

T/620.1/C45

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA – ENERGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORA DE LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE  
EQUIPOS EN LA FLOTA DE CAMIONES KOMATSU HD 1500**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO

EDSON JAVIER CERNA NOGUEIRA

Callao, Octubre 2015

PERÚ

**ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL TITULO PROFESIONAL  
MODALIDAD: TESIS SIN CICLO DE TESIS**

A los DIECINUEVE días del mes de OCTUBRE del dos mil quince, siendo las 15:00 horas, se procedió a la instalación del Jurado Evaluador de Tesis para su Sustentación en la Facultad de Ingeniería Mecánica – Energía, conformado por los siguientes docentes:

- PRESIDENTE : Dr. FELIX ALFREDO GUERRERO ROLDAN
- SECRETARIO : Mg. GUSTAVO ORDOÑEZ CARDENAS
- VOCAL : Ing. JOSE LUIS HUMBERTO URRUTIA
- ASESOR : Mg. RUBEN FRANCISCO PEREZ BOLIVAR

Con el fin de dar inicio a la SUSTENTACION DE LA TESIS, presentada por el Sr. Bachiller EDSON JAVIER CERNA NOGUEIRA quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de INGENIERO MECÁNICO, sustentará la Tesis titulada: “DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORA DE LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPOS EN LA FLOTA DE CAMIONES KOMATSU HD 1500”

Con el quórum reglamentario de Ley se dio inicio a la Sustentación de Tesis de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente, luego de las preguntas formuladas y efectuadas las deliberaciones pertinentes, se acordó dar por APROBADO con el calificativo de 14 (BUENO) al señor Bachiller EDSON JAVIER CERNA NOGUEIRA.

Con lo que se dio por cerrada la sesión a las 16.30 del día **19 de Octubre del 2015**.

  
Dr. FELIX ALFREDO GUERRERO ROLDAN  
PRESIDENTE

  
Mg. GUSTAVO ORDOÑEZ CARDENAS  
SECRETARIO

  
Ing. JOSE LUIS HUMBERTO URRUTIA TICONA  
VOCAL

  
Mg. RUBÉN FRANCISCO PÉREZ BOLÍVAR  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

A mis amados padres, Sr. Javier Tomas Cerna Guevara y Sra. Joanna Nogueira Gossel, por el constante apoyo y ser fuente de incentivo de todos mis logros.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradecer a Dios por regalarme el aliento de vida y permitir estar hoy en la realización de la presente tesis. Nuevamente agradecer a mis padres por ser imagen de amor y de apoyo en mi vida y a mis familiares por ser los pilares para seguir adelante.

Fueron varios meses de arduo trabajo, a lo largo de los cuales han sido varios los involucrados en la contribución de este trabajo, a través de experiencias, palabras de aliento, por sus sugerencias, enseñanzas que día a día engrandecieron mis conocimientos y mis ganas de seguir progresando.

Agradezco a los docentes y amigos de mi alma mater, en quienes pude ver integridad y donación hacia mi persona, en especial agradecimiento al Mg. Ing. Rubén Francisco Pérez Bolívar por sus conocimientos, orientación, dedicación e interés hacia mi trabajo, invirtiendo su valioso tiempo para su desarrollo.

Por último agradecer a todas las personas en general, que colaboraron para la realización de la presente tesis. Solo me resta manifestar mi más profundo agradecimiento y gratitud, no solo por todo aquello que he mencionado, sino por los detalles que he olvidado y que en su momento se convirtieron en factores cruciales en el resultado que hoy se ha logrado. A todos y a cada uno les agradezco deseándoles que Dios les retribuya con el ciento por uno.



## ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	1
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	4
ÍNDICE DE ANEXOS.....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.1. Identificación del problema.....	9
1.2. Formulación del problema.....	9
1.3. Objetivos de la investigación.....	10
1.3.1. Objetivo general.....	10
1.3.2. Objetivos específicos.....	10
1.4. Justificación.....	10
1.5. Importancia.....	10
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. Antecedentes del estudio.....	11
2.1.1. Antecedentes históricos y académicos.....	11
2.1.2. Antecedentes técnicos.....	13
2.1.3. Evaluación de la situación actual.....	13
2.2. Marco teórico.....	14
2.2.1. Mejoramiento continuo.....	14
2.2.2. Mantenimiento productivo total (TPM).....	16
2.2.3. Herramientas de manufactura esbelta.....	22
2.2.4. Efectividad global de equipos (OEE).....	35

2.3. Definición de términos básicos.....	40
<b>CAPITULO III. VARIABLES E HIPÓTESIS.....</b>	<b>43</b>
3.1. Variables de investigación.....	43
3.1.1. Variable independiente.....	43
3.1.2. Variable dependiente.....	43
3.2. Operacionalización de variables.....	43
3.3. Hipótesis.....	44
3.3.1. Hipótesis general.....	44
3.3.2. Hipótesis específicas.....	44
<b>CAPITULO IV. METODOLOGÍA.....</b>	<b>45</b>
4.1. Tipo de investigación.....	45
4.2. Diseño de la investigación.....	45
4.3. Población y muestra.....	45
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	45
4.5. Procedimiento de recolección de datos.....	45
4.6. Procedimiento estadístico y análisis de datos.....	45
4.7. Proceso de investigación.....	46
4.7.1. Diagnóstico de la efectividad global de la flota de camiones.....	46
A. Pérdidas que afectan la disponibilidad mecánica.....	46
B. Pérdidas que afectan la utilización operativa.....	50
C. Pérdidas que afectan el rendimiento de los equipos.....	53
D. Evaluación de la efectividad global de la flota.....	55
E. Cuantificación de las pérdidas totales.....	57
F. Determinación de las metas.....	58
G. Identificación y análisis de las causas que originan las pérdidas.....	58
4.7.2. Estrategias para mejorar la efectividad global de la flota de camiones.....	63
A. Evaluación de soluciones para mitigar y/o eliminar pérdidas.....	63
B. Implementación de estrategias de mejora.....	65

B.1. Refrigerios y descansos prolongados.....	65
B.2. Tolvas de camiones pesadas.....	67
B.3. Tiempo para mantenimiento preventivo extenso.....	70
B.4. Pérdidas por exceso de colas.....	82
B.5. Vías o rutas de acarreo en mal estado.....	86
B.6. Carguío no optimizado.....	94
CAPITULO V. RESULTADOS.....	99
5.1. Disponibilidad mecánica.....	99
5.2. Utilización operativa.....	100
5.3. Rendimiento de camiones.....	100
5.4. Efectividad global de camiones KOMATSU HD 1500.....	101
CAPITULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	103
CAPITULO VII. CONCLUSIONES.....	105
CAPITULO VIII. RECOMENDACIONES.....	106
CAPITULO IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
ANEXOS.....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 2.1.</b> Etapas del ciclo PDCA o de Deming.....	14
<b>Figura N° 2.2.</b> Pilares del TPM.....	18
<b>Figura N° 2.3.</b> Diagrama de profundidad de capacitación.....	20
<b>Figura N° 2.4.</b> Significado de cada "S".....	24
<b>Figura N° 2.5.</b> Filosofía Just in Time.....	30
<b>Figura N° 4.1.</b> Nomenclatura para posición de llantas.....	48
<b>Figura N° 4.2.</b> Diagrama de Causa – Efecto.....	60
<b>Figura N° 4.3.</b> Posición y espesor de planchas en el interior de la tolva de camión KOMATSU HD 1500.....	70
<b>Figura N° 4.4.</b> Desorden en pañol de herramientas.....	74
<b>Figura N° 4.5.</b> Pañol de herramientas con distribución y etiquetado correspondiente de herramientas.....	74
<b>Figura N° 4.6.</b> Bancos de trabajo portátiles para técnicos.....	75
<b>Figura N° 4.7.</b> Piso con delimitación y señalización de área de trabajo.....	76
<b>Figura N° 4.8.</b> Soporte de fácil desplazamiento para motor.....	76
<b>Figura N° 4.9.</b> Mala distribución de componentes.....	77
<b>Figura N° 4.10.</b> Desorganización y desorden en taller de mantenimiento.....	78
<b>Figura N° 4.11.</b> Disposición de residuos según código de colores.....	78
<b>Figura N° 4.12.</b> Sistema de comunicación dispatch de un ciclo de producción.....	84
<b>Figura N° 4.13.</b> Sistema de implementación stock pile.....	85
<b>Figura N° 4.14.</b> Uso correcto del implemento en motoniveladoras.....	90
<b>Figura N° 4.15.</b> Dimensiones de cucharón de pala Caterpillar 6040 FS.....	95
<b>Figura N° 4.16.</b> Puntas de alta duración.....	96

<b>Figura N° 4.17. Puntas de alta penetración.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura N° 4.18. Refuerzos internos y externos de cucharones.....</b>	<b>97</b>
<b>Figura N° 4.19. Perforación de la tierra para realizar el dinamitado correcto.....</b>	<b>98</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico N° 4.1.</b> Pérdidas que afectan la disponibilidad de la flota de camiones.....	50
<b>Gráfico N° 4.2.</b> Pérdidas que afectan la utilización de la flota de camiones.....	52
<b>Gráfico N° 4.3.</b> Pérdidas que afectan el rendimiento de la flota de camiones.....	55
<b>Gráfico N° 4.4.</b> Pérdidas totales en la operación de equipos.....	56
<b>Gráfico N° 4.5.</b> Diagrama de Pareto de cuantificación de pérdidas.....	62
<b>Gráfico N° 4.6.</b> Pérdidas durante los refrigerios y descansos.....	65
<b>Gráfico N° 4.7.</b> Tiempo para reparación mensual antes y después de las mejoras en la flota de camiones.....	79
<b>Gráfico N° 4.8.</b> Disponibilidad inicial de flota tractores D10R.....	86
<b>Gráfico N° 4.9.</b> Disponibilidad inicial de flota motoniveladora 160H.....	87
<b>Gráfico N° 4.10.</b> Pareto de fallas de la flota de tractores D10R.....	88
<b>Gráfico N° 4.11.</b> Disponibilidad de flota auxiliar – Tractores.....	91
<b>Gráfico N° 4.12.</b> Disponibilidad de flota auxiliar – Motoniveladora.....	91
<b>Gráfico N° 5.1.</b> Disponibilidad mensual de la flota de camiones antes y después de las mejoras.....	99
<b>Gráfico N° 5.2.</b> Utilización mensual de la flota de camiones antes y después de las mejoras.....	100
<b>Gráfico N° 5.3.</b> Rendimiento mensual de la flota de camiones antes y después de las mejoras.....	101
<b>Gráfico N° 5.4.</b> Variación de efectividad global de la flota de camiones antes y después de las mejoras.....	102

