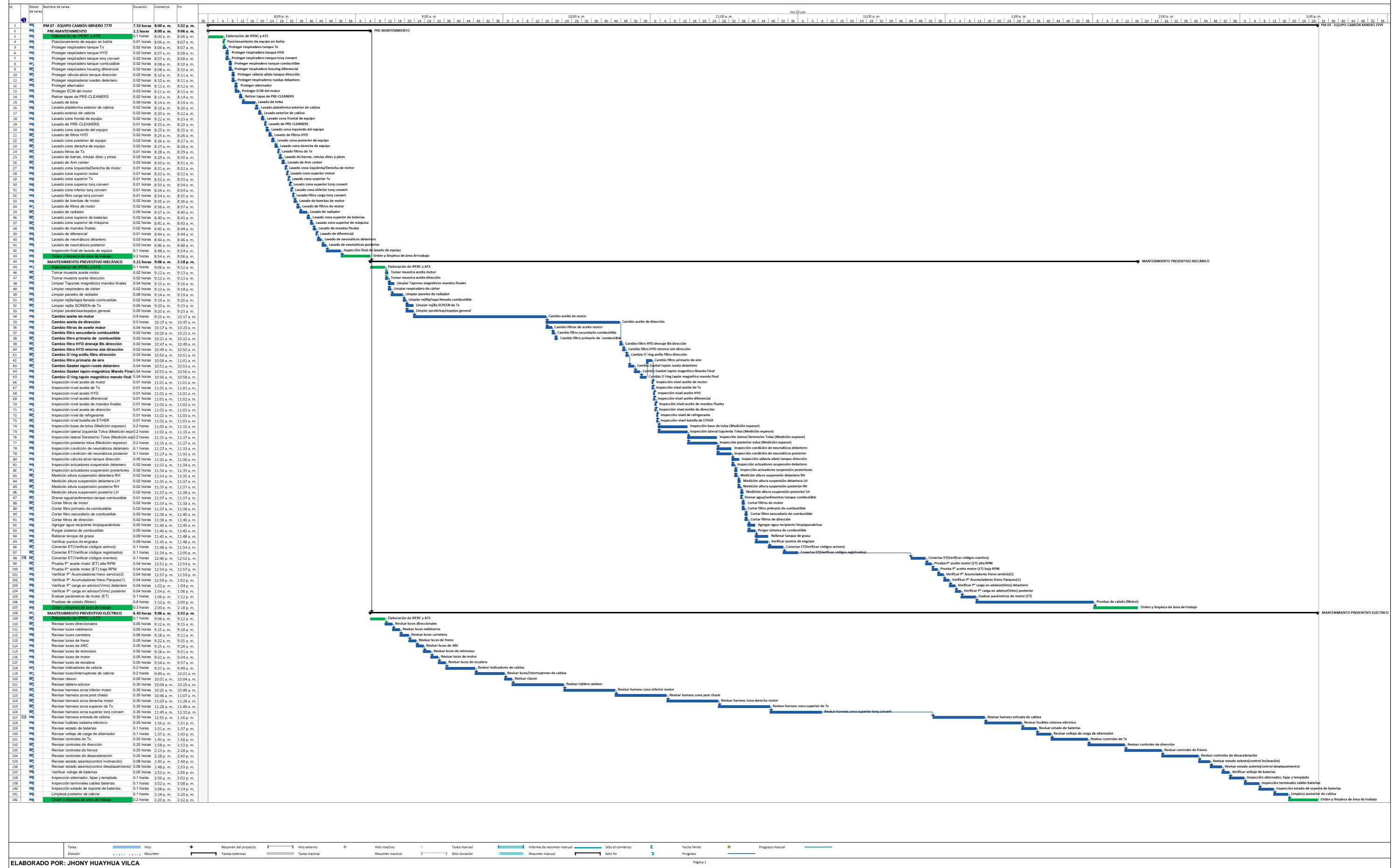


**ANEXO C-7**

**DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO PM-07 777F CAT**



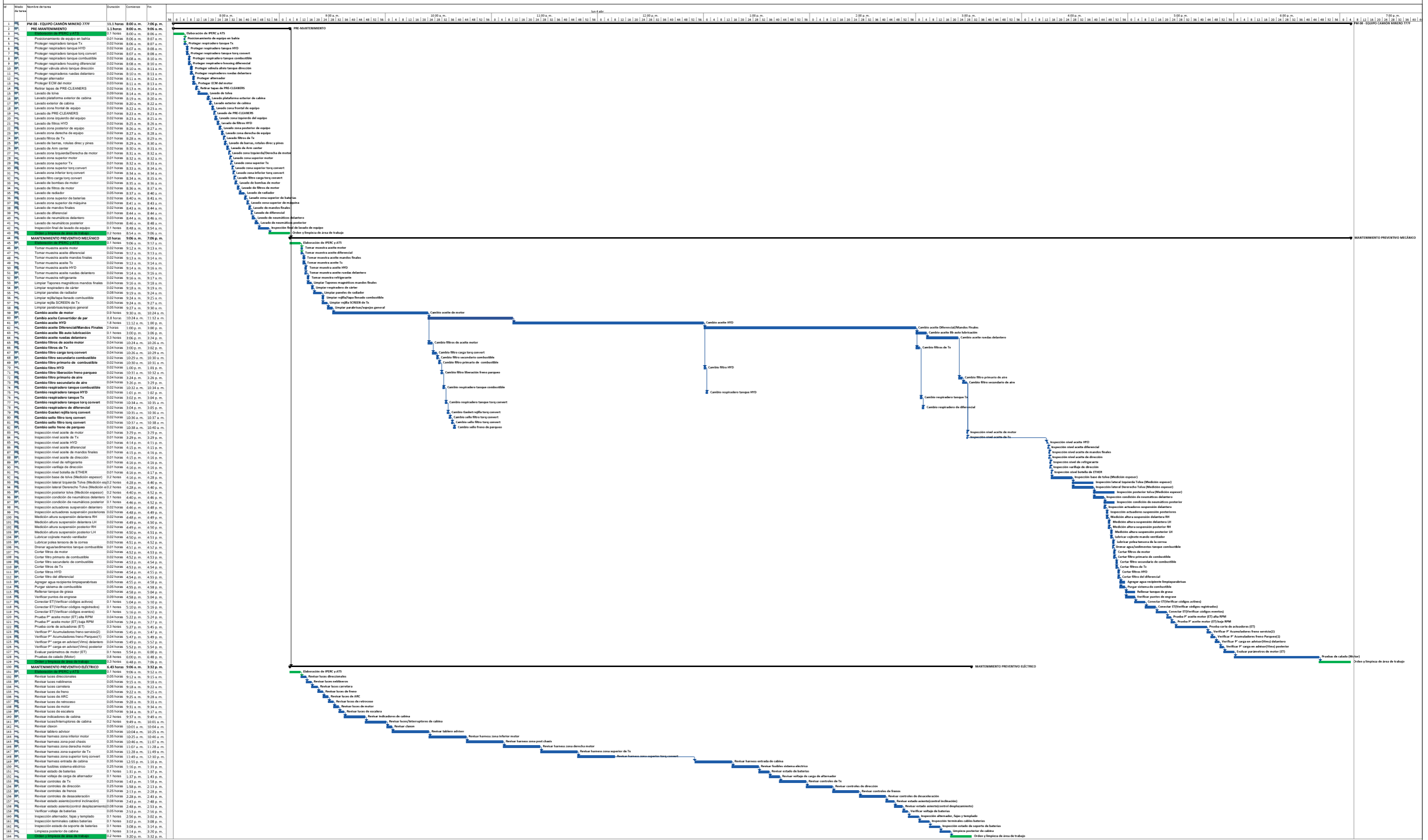
# DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO CAMIÓN MINERO 777F CAT PM-07



**ANEXO C-8**

**DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO PM-08 777F CAT**

DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO  
CAMIÓN MINERO 777F CAT  
PM-08



**ANEXO - D**

**PROYECCIÓN DE COSTOS**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

**777F CAT**



**ANEXO - E**

**DISTRIBUCIÓN DE**

**PROBABILIDAD BINOMIAL**

**ACUMULADA**