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 2.1.</b> Lista de pasos del método PDCA. ....	15
<b>Tabla N° 2.2.</b> Clasificación OEE. ....	37
<b>Tabla N° 2.3.</b> Porcentaje de indicadores para Word Class. ....	37
<b>Tabla N° 3.1.</b> Operacionalización de variables. ....	43
<b>Tabla N° 4.1.</b> Control de vida útil de algunos componentes de camiones KOMATSU HD 1500. ....	47
<b>Tabla N° 4.2.</b> Pérdidas que afectan la disponibilidad de la flota de camiones. ....	49
<b>Tabla N° 4.3.</b> Pérdidas que afectan la utilización de la flota. ....	52
<b>Tabla N° 4.4.</b> Pérdidas que afectan el rendimiento de la flota de camiones. ....	54
<b>Tabla N° 4.5.</b> Indicador de OEE. ....	55
<b>Tabla N° 4.6.</b> Indicadores para determinación de metas. ....	58
<b>Tabla N° 4.7.</b> Causas que generan pérdidas. ....	59
<b>Tabla N° 4.8.</b> Pérdidas en operación (horas promedio) – Porcentaje de pérdidas. ....	61
<b>Tabla N° 4.9.</b> Identificación y evaluación de soluciones para eliminación o minimización de pérdidas. ....	64
<b>Tabla N° 4.10.</b> Capacidad de carga de camiones KOMATSU HD 1500. ....	67
<b>Tabla N° 4.11.</b> Dimensionamiento de tolva actual vs propuesta. ....	68
<b>Tabla N° 4.12.</b> Distribución de pesos de tolva aligerada para camiones KOMATSU HD 1500. ....	68
<b>Tabla N° 4.13.</b> Actividades externas e internas en mantenimiento. ....	72
<b>Tabla N° 4.14.</b> Tiempos de operación para limpieza de strainer de transmisión. ....	73
<b>Tabla N° 4.15.</b> Frecuencia de cambio de aceites de sistemas y capacidades. ....	80
<b>Tabla N° 4.16.</b> Evaluación de propiedades y agentes en el aceite de motor. ....	81



<b>Tabla N °4.17.</b> Frecuencia de cambio de aceites por compartimento y tipo de aceite.	82
<b>Tabla N° 4.18.</b> Lista de numero de fallas promedio mensual de flota auxiliar tractor D10R.	88
<b>Tabla N° 4.19.</b> Vida útil de suspensiones delanteras y posteriores antes de implementar las mejoras.	92
<b>Tabla N° 4.20.</b> Vida extendida de los cilindros de suspensión delantero y posterior de camiones KOMATSU HD 1500 después de las mejoras:	93
<b>Tabla N° 6.1.</b> Cálculo de las nuevas horas perdidas para producción.	103
<b>Tabla N° 6.2.</b> Horas ganadas para producción.	103



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A.</b> Matriz de consistencia .....	111
<b>ANEXO B.</b> Estadística descriptiva .....	112
<b>ANEXO C.</b> Especificaciones de camión KOMATSU HD 1500.....	119
<b>ANEXO D.</b> Especificaciones de planchas antidesgaste para bucket pala CATERPILLAR 6040 FS.....	122
<b>ANEXO E.</b> Especificaciones de aceite sintético MOBIL DELVAC 1 ESP 5W40 para motores diesel de servicio pesado.....	124
<b>ANEXO F.</b> Análisis de aceites .....	127
<b>ANEXO G.</b> HARDOX 450 BHN – ficha técnica.....	130
<b>ANEXO H.</b> Factor de carga para cargadores frontales y palas .....	132
<b>ANEXO I.</b> Asignación dinámica de equipos – Gestión Dispatch.....	134
<b>ANEXO J.</b> Costo de mantenimiento preventivo de 250 horas camiones KOMTASU HD 1500.....	140

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo general diseñar un plan para mejorar el valor del indicador de efectividad global de los equipos de la flota de camiones mineros KOMATSU HD 1500, favoreciendo al área de producción y mantenimiento pues se tiene mayor tiempo disponible para producción, un menor costo de mantenimiento y una mayor rentabilidad para la empresa.

En el diseño de la investigación, inicialmente se determinó las pérdidas que afectan la efectividad global de la flota de camiones, a través de la identificación y cuantificación de las pérdidas de disponibilidad mecánica; de utilización operativa y por último las que afectan el rendimiento del equipo. Se desarrolló un brainstorming (tormenta de ideas), utilizada para identificar causas del problema, un diagrama de Ishikawa o de causa y efecto para identificación de la causa raíz del problema y por último el diagrama de Pareto para priorizar en orden de importancia las causas raíces identificadas. Como segundo plano, tomando como base las causas raíces identificadas y priorizadas, se evaluó y seleccionó las estrategias o soluciones para la eliminación o minimización de las pérdidas que generan el bajo valor del indicador de efectividad global.

Con la implementación de mejoras se logró aumentar el valor del indicador de efectividad global de la flota de camiones KOMATSU HD 1500, de un 59.40% evaluado inicialmente, hasta un 69.41%, lo cual conlleva a beneficio económico de 2'166,575 US\$ y un ahorro de más de 14,000 US\$ para el área de mantenimiento.

**Ubicación del Trabajo:** Unidad:Minera:Shougang Hierro:Perú S:A:A: Marcona, Ica:

**Palabras claves:** Plan de mejora, efectividad Global de equipos, camiones KOMATSU HD 1500

## ABSTRACT

The present work has as general objective design a plan to improvement the worth of the indicator of overall effectiveness of the equipment of the fleet of mining trucks KOMATSU HD 1500, favoring the area of production and maintenance as it has more time available for production, reduced maintenance costs and increased profitability for the company.

In the research design, first was determined the losses that affecting the overall effectiveness of the fleet of trucks through the identification and quantification of the mechanical availability losses, of operational use and finally those that affect equipment performance. Brainstorming, used to identify causes of the problem, Ishikawa diagram or cause-and-effect to identify the root cause of the problem and finally the Pareto chart to prioritize in order of importance the root causes identified are developed. As second instance, on the basis the root causes was identified and was prioritized, it evaluates and selects the strategies or solutions to eliminating or minimizing losses that generate a low worth of the indicator of overall effectiveness.

With the implementation of improvements is achieved increasing the overall effectiveness of the fleet, of a 59.40% initially evaluated, up to a 69.41%, which leads to economic benefit of US \$ 2'166,575 and money savings of more than US \$ 14,000 to the maintenance area.

**Work location:** Mining unit Shougang Hierro Perú S.A.A. Marcona, Ica.

**Key words:** Improvement plan, overall effectiveness equipment, trucks KOMATSU HD 1500.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Identificación del problema**

El análisis de la situación de la flota de Camiones KOMATSU - HD 1500 utilizado en la Empresa Minera Shougang Hierro Perú S.A. en el departamento de Ica, muestra que el indicador de disponibilidad es 92.7%, un buen indicador según el World Class, no obstante los indicadores de utilización y rendimiento son muy bajos, lo que en su conjunto conlleva a un menor indicador de efectividad global de equipos, que se traduce en menos producción y menos ingresos económicos a la empresa. En el área de mantenimiento, no se aplica una cultura de mejora continua, hay desorden y un ambiente fuera de estandarización para realizar los mantenimientos, no existe comunicación eficiente con los técnicos de mantenimiento. En el área de producción, se tiene una mala comunicación entre dispatch – operadores – supervisión mina, demoras en refrigerios, demoras en carguío y acarreo, mal estado de vías, entre otros, los cuales afectan a la efectividad global de la flota y representan una rentabilidad baja para el proyecto.

#### **1.2. Formulación del problema**

La mala gestión de flota de camiones KOMATSU HD1500 perjudica la productividad de la misma, puesto que presenta deficiencias como, ineficiencia en la ejecución de mantenimiento preventivo, demoras en procesos de carguío, tolvas muy pesadas mal estado de las vías y otros. Entonces para mejorar la situación del problema formulado se planteó la siguiente pregunta general:

**¿Cómo diseñar un plan de mejora de la efectividad global de la flota de camiones KOMATSU HD 1500?**

Al mismo tiempo tenemos los siguientes problemas específicos:

- ¿Cómo se determinan las pérdidas e ineficiencias en los camiones?
- ¿Cómo implementar estrategias para disminuir o eliminar las pérdidas?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar un plan de mejora de la efectividad global de equipos (camiones KOMATSU HD1500) para aumentar la rentabilidad de la empresa.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Determinar las pérdidas e ineficiencias en la gestión de la flota de camiones.

Implementar estrategias para mejorar el valor del indicador de la efectividad global de los equipos.

### **1.4. Justificación**

La presente tesis se justifica considerando los siguientes aspectos:

- Académicas: porque se aplica el concepto de efectividad global de equipos.
- Técnicas: porque mediante el mejoramiento de la efectividad global de equipos se propone aumentar la disponibilidad de la flota de camiones.
- Económicas: la mayor disponibilidad de equipos se traducirá en una mayor rentabilidad para la empresa.
- Social: contribuir al desarrollo de profesionales de la industria.

### **1.5. Importancia**

La importancia de la presente tesis radica en un diseño de un plan de mejoramiento de la efectividad global de la flota de camiones KOMATSU HD 1500 en la cual contribuya con la minimización de pérdidas las cuales generan un bajo valor del indicador de los equipos, y con ello poder mejorar este indicador para aumentar la rentabilidad de la empresa.

## CAPITULO II MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes del estudio

Durante el desarrollo del trabajo se han tomado en cuenta diferentes referencias agrupándolas en: antecedentes históricos y académicos, antecedentes técnicos y evaluación de la situación actual.

#### 2.1.1. Antecedentes históricos y académicos

Existen publicaciones e investigaciones de otras universidades mundo que hacen referencia a un análisis para el diagnóstico de pérdidas, lo cual fue tomada como referencia para el desarrollo del presente trabajo. Se indican las siguientes:

1. MOHR BARRÍA, Paula. **Propuesta metodológica para la medición de la eficiencia general de los equipos en las líneas de procesos de sección mantequilla en industria láctea.** Trabajo de grado. Puerto Montt, Chile. 2012

En el presente informe de tesis, se dio a conocer los estudios realizados para la elaboración de una metodología de medición de eficiencia general de equipos, de las líneas de proceso de sección mantequilla de una industria láctea - de la zona, con el fin de obtener resultados acerca del comportamiento de la producción de dicha sección y las propuestas que serán de gran ayuda a la industria para la toma de decisiones a futuro, donde se realizó con el objetivo de validar la metodología propuesta para demostrar que su utilización es de gran ayuda en la toma de decisiones futuras dentro de la empresa.

En conclusión se tiene es que la metodología planteada para medir la eficiencia general de equipos no pretende dar solución a todos los problemas de la empresa, pero si ayudará en la industria láctea y a la industria en general a crear un sentimiento de responsabilidad conjunta entre



los operarios de las máquinas, los encargados de mantenimiento y a la alta gerencia para trabajar en la mejora continua y optimizar la eficiencia, además minimizará algunas pérdidas y por lo tanto ayudará a reducir costos que han sido producidos por mermas, paradas, trabajos ineficientes, defectos de máquinas etc. Todo ello contribuirá en ganancias para la empresa y para los colaboradores.

2. NIÑO NAVARRETE, Ángela. **Modelo de aplicación de herramientas de manufactura esbelta desde el desarrollo y mejoramiento de la calidad en el sistema de producción de Americana de Colchones.** Trabajo de grado. Bogotá, Colombia. 2004

Americana de Colchones, con miras a mantener este posicionamiento y en respuesta a las necesidades cambiantes del cliente, el objetivo de la organización es dar inicio a una etapa donde se desarrollen cambios planeados, fundamentados en los requerimientos de los clientes y de los procesos internos, buscando obtener herramientas y metodologías que permitan controlar y tomar decisiones en la gestión de la producción y calidad. En este caso se desarrolló un modelo de implementación de herramientas de manufactura esbelta adaptado a su entorno, buscando el mejoramiento del proceso productivo y teniendo siempre presente la calidad de los productos.

Como conclusión, se permitió establecer un guía o modelo metodológico en el que se estructuran de forma lógica los pasos a seguir para lograr una implementación exitosa de herramientas de manufactura esbelta y ello contribuyó a un ahorro de tiempos y disminuyó pérdidas en un 10%.

3. UCELO LEZANA, Astrid. **Diseño e implementación del sistema de eficiencia global de los equipos (OEE) en una línea de producción de pañales desechables e investigación de propuesta viable para la degradación de estos productos no reciclables en la empresa Altenvasa.** Trabajo de grado. Guatemala 2008.

A partir del año en que fue creada Altenvasa ha trabajado con pérdidas debido a la gran cantidad de producto de desecho que sale de la máquina, la poca cantidad de producto de primera que se produce y el tiempo muerto excesivo. La presente tesis consiste en la aplicación del TPM con el indicador de efectividad global de equipos que identifica mejor los paros y aplica la metodología de resolución de problemas para identificar y atacar las causas de los mayores paros de la máquina con el objetivo de aumentar su eficiencia y disminuir el desecho. La diferencia la constituyen las pérdidas de tiempo, las pérdidas de velocidad y las pérdidas de calidad en términos de disponibilidad, rendimiento y calidad respectivamente.

Como conclusión se obtuvo que el porcentaje de OEE de la línea de producción de pañales tuvo un aumento de 28.42%, alcanzando un OEE de 66.32%, por lo que se considera aceptable debido a que está en proceso de mejora.

### **2.1.2. Antecedentes técnicos**

Existen publicaciones e investigaciones que mencionan un mejoramiento de la efectividad global de equipos, no obstante son aplicados a diversos equipos industriales, mas no existe la aplicación directa para camiones mineros y de cómo mejorar la efectividad global de los mismos reduciendo y/o eliminando las pérdidas a todo nivel.

### **2.1.3. Evaluación de la situación actual**

Es preciso contar con una serie de indicadores, pues estos ayudan al personal que lleva la organización y desarrollo de la empresa, mostrar las debilidades y/o oportunidades de mejora en inversión. El indicador más apropiado en la labor en la industria de maquinaria pesada es el de la efectividad global de equipos, pues medirán el nivel de disponibilidad, utilización y rendimiento de los equipos y trabajos que se realizan.



## 2.2. Marco teórico

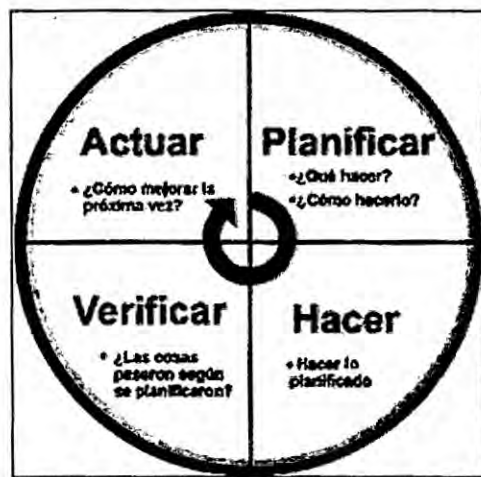
### 2.2.1. Mejoramiento continuo

Es un proceso que pretende mejorar los productos, servicios o procesos.

**KAIZEN.-** Significa “cambiar para bien” o “cambiar para mejorar”. Fue desarrollado por los japoneses tras la segunda guerra mundial.

**Ciclo de Deming.-** Es una herramienta de calidad que indica una sucesión de pasos lógicos para mejorar cualquier proceso y conseguir la mejora continua. También se le conoce como **ciclo PDCA**.

Figura N° 2.1. Etapas del ciclo PDCA o de Deming



Fuente: OCHOA, Lisseth. Una respuesta a herramientas de mejora continua. Disponible en: <https://isceudq.wordpress.com/2011/06/22/herramientas-de-la-mejora-continua/>. Junio 2011.

### Método para la solución del problema

Para la solución de un problema acudimos al método PDCA del ciclo de Deming que ayuda a resolver los problemas del negocio. A continuación se muestra las etapas y pasos para el ciclo de Deming.

**Tabla N° 2.1.** Lista de pasos del método PDCA.

<b>PLAN</b>	<b>Step 1</b>	<b>Identificar el problema</b>	Seleccionar problema a resolver	
			Definir el problema de forma precisa	
			Acordar objetivo que pueda medir para el esfuerzo de la solución del problema	
			Establecer proceso de coordinación y aprobación con líderes	
	<b>Step 2</b>	<b>Analizar el problema</b>	Identificar los procesos que impactan	
			Listar los pasos en el proceso actual	
			Mapeo de procesos	
			Validación del mapeo	
			Identificar los pasos que puedan causar el problema	
			Colección y análisis de datos	
			Verificar la descripción original del problema	
			Identificar la ruta de causa del problema	
	<b>DO</b>	<b>Step 3</b>	<b>Desarrollar solución</b>	Establecer criterios para la selección de una solución
				Generar varias alternativas de solución para atacar la causa del problema
Seleccionar una solución				
Conseguir apoyo de líderes sobre la solución seleccionada				
Planear la solución				
<b>Step 4</b>		<b>Implementar solución</b>	Implementar solución elegida en un ambiente de testeo o un piloto	
<b>CHECK</b>		<b>Step 5</b>	<b>Evaluar resultados</b>	Recoger datos del piloto
				Analizar los datos de la solución
<b>ACT</b>		<b>Step 6</b>	<b>Estandarizar la solución</b>	Identificar cambios sintomáticos y formación necesaria para los usuarios para la implementación completa
				Adoptar solución como estándar
	Monitorear la solución			
	Estudiar continuas mejoras a la solución elegida			
	Buscar otras oportunidades de mejora continua			

Fuente: Elaboración propia.

### **Herramientas para la solución de problemas**

El camino que lleva hacia la calidad total crea una nueva cultura, establece y mantiene un liderazgo, desarrolla al personal y lo hace trabajar en equipo, además de enfocar los esfuerzos de calidad total hacia el cliente y a planificar cada uno de los pasos para lograr la excelencia en sus operaciones.

El hacer esto exige vencer obstáculos que se irán presentando a lo largo del camino. Estos obstáculos traducidos en problemas se deben resolver conforme se presentan, evitando con esto las variaciones del proceso. Para esto es necesario basarse en hechos y no dejarse guiar solamente por el sentido común, la experiencia o la audacia. Basarse en estos tres elementos puede ocasionar que al momento de obtener un resultado contrario al esperado nadie quiera asumir responsabilidades.

De allí la importancia de basarse en hechos reales y objetivos, además de que surge la necesidad de aplicar herramientas de solución de problemas adecuadas y de fácil comprensión.

Las herramientas y técnicas cualitativas y cuantitativas son las siguientes:

- Recolección de datos
- Tormenta de ideas (Brainstorn)
- Diagrama de Pareto
- Diagrama de Causa-Efecto (Ishikawa)
- Diagrama de flujo
- Diagrama de dispersión
- Histogramas / Gráficos de control
- Presentación de resultados.

### **2.2.2. Mantenimiento productivo total (TPM)**

El TPM se originó y se desarrolló en Japón. TPM son las siglas de Total Productive Maintenance o Mantenimiento Productivo Total. Es una estrategia de mantenimiento destinada a obtener la máxima efectividad de los equipos productivos por medio de la eliminación de sus averías y paros imprevistos

mediante la participación de todos los empleados de la empresa en función de sus capacidades y conocimientos<sup>1</sup>.

En el mundo de hoy, para que una empresa pueda sobrevivir debe ser competitiva y sólo podrá serlo si cumple con estas tres condiciones:

- a. **Brindar un Producto de óptima conformidad:** recordemos que ahora en el argot de las normas ISO ya no se habla de calidad sino de conformidad.
- b. **Tener costos competitivos:** una buena gerencia y sistemas productivos eficaces pueden ayudar a alcanzar esta meta.
- c. **Realizar las entregas a tiempo:** aquí se aplican los conceptos del JIT (Just in Time).

## Misión

La misión de toda empresa es obtener un rendimiento económico óptimo, sin embargo, la misión del TPM es lograr que la empresa obtenga un rendimiento económico creciente en un ambiente agradable como producto de la interacción del personal con los sistemas, equipos y herramientas.

## Objetivos

Maximizar la efectividad total de los sistemas productivos por medio de la eliminación de sus pérdidas por la participación de todos los empleados en pequeños grupos de actividades voluntarias. Estas son:

- Cero averías en los equipos.
- Cero defectos en la producción.
- Cero accidentes laborales.
- Mejor producción.
- Minimizar costos.

---

<sup>1</sup> Definición de Seiichi Nakajima, Ingeniero Mecánico que introdujo el mantenimiento preventivo en Japón en 1951. Es llamado "El padre del TPM". Tecsup, Gestión de Mantenimiento. Lima, 2002. Pág 11.

## Metas

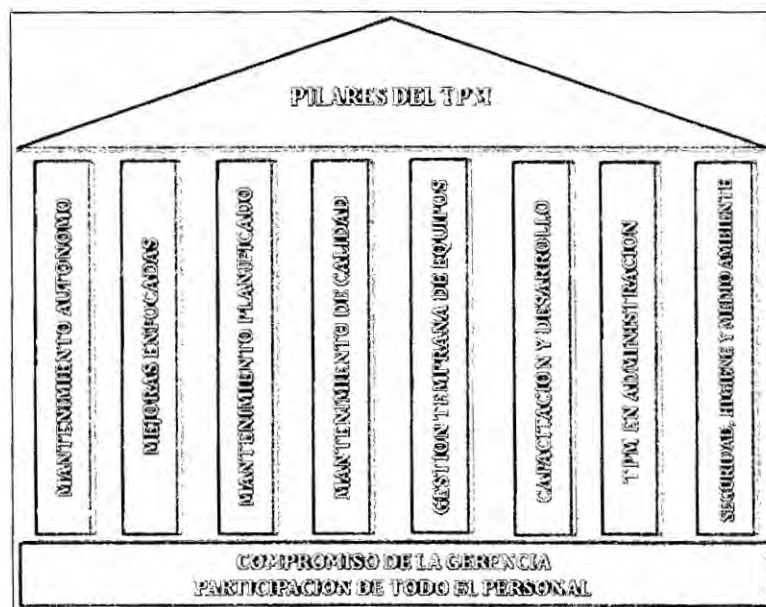
Las metas a alcanzar son las siguientes:

- Maximizar la eficiencia de los equipos.
- Involucrar a todos los empleados.
- Obtener un sistema del mantenimiento productivo para toda la vida del equipo.
- Promover el TPM mediante motivación de grupos activos de la empresa.

## Pilares del TPM

El mantenimiento productivo total se sostiene de 8 pilares y además del compromiso de la gerencia y la participación de todo el personal, como cimiento de los pilares que a continuación se detallan:

Figura N° 2.2. Pilares del TPM.



Fuente: Elaboración propia. Adaptación. ESCUDERO, Almudena. Implementación de Filosofía TPM en una Planta de Producción y Envasado. Tesis de maestría. Madrid. 2007. Pág. 179.

### - **Mejoras Enfocadas**

Son acciones para eliminar sistemáticamente las grandes pérdidas ocasionadas en el proceso productivo. Considérese como pérdidas las actividades que no generan valor, estas pueden ser:

- Fallas en los equipos principales.
- Cambios y ajustes no programados.
- Fallas de equipos auxiliares.
- Ocio y paradas menores.
- Reducción de velocidad.
- Defectos en el proceso.
- Arranque.

### - **Mantenimiento Autónomo**

Es el conjunto de actividades de limpieza, ajuste y lubricación, en las cuales el operario de las máquinas, instalaciones o equipos debe realizar para mantenerlas en óptimas condiciones de operación y conservación, además participe en el análisis, propuestas de solución y acciones que conduzcan a mejoras. Para el caso, la participación será en forma organizada, participativa, colaborativa, voluntaria y comprometida para mejorar la calidad de vida en el trabajo. El mantenimiento autónomo puede prevenir:

- Contaminación por agentes externos.
- Rupturas en ciertas piezas.
- Errores en manipulación.

### - **Mantenimiento Planeado**

Son las tareas para lograr mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas. Es el conjunto de distintas actividades programadas con el fin de llevar a cabo un buen desempeño productivo de las máquinas. El objetivo de



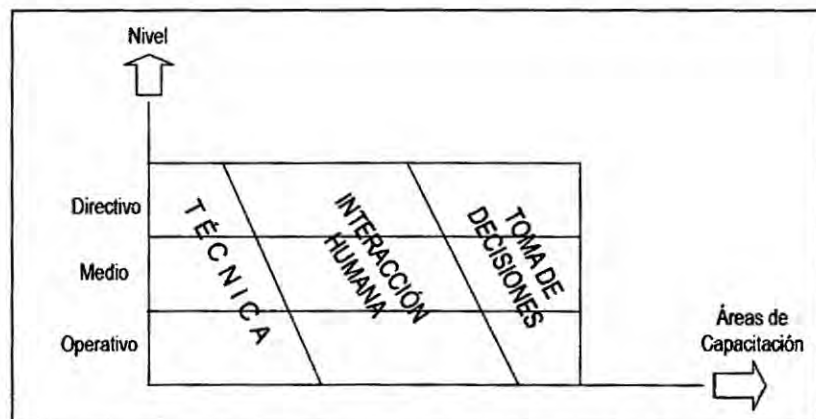
estas actividades es que la máquina no tenga ningún tipo de averías, defectos o despilfarros. El mantenimiento planificado surgirá como el resultado de la dedicación del departamento de mantenimiento, el objetivo del mantenimiento planificado será ajustar la programación del equipo para desarrollar las tareas en el momento menos perjudicial para la producción.

#### - Capacitación y Desarrollo

Acciones para desarrollar capacidades y acrecentar habilidades para una mejor contribución en la implementación de TPM como alternativa en el mejoramiento de actividades; esta formación está comprendida para todos los miembros de la empresa. Se tomarán en cuenta las acciones que se han realizado y se plantearán las actividades a implementar, cuya finalidad será el aumentar las capacidades y habilidades del personal para lograr elevar los niveles de desempeño en su quehacer diario.

La planeación de la capacitación deberá ser en tres áreas (véase la figura N° 2.3. Diagrama de profundidad de capacitación), los cuales son: área técnica, humanística y de toma de decisiones, lógicamente la profundidad de esta preparación será en función del nivel de jerarquía (nivel directivo, mandos medios y nivel operativo).

**Figura N° 2.3.** Diagrama de profundidad de capacitación.



Fuente: MARTINEZ, Ignacio. Diseño de un modelo para aplicar el mantenimiento productivo total a los sectores de bienes y servicios. Tesis de grado. México. 2009. Pág. 62.

### - **Gestión Temprana de Equipos**

Es fundamentalmente la aplicación del mantenimiento predictivo para mejorar la efectividad global de los equipos (OEE) desde la fase de planificación y diseño de instalaciones. Su principal objetivo es la de establecer un sistema de prevención del mantenimiento reduciendo los tiempos, tanto desde el punto de vista de la mejora de la fiabilidad libre de fallas, como de la facilidad de las labores de mantenimiento.

### - **Mantenimiento de Calidad**

Esta tarea se desarrolla con el propósito de establecer condiciones óptimas para que el equipo opere en un punto factible de implementar acciones y parámetros que permitan verificar y medir los estados de operación de los equipos para que no se generen desviaciones que produzcan incumplimiento en la producción o prestación de servicios.

Tomar acciones preventivas para lograr que el proceso en cuestión, cuente con el equipo, máquinas, herramientas y personal en condiciones óptimas para que la actitud tienda a cero defectos y ser más productivos, satisfaciendo con ello al cliente interno como externo.<sup>2</sup>

### - **TPM en Administración**

El pilar de TPM en Administración tiene como principal objetivo el incremento de la eficiencia en el área de administración mediante la revisión de los sistemas, materiales y flujo de productos administrativos para reducir los tiempos muertos y los stocks. En estos departamentos las siglas del TPM tomarían estos significados:

**T** = Total participación de sus miembros.

**P** = Productividad (volúmenes de ventas y ordenes por personas)

**M** = Mantenimiento de clientes actuales y búsqueda de nuevos.

---

<sup>2</sup> MARTINEZ, Ignacio. Diseño de un modelo para aplicar el mantenimiento productivo total a los sectores de bienes y servicios. Tesis de grado. México. 2009. Pág. 67.



## - Seguridad, Higiene y Medio Ambiente

Es crear y mantener un sistema que garantice un ambiente laboral sin accidentes y sin contaminación. Aquí lo importante es buscar que el ambiente de trabajo sea confortable y seguro. Muchas veces ocurre que la contaminación en el ambiente de trabajo es producto del mal funcionamiento del equipo, así como muchos de los accidentes son ocasionados por la mala distribución de los equipos y herramientas en el área de trabajo.

### 2.2.3. Herramientas de manufactura esbelta

#### Definición

Son varias herramientas que ayudan a eliminar todas las operaciones que no le agregan valor al producto, servicio y a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere.<sup>3</sup>

#### Objetivos

Desarrollar una filosofía de Mejora Continua que le permita a las compañías eliminar los desperdicios en todas las áreas (desde el departamento de compras de materias primas, hasta servicio al cliente, pasando por recursos humanos, finanzas etc.), reducir sus costos, mejorar los procesos, aumentar la satisfacción de los clientes y aumentar el margen de utilidad. Manufactura Esbelta proporciona a las compañías herramientas para sobrevivir en un mercado global que exige alta calidad, entrega rápida a menor precio y en cantidad requerida. Los objetivos específicos son:

- Reducir considerablemente los desperdicios.
- Reducir el inventario.
- Desarrollar sistemas apropiados de entrega de materiales.
- Mejorar las distribuciones de planta para aumentar la productividad.

---

<sup>3</sup> NAKAJIMA, Seiichi. Just in Time, Toyota Production System & Lean Manufacturing. Japan. 2001. Pág.123.

## **Concepto de MUDA<sup>4</sup>**

Dentro del pensamiento esbelto surge un concepto fundamental que hace referencia a aquellos elementos y procesos que resultan innecesarios para el desarrollo del producto final. De esta forma MUDA es “pérdida o desperdicio”, específicamente cualquier actividad que absorba recursos pero no cree valor dentro de este marco el valor corresponde a lo que el cliente defina como tal.

## **Beneficios**

La implantación de manufactura esbelta es importante en diferentes áreas, ya que emplea varias herramientas. Algunos de los beneficios que genera son:

- Reducción de costos de producción.
- Reducción del tiempo de entrega.
- Mejor calidad.
- Menos mano de obra.
- Mayor eficiencia de equipos.
- Disminución de desperdicios: sobreproducción, tiempo de espera (retrasos), transporte, el proceso, inventarios, movimientos y mala calidad.

## **Las herramientas de manufactura esbelta**

Dentro de las herramientas que se utilizan para la reducción de mudas por medio de la manufactura esbelta se encuentran:

### **a. Las 5S**

#### **Definición**

Hace referencia a la creación y mantenimiento de áreas de trabajo más limpias, organizadas y seguras, en otras palabras es una herramienta que le imprime mayor eficiencia al trabajo. En la siguiente figura se indican las 5S (véase la figura N° 2.4. Significado de cada “S”, página 22).

---

<sup>4</sup> BERGSTROM, Yale Robin. Lean Principles & Practices. Gardner Publications Inc, 1995. Pág. 254.

Figura N° 2.4. Significado de cada "S".



Fuente: ANTOÑANZAS, Eva. La Motivación Empresarial. Método 5s. Disponible en: <http://www.eoi.es/blogs/ematur/2013/06/23/la-motivacion-empresarial-metodo-5s/>. 2013.

### Objetivos

El objetivo central de 5S es lograr un mejor desempeño de las personas en los respectivos centros de trabajo.

### Beneficios

La implementación de una estrategia de 5S puede generar efectos en diferentes áreas, algunos de los beneficios que genera son:

- Mayores niveles de seguridad.
- Mayor aseguramiento de la calidad.
- Tiempos de respuesta más cortos.
- Genera cultura organizacional.
- Reducción en producción de defectos, lo que a su vez disminuye gastos.

### **Definición de cada "S"**

**Seiri (Organizar).** Consiste en retirar del área de trabajo aquellos elementos que no son necesarios para la realización de la labor correspondiente. Se clasifican elementos innecesarios en utilizables en otra operación y los inútiles que pueden ser descartados. Esta herramienta genera un ordenamiento en la liberación de espacio y permiten eliminar la mentalidad de "por si acaso".

Clasificar en:

- Separar en el lugar de trabajo las cosas realmente necesarias de las innecesarias, eliminando lo excesivo.
- Organizar las herramientas en lugares donde los cambios se puedan realizar en el menor tiempo posible.
- Eliminar elementos que afecten el funcionamiento de los equipos y que pueden generar averías.
- Eliminar información innecesaria que pueda conducir a errores de interpretación o actuación.

Beneficios de clasificar: Al clasificar, los lugares de trabajo se preparan para ser seguros y productivos, siendo los principales beneficios:

- Liberar espacio útil en plantas y oficinas
- Reducir tiempos de acceso a material, documentos, herramientas, etc.
- Mejorar control visual de inventarios, elementos de producción, planos, etc.
- Eliminar pérdidas de productos o elementos que se deterioran por largos periodos de almacenamiento en lugares inadecuados.
- Facilitar control visual de materias primas que se agotan y se requieren.
- Preparar áreas de trabajo para desarrollo de acciones de mantenimiento.

**Seiton (Ordenar).** Consiste en organizar los elementos clasificados como necesarios de tal forma que se puedan encontrar con facilidad. El ordenamiento permite ubicar y mantener cada cosa en su lugar.

Ordenar permite:

- Disponer un lugar adecuado para los elementos utilizados en el trabajo de rutina para facilitar su acceso y retorno al lugar.
- Disponer de sitios identificados para ubicar elementos utilizados con baja frecuencia y para aquellos que no se usarán en el futuro.
- Facilitar identificación visual de la maquinaria (Equipos, alarmas, sentido de giro, etc.)
- Identificar y marcar sistemas auxiliares del proceso (Tuberías, aire comprimido, etc.)

Beneficios de ordenar para el trabajador:

- Facilita el acceso rápido a elementos requeridos en el trabajo, liberando espacio.
- Mejora la información del lugar de trabajo evitando errores y acciones de riesgo potencial.
- Facilita la realización del aseo y la limpieza.
- Aumenta la responsabilidad y compromiso con el trabajo.
- Aumenta la seguridad al facilitar la demarcación de los diferentes lugares de la planta.

Beneficios de ordenar para la organización:

- Simplifica sistemas de control visual en los diferentes puntos del proceso.
- Disminuye pérdidas por errores.
- Aumenta cumplimiento en órdenes de trabajo.
- Mejora estado de los equipos y disminuye averías.

**Seiso (Limpieza).** Significa eliminar polvo y suciedad de los diferentes lugares de trabajo, incluyendo diseño de aplicaciones para evitar o disminuir la suciedad haciendo más seguros los ambientes de trabajo.

Limpiar requiere:

- Asumir la limpieza como una actividad diaria del mantenimiento autónomo.
- Eliminar diferenciación entre operario de proceso, operario de limpieza y técnico de mantenimiento.
- Inspeccionar, por lo que aumenta el conocimiento de los equipos.
- Buscar las fuentes de contaminación para no limitarse a eliminar constantemente la suciedad.

Beneficios de la limpieza:

- Disminuye riesgos potenciales de accidentes.
- Mejora bienestar (físico y mental) del trabajador.
- Incrementa vida útil de los equipos y facilita identificación de posibles daños en los equipos.
- Reduce mudas de materiales y energía debido a eliminación de fugas y escapes.
- Mejora calidad de los productos, evitando suciedad y contaminación del producto y el empaque.

**Seiketsu (Estandarizar).** Consiste en mantener la limpieza y organización alcanzadas con la aplicación de las primeras 3S. En esta etapa los mismos trabajadores adelantan programas y diseñan mecanismos para su propio beneficio.

La estandarización pretende:

- Mantener el estado alcanzado con las tres primeras S.
- Enseñar al trabajador a elaborar normas, apoyado en la dirección y con el entrenamiento adecuado.
- Generar un modelo de la forma en que se debe mantener el equipo y la zona de trabajo.
- Verificar el cumplimiento de los estándares establecidos.

Beneficios de estandarizar:



- Permite mantener conocimiento producido durante años de trabajo.
- Mejora el bienestar del personal al crear hábitos de limpieza permanentes.
- Los operarios aprenden a conocer con detenimiento los equipos.
- Se prepara al personal para asumir mayores responsabilidades.
- Aumenta la productividad de la planta al disminuir tiempos de procesos.

**Shitsuke (Disciplina).** Evitar que se quebranten los procedimientos ya establecidos. La disciplina es el canal entre las 5S y el mejoramiento continuo<sup>5</sup>.

La disciplina implica:

- Respeto a normas y estándares definidos para conservación del lugar de trabajo.
- Respeto por las normas que regulan el funcionamiento de la organización.
- Promoción del hábito de autocontrol y reflexión sobre el nivel de cumplimiento de las normas.
- Comprensión de la importancia del respeto por los demás y por las normas que se han elaborado con la participación de todo el personal.

Beneficios de la disciplina:

- Crea una cultura de sensibilidad, respeto y cuidado de los recursos de la empresa.
- Permite cambiar hábitos, aumentando el seguimiento de estándares.
- Aumenta los niveles de satisfacción de los clientes.
- Convierte el área de trabajo en un lugar agradable para las personas:

---

<sup>5</sup> Proceso enfocado al mejoramiento de los estándares de trabajo, centrándose en las personas y los procesos a partir del compromiso de todos los miembros de la organización. HIRANO Hiroyuki, 5S for Operators: 5 Pillars of the Visual Workplace (For Your Organization). Productivity Press, 2001. Pág. 98.

## **b. Justo a Tiempo**

### **Definición**

La filosofía JIT se traduce en un sistema que tiende a producir justo lo que se requiere, cuando se necesita, con excelente calidad y sin desperdiciar recursos del sistema. Una definición para describir el objetivo de partida de un sistema JIT podría ser: "Producir los elementos que se necesitan, en las cantidades suficientes, en el momento que se necesiten".<sup>6</sup>

### **Objetivos**

Esta filosofía está orientada a reducir o eliminar buena parte de las mudas en las actividades de compras, fabricación, distribución y apoyo a la fabricación (actividades de oficina) en un negocio de manufactura, a fin de mejorar continuamente dichos procesos y la calidad del producto o servicio correspondiente.

### **Los elementos de la filosofía Justo a Tiempo**

Para lograr el objetivo de eliminación del desperdicio se utilizan los tres componentes básicos:

- a. Calidad: corresponde al concepto de calidad en la fuente, que consiste en hacer las cosas bien la primera vez en todas las áreas de la organización.
- b. Flujo: es la manera como el proceso fabril avanza de una operación a la siguiente. Está conformado por los siguientes elementos técnicos:
  - Carga fabril uniforme.
  - Operaciones coincidentes.
  - Compras JIT.
  - Sistema de jalar (Pull).
  - Agilización de alistamiento de máquinas.

---

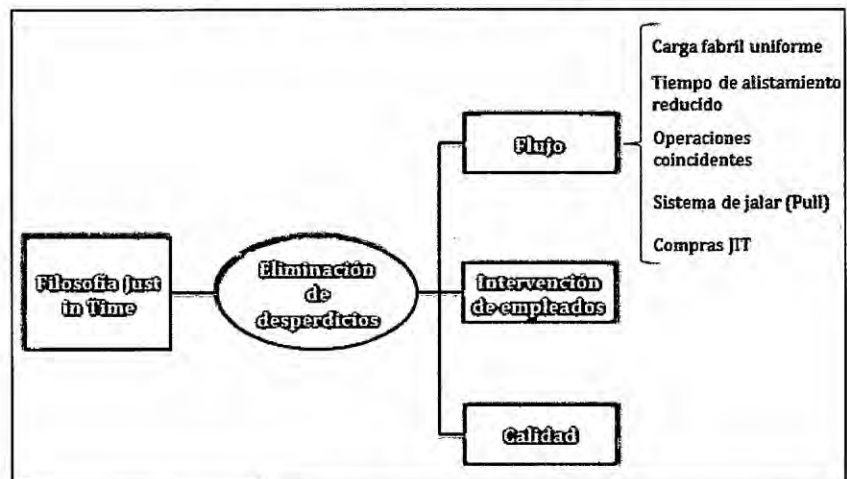
<sup>6</sup> Just in Time. Disponible en: <http://www.cqe.es/portalcqe/tecnologia/innovacion/4115sistemajust.aspx>. Octubre 2014.



- c. Intervención de los empleados: Se hace necesario crear una cultura de participación de los empleados y del trabajo en equipo.

Para el adecuado funcionamiento de la filosofía de Justo a Tiempo, se deben combinar los tres elementos básicos: calidad, flujo e intervención de los empleados (véase la figura N° 2.5. Filosofía Just in Time).

**Figura N° 2.5. Filosofía Just in Time.**



Fuente: HAY J. Edward. Justo a Tiempo. La Técnica Japonesa que Genera Mayor Ventaja Competitiva. Barcelona. 1992. Pág. 157.

### **Características**

**Equilibrio, sincronización y flujo en el proceso.** Para que haya flujo es indispensable necesitar equilibrio, por tanto, este factor puede tener más importancia que la rapidez. Lo que se debe equilibrar son las ideas del concepto de carga fabril uniforme:

- **Tiempo de ciclo:** que se refiere al ritmo de producción JIT. Es una medida del índice de la demanda, que muchas veces se mide por el índice de ventas. El principio de tiempo de ciclo dice que el ritmo de producción debe ser igual al índice de la demanda. La producción no debe ser equivalente a la capacidad para producir, sino que debe adaptarse a lo que necesita.

- **Carga nivelada:** que se refiere a la frecuencia de la producción. Es la producción de artículos a la frecuencia correcta. El principio de carga nivelada dice que los artículos deben producirse a la frecuencia que el cliente los pida.

**Tiempo mínimo de alistamiento.** El JIT requiere agilizar el alistamiento de las máquinas. Esto preparará el camino para los demás elementos del JIT, desde la nivelación de la carga hasta las operaciones coincidentes, los sistemas de jalar (Pull) e incluso la calidad en la fuente.

**Tecnología de grupos – Operaciones coincidentes.** Es el ordenamiento físico, la disposición y la localización de las máquinas en una industria fabril. Es necesario que la fábrica se organice físicamente no por funciones sino por productos. La maquinaria se debe dedicar total o parcialmente a una familia de productos y se debe disponer en el orden en que van a cumplirse las operaciones para esta familia de productos. Para que una celda sea JIT debe cumplir dos características:

- El producto debe fluir uno cada vez de una máquina a otra.
- Tener flexibilidad para operar a distintos ritmos de producción y con cuadrillas de diferentes tamaños (tiempo de ciclo).

**Sistemas de jalar (Pull).** Es una manera de conducir el proceso fabril de tal forma que cada operación, comenzando con los despachos y remontándose hasta el comienzo del proceso, va halando el producto necesario de la operación anterior solamente a medida que lo necesite.

**Compras JIT.** Buscan eliminar los desperdicios en el proceso de compras, en las relaciones y en los mecanismos de control que rigen entre comprador y vendedor; eliminando los costos como único criterio de selección, y completándolo con calidad. Se busca una relación basada en la calidad, duradera y mutuamente benéfica con proveedores mejores pero en menor número.

## **Beneficios de Justo a Tiempo**

- Disminuye las inversiones para mantener el inventario.
- Aumenta la rotación del inventario.
- Reduce las pérdidas de material, genera menos mudas.
- Mejora la productividad global.
- Disminuye los costos financieros:
- Genera ahorros en los costos de producción, los racionaliza.
- Menor espacio de almacenamiento:
- Se evitan problemas de calidad, cuello de botella, problemas de coordinación, proveedores no confiables etc.
- Toma de decisiones en el momento justo.
- Cada operación produce sólo lo necesario para satisfacer la demanda.
- No existen procesos aleatorios ni desordenados.
- Los componentes que intervienen en la producción llegan en el momento de ser utilizados.

## **c. POKA YOKE (Dispositivos para prevenir errores)**

### **Definición**

El término proviene de las palabras japonesas "POKA" (error inadvertido) y "YOKE" (prevenir), lo que significa que un dispositivo POKA YOKE es cualquier tipo de mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y lo corrija a tiempo.

### **Objetivos**

Eliminar los defectos en un producto ya sea previniendo o corrigiendo los errores que se presentan lo antes posible. Para esto, los sistemas Poka Yoke poseen dos funciones:

- Hacer la inspección del 100% de las partes producidas.
- Dar retroalimentación en la ocurrencia de anomalías y generar acciones correctivas.

## **Métodos POKA YOKE**

**Métodos de Control.** Corresponden a métodos que apagan las máquinas o bloquean los sistemas de operación al ocurrir anomalías para prevenir que se siga generando el mismo defecto. Por lo tanto este tipo de sistemas ayudan a aumentar la eficiencia en busca de resultados de cero defectos.

**Métodos de Advertencia.** Este tipo de método advierte al trabajador de las anomalías ocurridas, llamando su atención, mediante la activación de una luz o sonido. La efectividad de estos métodos va a depender del trabajador ya que el control de anomalías es consecuente de que el trabajador se haya percatado de las señales de advertencia.

### **Beneficios**

- Se asegura la inspección del 100% de los productos elaborados.
- Disminuye la cantidad de defectos que se generan en la línea de producción.
- Genera advertencias y facilita la toma de medidas correctivas para problemas de la producción.

## **d. Alistamiento Rápido de Maquinas (SMED: Single Minute Exchange of Die)**

### **Definición**

Es cambio de herramienta en un solo dígito de minutos. Este concepto introduce la idea de que en general cualquier cambio de máquina o inicialización de proceso debería durar no más de 10 minutos, de ahí la frase single minute. Se entiende por cambio de herramientas, el tiempo transcurrido desde la fabricación de la última pieza válida de una serie hasta la obtención de la primera pieza correcta de la serie siguiente; no únicamente el tiempo del cambio y ajustes físicos de la maquinaria.

## Objetivos

- Facilitar los pequeños lotes de producción.
- Producir lo necesario.
- Alcanzar el tamaño de lote a 1.
- Hacer la primera pieza bien cada vez.
- Cambio de dispositivo en un solo dígito.

## Tipos de ajuste

Se distinguen dos tipos de ajustes:

- **Ajustes / tiempos internos:** Corresponde a operaciones que se realizan a máquina parada.
- **Ajustes / tiempos externos:** Corresponde a operaciones que se realizan (o pueden realizarse) con la máquina en marcha, o sea durante el periodo de producción.

## Aproximación en 3 pasos

### 1. Eliminar el tiempo externo

Gran parte del tiempo se pierde pensando en lo que hay que hacer después o esperando a que la máquina se detenga. Planificar las tareas reduce el tiempo (el orden de las partes, cuando los cambios tienen lugar, que herramientas y equipamiento es necesario, qué personas intervendrán y los materiales de inspección necesarios). El objetivo es transformar en un evento sistemático el proceso, no dejando nada al azar.

### 2. Estudiar los métodos y practicar

El estudio de tiempos y métodos permitirá encontrar el camino más rápido y mejor para identificar el tiempo interno remanente. Las tuercas y tornillos son unos de los mayores causantes de demoras. La unificación de medidas y de herramientas reducirá el tiempo. Duplicar piezas comunes para el montaje

permitirá hacer operaciones de forma externa ganando este tiempo de operaciones internas.

Para mejores y efectivos cambios de modelo se requiere de equipos de gente. Dos o más personas colaboran en el posicionado, alcance de materiales y uso de las herramientas. La eficacia está condicionada a la práctica de la operación. El tiempo empleado en la práctica bien vale ya que mejoraran los resultados.

### **3. Eliminar los ajustes**

Implica que los mejores ajustes son los que no se necesitan, por eso se recurre a fijar las posiciones. Se busca recrear las mismas circunstancias que la de la última vez. Como muchos ajustes pueden ser hechos como trabajo externo se requiere fijar las herramientas. Los ajustes precisan espacio para acomodar los diferentes tipos de matrices, troqueles, punzones o utillajes por lo que requiere espacios estándar.

### **Beneficios de SMED**

- Producir en lotes pequeños.
- Reducir inventarios.
- Procesar productos de alta calidad.
- Reducir los costos.
- Tiempos de entrega más cortos.
- Ser más competitivos.
- Tiempos de cambio más confiables.
- Carga más equilibrada en la producción diaria.

### **2.2.4. Efectividad global de equipos (OEE)**

#### **Definición**

Es una razón porcentual que sirve para medir la eficiencia productiva de la maquinaria industrial. Es un indicador que se emplea para medir el rendimiento



y productividad de las líneas de producción en las que la maquinaria tiene gran influencia. En la minería, es un concepto poco conocido. Este indicador combina la eficacia de la gestión de las áreas productivas mediante la utilización de los equipos, la gestión de mantenimiento con la disponibilidad e introduce la medición del rendimiento de los equipos que generalmente no es evaluado.

### Objetivos

Los objetivos que persigue la OEE son:

- Mediante el análisis de la OEE se puede detectar las fallas más comunes a fin de mejorar los puntos débiles de la planta.
- Se pretende reducir los costos relacionados con las pérdidas de mantenimiento y calidad.
- Se desea establecer un costo efectivo de mantenimiento.

Los objetivos del OEE tienen como finalidad hacer más productiva y eficiente la planta, por lo tanto la reducción de costos.<sup>7</sup>

- **Disponibilidad:** corresponde al porcentaje de tiempo en que el equipo está disponible para operar y realizar la función para la que está diseñada, en relación con el tiempo total.<sup>8</sup>

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Calendario} - \text{PPP} - \text{PFE}}{\text{Tiempo Calendario}} \times 100$$

- **Utilización:** Tiempo que el equipo se encuentra efectivamente operando para producir.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Tiempo Disponible} - \text{PFP} - \text{PAP} - \text{PRP}}{\text{Tiempo Disponible}} \times 100$$

<sup>7</sup> Sistemas OEE de productividad industrial. España 2011. Disponible en: <http://sistemasoe.com/index.php/la-empresa/la-experiencia-de-los-mejores>

<sup>8</sup> <https://www.codelcoeduca.cl/glosario/d.html>, Octubre 2014.

- **Rendimiento:** Mide la fracción de tiempo que el equipo es usado a su capacidad máxima.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Tiempo Operativo} - \text{PVR} - \text{PDR} - \text{OEV}}{\text{Tiempo Operativo}} \times 100$$

### Clasificación de la OEE

El valor de la OEE permite clasificar una o más líneas de producción, o toda una planta, con respecto a las mejores de su clase y que ya han alcanzado el nivel de excelencia (véase la tabla N° 2.2. Clasificación OEE).

**Tabla N° 2.2. Clasificación OEE.**

OEE	Calificativo	Consecuencias
OEE < 65%		Importantes pérdidas económicas. Baja competitividad.
65% < OEE < 75%	Regular	Pérdidas económicas. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora.
75% < OEE < 85%	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
85% < OEE < 95%	Buena	Buena competitividad. Entramos ya en valores considerados "World-Class".
OEE > 95%	Excelente	Competitividad Excelente.

Fuente: CRUELLES RUIZ. La Teoría de la Medición del Despilfarro. Bogotá. 2010. Pág. 241.

Las condiciones a obtener con estos tres elementos para un "World Class" deberán ser:

**Tabla N° 2.3. Porcentaje de indicadores para Word Class.**

Elemento	Porcentaje (%)
Disponibilidad	90
Utilización	95
Rendimiento	99

Fuente: Elaboración propia.

Donde la efectividad global de equipos mínima a lograr es:

**OEE = Disponibilidad x Utilización x Rendimiento**

**OEE = 85 % (Mínimo)**

### **Principales pérdidas que afectan a los equipos**

Las empresas que se dedican en la extracción de recursos naturales como la minería tienen varios tipos de pérdidas que impiden que las operaciones logren su máxima eficacia, resaltando las siguientes como las más importantes:

**Pérdidas por paradas programadas (PPP).** Tiempo perdido por los equipos cuando estos paran para realizar inspecciones o mantenimiento programados.

**Pérdidas por fallas en los equipos (PFE).** Tiempo perdido que se genera cuando los equipos de producción en forma imprevista pierden o reducen sus funciones específicas, pueden ser de dos tipos:

- **Fallas con pérdida de función.** Significa un fallo repentino y drástico, como consecuencia el equipo se para por completo.
- **Falla con reducción de función.** Son fallas que generan reducción de la capacidad del equipo, aunque el mismo puede seguir operando.

**Pérdida por fallas en los procesos (PFP).** Tiempo perdido que se origina cuando se paran los equipos por factores externos, en el caso de minería, generalmente se presenta por fallas geológicas y condiciones climáticas.

**Pérdidas por ajustes de producción (PAP).** Tiempo que se pierde cuando se cambian los planes de producción y es necesario reacomodar los equipos en los nuevos frentes.

**Pérdidas por reinicio de producción (PRP).** Son pérdidas de rendimiento que se producen durante la producción normal como consecuencia del reinicio de la producción, normalmente en los cambios de turno, luego de las voladuras, abastecimiento de combustible y otros.

**Pérdida por velocidad reducida (PVR).** Pérdidas de rendimiento que se presentan cuando los equipos se desplazan a menor velocidad de lo programado o cargan por debajo de su capacidad.

**Pérdidas de reprocesamiento (PDR).** Son las producidas por el doble manipuleo del material o el reciclaje del mismo. En minería se usa mucho la mezcla de mineral para optimizar la recuperación o evitar problemas de chancado.

**Operación en vacío (OEV).** Pérdidas que se generan cuando el equipo sigue funcionando sin producir nada, cuando los equipos de acarreo esperan a los equipos de carguío y viceversa, retorno de los equipo sin carga.

### **Principales Indicadores de Mantenimiento**

Existe una diversidad de indicadores para evaluar todas las actividades de mantenimiento, pero considero que los que se mencionan a continuación son los indispensables en toda efectiva gestión de mantenimiento.

- **Tiempo Promedio Entre Fallas (MTBF).**- Es la media aritmética (promedio) tiempo entre fallos de un sistema. Es típicamente parte de un modelo que asume que el sistema fallido se repara inmediatamente (el tiempo transcurrido es cero), como parte de un proceso de renovación. Es un indicador de confiabilidad.<sup>9</sup>

$$MTBF = \frac{\text{Nº de horas de operación}}{\text{Nº de paradas correctivas}}$$

- **Tiempo Promedio Para Reparación (MTTR).**- Es el tiempo que se necesita para reparar una falla y volver el equipo a un estado de disponibilidad operativa.<sup>10</sup>

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de paradas}}{\text{Nº de paradas}}$$

<sup>9</sup> TECSUP, Gestión del Mantenimiento. Lima, 2002. Pág. 54

<sup>10</sup> TECSUP, Gestión del Mantenimiento. Lima, 2002. Pág 54

### 2.3. Definición de términos básicos

**Administración:** Función que se ocupa de fijar el plan de acción a seguir (coordinación de finanzas, producción, servicio, distribución, etcétera) y establecer los límites de acción y la marcha de la organización y de control.

**Avería:** Es la interrupción o deterioro que sufre un elemento, componente, sistema o equipo ítem para realizar su función específica, la cual puede ser total o parcial.

**Capacidad:** Es el suministro de la cantidad correcta de materia prima en el lugar y momento exacto. Sin embargo, la planeación de la capacidad la determina no sólo el tamaño de las instalaciones sino también el número apropiado de personal en la función requerida.

**Criterio estratégico:** Es la visión de la organización para lograr una posición de liderazgo que aplicará para establecer el camino y las líneas de acción para su progreso, las cuales promueve dentro de la organización para generar una actitud de colaboración dirigida.

**Estrategia:** Pasos o formas para poner en práctica algo.

**Inventarios:** Determina lo que se debe ordenar, qué cómo, cuánto y cuándo solicitarlo o suministrarlo. Los sistemas de control de inventarios se utilizan para administrar desde la requisición hasta el recibo de lo requerido bajo el cumplimiento de las especificaciones.

**Mantenibilidad:** Fácilidad de un ítem en ser mantenido o recolocado en condiciones de ejecutar sus funciones requeridas.

**Mantenimiento:** Acciones necesarias para que un ítem sea conservado o restaurado de manera que pueda permanecer de acuerdo con una condición especificada.

**Mantenimiento Correctivo:** Servicios de reparación en ítems con falla.

**Mantenimiento Predictivo:** Servicios de seguimiento del desgaste de una o más piezas o componente de equipos prioritarios a través de análisis de síntomas, o estimación hecha por evaluación estadística, tratando de extrapolar el comportamiento de esas piezas o componentes y determinar el punto exacto de cambio.

**Mantenimiento Preventivo:** Servicios de inspección, control, conservación y restauración de un ítem con la finalidad de prevenir, detectar o corregir defectos, tratando de evitar fallas.

**Método:** Conjunto de procedimientos ordenados con los cuales se obtienen resultados, o bien, es una forma de enseñar.

**Metodología:** Aplicación coherente de un método.

**Modelo:** Representación de un fenómeno, cuya finalidad es estudiarlo en forma específica.

**Pilares del TPM:** Son los cimientos que servirán de apoyo para el diseño de un sistema ordenado, los cuales se basan en una metodología congruente y efectiva, estos pilares son considerados como necesarios para el diseño, implementación, implantación y mantenimiento del TPM en una organización, los cuales son:

- Mantenimiento autónomo.
- Mejoras enfocadas.
- Mantenimiento planificado:
- Mantenimiento de calidad.
- Gestión temprana de equipos.
- Capacitación y desarrollo.
- TPM en administración.
- Seguridad, higiene y medio ambiente.

**Proceso:** Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que al interactuar transforman elementos de entrada y los convierten en resultados.



**Producción:** Es la actividad económica que aporta valor agregado por creación y suministro de bienes y servicios, es decir, consiste en la creación de productos o servicios y al mismo tiempo la creación de valor.

**Productividad:** Índice entre lo que se produce y se invierte.

**Proyecto:** Plan que se desarrolla para realizar una idea.

**Sistema:** Conjunto de elementos interrelacionados en donde existe una conexión o unidad entre sí que persigue el mismo objetivo.

### **ACRÓNIMOS**

**ISO:** Organización Internacional de Normalización.

**JIT:** Justo a tiempo.

**Know-Why:** Conocer – por qué.

**MA:** Mantenimiento autónomo.

**MC:** Mantenimiento de calidad.

**MP:** Mantenimiento progresivo o planificado.

**MTBF:** Tiempo medio entre fallas.

**MTTR:** Tiempo medio de reparación.

**OEE:** Efectividad Global de Equipos (Overall Equipment Effectiveness).

**PHVA:** Planear, hacer, verificar y actuar.

**TF:** Tiempo de funcionamiento.

**TPM:** Mantenimiento productivo total.

**TPP:** Tiempo de paradas planificadas.

**TTNP:** Tiempo total no programado.

**CAPITULO III**  
**VARIABLES E HIPOTESIS**

**3. 1. Variables de investigación**

**3.1.1. Variable independiente**

Diseño de un plan de mejora.

**3.1.2. Variable dependiente:**

Efectividad global de equipos.

**3.2. Operacionalización de variables**

**Tabla N° 3.1.** Operacionalización de variables.

<b>DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORA DE LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPOS EN LA FLOTA CAMIONES KOMATSU HD 1500</b>		
<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>
Variable dependiente: Efectividad global de equipos	Disponibilidad	Pérdidas por paradas programadas
		Pérdidas por fallas en equipos
	Utilización	Pérdidas por fallas en procesos
		Pérdidas por ajustes de producción
		Pérdidas por reinicio de producción
	Rendimiento	Pérdidas por velocidad reducida
		Pérdidas por reprocesamiento
		Pérdidas por operación en vacío
	Variable independiente: Diseño de un plan de mejora	Mejoramiento continuo
Herramientas para la solución de problemas		
Mantenimiento productivo total (TPM)		Pilares del TPM
		Herramientas de manufactura esbelta
Justo a tiempo (JIT)		
Alistamiento rápido de máquinas (SMED)		
Poka Yoke (Dispositivos para prevenir errores)		

Fuente: Elaboración propia.

### **3.3. Hipótesis**

#### **3.3.1. Hipótesis general**

Si se diseña un plan para reducir las principales pérdidas de la flota de camiones KOMATSU HD 1500, entonces se mejora la efectividad global.

#### **3.3.2. Hipótesis específicas**

Con las técnicas de mejoramiento continuo y solución de problemas:

Con herramientas de manufactura esbelta y filosofía TPM.

## CAPITULO IV

### METODOLOGÍA

#### 4.1. Tipo de investigación

Tipo: "Campo" - Nivel: "Descriptivo".

#### 4.2. Diseño de la investigación

Diseño no experimental.

#### 4.3. Población y muestra

Para la presente investigación, se tiene que la muestra es igual a la población ya que se toma como muestra los 10 camiones KOMATSU HD 1500 que posee la empresa.

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

Las principales técnicas que se utilizaron para llevar a cabo la investigación, fueron las siguientes:

Técnicas	Instrumentos
Procesamiento y análisis de datos	Hojas de cálculo en Excel
Observación cuantitativa	Cámara fotográfica
	Reloj y cronómetro

#### 4.5. Procedimiento de recolección de datos

Se tomó como base la información recopilada de la base de datos del área de mantenimiento mecánico de equipos y el área de operaciones de la empresa, a través de los datos del dispatch para operaciones.

#### 4.6. Procedimiento estadístico y análisis de datos

Se utilizó el análisis estadístico, como medidas de tendencia central y dispersión para el cálculo de las nuevas horas de vida útil de algunos componentes, las pérdidas por disponibilidad, rendimiento, utilización en la flota de camiones y por último para la determinación de las causas principales que generan las mayores pérdidas con ayuda de un diagrama de Pareto.

## **4.7. Proceso de la investigación**

### **4.7.1. Diagnóstico de la efectividad global de flota de camiones**

Las operaciones de minería se desarrollan durante las 24 horas del día y los 365 días del año, donde cualquier tipo de parada o interrupción genera automáticamente tiempos perdidos que afectan la producción reduciendo la efectividad global. Los tiempos perdidos generados, se clasifican según su naturaleza de la siguiente manera:

#### **A. Pérdidas que afectan la disponibilidad mecánica**

Para la evaluación de las pérdidas que afectan la disponibilidad, se pone énfasis en aquellas que pueden ser controlables o mitigables mediante acciones de mejora de los métodos y prácticas de trabajo tal como:

- **Paradas por mantenimiento preventivo:** Son paradas programadas de los camiones, que se realizan cada 250 horas de operación y con una duración promedio de 12 horas por camión. Durante las paradas se realizan trabajos importantes como cambio de filtros y lubricantes, regulaciones y calibraciones, inspección general, reparaciones menores (cambio de componentes), entre otros.
- **Paradas por cambio de componentes mayores:** Según recomendación de fabricante y a efectos de mantener una buena confiabilidad, después de que los componentes han completado su vida útil deben ser remplazados o reparados. Este tipo de trabajo se denomina "Overhaul" que generan paradas de los equipos por periodos que pueden variar entre 48 a 100 horas o más. Se muestra en la siguiente tabla, la vida útil de algunos componentes mayores (véase la tabla N° 4.1. Control de vida útil de algunos componentes de camiones KOMATSU.HD 1500, página 47).

**Tabla N° 4.1.** Control de vida útil de algunos componentes de camiones  
KOMATSU HD 1500.

Grupo	Componente	N° parte	Fase	Costo US\$	Cant.	Vida útil
Motor	Motor QSK45 33173325	QSK45-C	RM	224,348.8	1	16000
Tren de fuerza	Transmisión	562-13-50000	RM	328,633.8	1	16000
	Convertidor	562-13-51001	RM	57,143.5	1	16000
	Diferencial	R562-22-30111	RM	130,400.6	1	16000
	Mando final RH	562-22-32002	RM	164,673.5	1	16000
	Mando final LH	562-22-32002	RM	164,673.5	1	16000
	Bocamaza delantera LH	562-27-31214	RM	19,101.0	1	16000
	Bocamaza delantera RH	562-27-31214	RM	19,101.0	1	16000
Frenos	Paquetes de frenos delanteros	EK9046	RM	40,827.5	2	16000
	Paquetes de frenos posteriores	562-33-30110	RM	95,200.1	2	16000

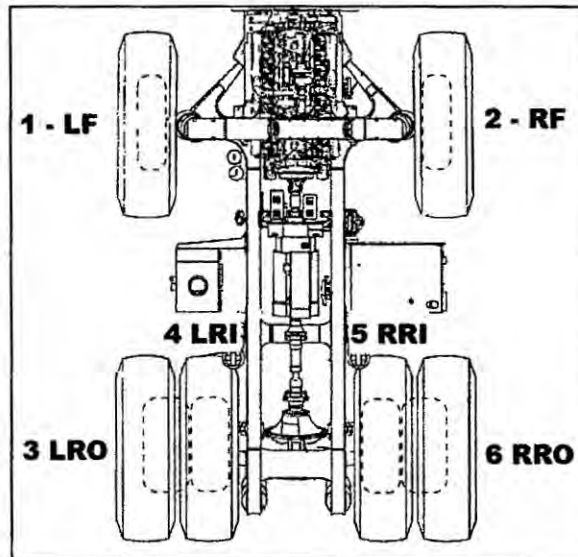
Fuente: Elaboración propia. Adaptación área de mantenimiento de equipos Shougang.

- **Paradas por cambio y/o rotación de llantas:** para maximizar la duración de las llantas en operación, debe realizarse un programa de rotación de las llantas que cumple la siguiente regla:
  - 33% de su vida en las posiciones 1 y 2 (ejes delanteros).
  - 33% de su vida restante en las posiciones 3 y 4 (eje posterior izquierdo).
  - Termina su vida útil en las posiciones 5 y 6 (eje posterior derecho).

Estas rotaciones programadas generan un promedio de 11 paradas por camión/año y cada una de las paradas tiene una duración que varía entre 2 a 5 horas. Las paradas correctivas por falla de neumáticos (fatiga térmica o corte), son los que más daños económicos generan, ya que rompe el ciclo de operación y afecta la disponibilidad de equipo, estos cambios de llantas por falla varían entre 2 a 8 horas de cambio según disponibilidad de stock de llantas. (Véase la figura N° 4.1 Nomenclatura para posición de llantas, página 48).



**Figura N° 4.1.** Nomenclatura para posición de llantas.



Fuente: Elaboración propia. Adaptación de manual de camión KOMATSU HD 1500.

- **Inspecciones mecánicas:** con el objetivo de mejorar la confiabilidad de los equipos, se tiene un programa de inspecciones de cerca de 1 hora, durante las cuales, se identifican problemas menores en el equipo y se realizan las correcciones. Generalmente se hacen en el horario de refrigerio.
- **Pérdidas por fallas en los equipos:** Durante la operación de los camiones, se generan paradas imprevistas que originan pérdidas considerables en la producción y afectan de forma significativa la efectividad global de equipos (OEE) puesto que afecta el MTBF y la disponibilidad mecánica, la duración de las paradas son variables.

➤ **Cuantificación de las pérdidas que afectan la disponibilidad**

Tomando como referencia información del área de mantenimiento, para el periodo comprendido en 6 meses, se han determinado tiempos perdidos que equivalen a un promedio de 639.2 horas/equipo/año (véase la tabla N° 4.2. Pérdidas que afectan la disponibilidad de la flota de camiones, página 49) que representa aproximadamente el 7.3% del tiempo total disponible (8760

horas/año), esto significa que el área de mantenimiento entrega un tiempo neto de solo 8120.8 horas para las labores de producción (véase el gráfico N° 4.1. Pérdidas que afectan la disponibilidad de la flota de camiones, página 50).

**Tabla N° 4.2.** Pérdidas que afectan la disponibilidad de la flota de camiones.

PERDIDAS QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD								
Tipo de pérdida	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Promedio mensual	Promedio anual
	horas x equipo x mes							horas x equipo x año
Mantenimiento Preventivo	18.5	15.5	19.2	18	16.4	16.5	17.4	208.2
Llantas (Cambio/Rotación)	4.4	6.2	2.4	4.5	6.2	5.2	4.8	57.8
Sistema Hidráulico	1.4	1.2	4.2	8.5	1.4	6.3	3.8	46
Sistema Eléctrico	1.2	2.5	1.2	3.1	1.5	2.2	2.0	23.4
Motor	0	44.5	3.5	0	0	2.7	8.5	101.4
Sistema Lubricación	1	0.5	1.2	1.5	0.6	0.6	0.9	10.8
Sistema Dirección	0.3	0	2.5	3.1	1.2	0	1.2	14.2
Sistema Frenos	10.1	5.2	1.5	8.1	6.1	2.5	5.6	67
Chasis y Cabina	5.4	1.2	0	3.3	1.1	2.1	2.2	26.2
Tren de Fuerza	3.2	1.2	5.5	0	0	4.5	2.4	28.8
Inspección Mecánica	0.5	1.1	0.3	0.2	0.4	1	0.6	7
Componentes Mayores	0	6.5	4.3	0	0	5	2.6	31.6
Otras Paradas	1.2	2.1	0.5	3.1	1.1	0.4	1.4	16.8
<b>Pérdidas Totales</b>	<b>47.2</b>	<b>87.7</b>	<b>46.3</b>	<b>53.4</b>	<b>36</b>	<b>49</b>	<b>53.3</b>	<b>639.2</b>

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 4.1. Pérdidas que afectan la disponibilidad de la flota de camiones.



Fuente: Elaboración propia.

### B. Pérdidas que afectan la utilización operativa

Del total de tiempo disponible que entrega mantenimiento, durante la operación de los equipos se generan pérdidas adicionales que afectan aún más la efectividad global de la flota (OEE), estas pérdidas se han identificado, cuantificado y clasificado de la siguiente forma:

- **Pérdidas por fallas en los procesos:** originando principalmente por factores externos a la gestión de producción:
  - **Factores climatológicos:** lluvias y neblinas en periodos de junio y julio, especialmente neblina densa no permite la visibilidad y genera parada parcial o completa de la producción y se constituye una causa de pérdida importante y es inevitable.

- **Fallas geológicas:** eventualmente se generan deslizamientos en talud originados por fallas de diseño en mina o fallas geológicas naturales que también originan paradas.
- **Pérdidas por ajuste y reinicio de producción:** se generan principalmente por las paradas operativas programadas y no programadas que requieren reinicio de las operaciones, estas son:
  - **Paradas por refrigerio:** el sistema de trabajo continuado en mina consta de 2 turnos de trabajo de 12 h, el primer turno de 7 am a 7 pm con refrigerio de 60' entre las 12 y 1 pm, el segundo turno entre 7 p.m. y 7 a.m. un descanso 2 a.m. a 3 a.m. Estas paradas originan pérdida en la producción por refrigerio y descanso programado.
  - **Paradas por cambio de turno:** paradas similares se generan en la flota a las 7 am y 7 pm como consecuencia del cambio de turno e inspección de equipos por parte de operadores. Cada una de estas paradas tienen una duración de 10 min por cada equipo aproximadamente.
  - **Espera en colas:** consideramos las colas que se generan cuando los camiones esperan para descargar el material en la boca de la chancadora y cuando esperan para ser llenados por la tolva de mineral chancado, el tiempo muerto es variable y puede ser de pocos segundos a varios minutos.

➤ **Cuantificación de las pérdidas que afectan la utilización operativa**

Tomando la misma fuente dispatch y para el mismo periodo se ha procesado y determinado que las pérdidas que afectan la utilización, equivale a un total de 1261.6 horas/equipo/año, estas pérdidas representan aprox. 15.5 % del tiempo disponible de 8120.8 horas/equipo/año (véase la tabla N° 4.3. Pérdidas que afectan la utilización de la flota, página 52).

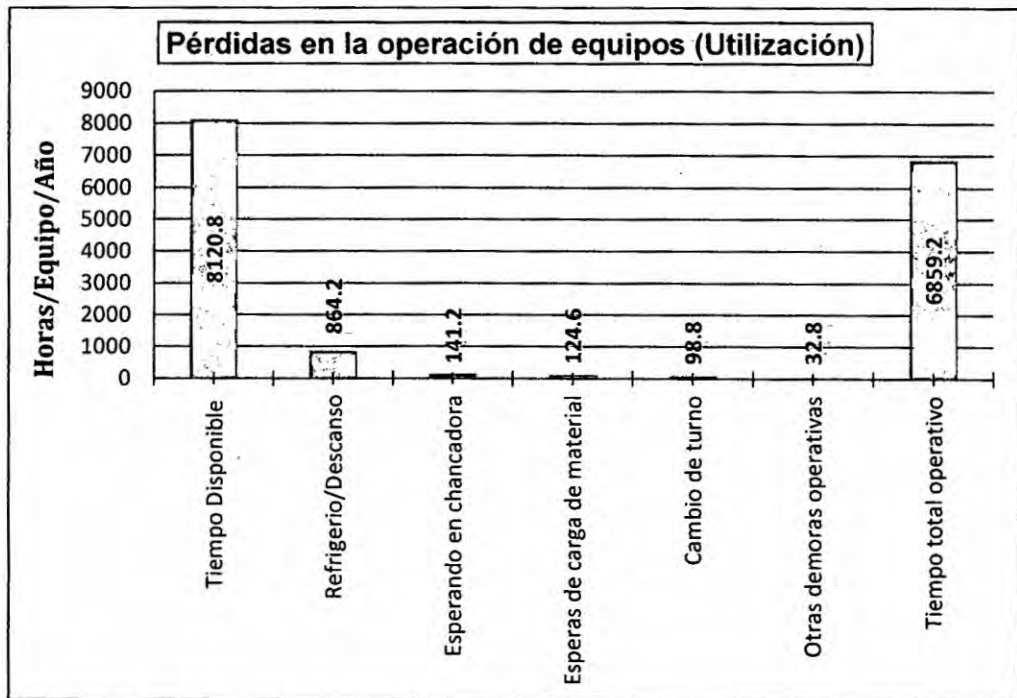
**Tabla N° 4.3. Pérdidas que afectan la utilización de la flota.**

PERDIDAS QUE AFECTAN LA UTILIZACION								
Tipo de pérdida	Mes-1	Mes-2	Mes-3	Mes-4	Mes-5	Mes-6	Promedio mensual	Promedio anual
	horas x equipo x mes							horas x equipo x año
Refrigerio/Descanso	72.4	70.1	73.2	72.5	70.5	73.4	72.02	864.2
Esperando en chancadora	10.3	12.2	9.5	11.4	14.1	13.1	11.77	141.2
Esperas de carga de material	10.2	9.1	11.4	12.1	9.4	10.1	10.38	124.6
Cambio de turno	8.2	8.1	8.2	8.5	8.1	8.3	8.23	98.8
Otras demoras operativas	2.4	3.1	2.1	3.1	3.2	2.5	2.73	32.8
<b>Pérdidas Totales</b>	<b>103.5</b>	<b>102.6</b>	<b>104.4</b>	<b>107.6</b>	<b>105.3</b>	<b>107.4</b>	<b>105.1</b>	<b>1261.6</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Dichas pérdidas reducen la utilización de los equipos contando con un tiempo 84.5 % y solo se cuenta con un total de 6859.2 horas útiles para producción (véase el gráfico N° 4.2. Pérdidas que afectan la utilización de la flota de camiones).

**Gráfico N° 4.2. Pérdidas que afectan la utilización de la flota de camiones.**



Fuente: Elaboración propia.

### **C. Pérdidas que afectan el rendimiento de los equipos**

En la mayoría de las empresas las pérdidas por rendimiento son ignoradas, por desconocimiento o por la dificultad en su cuantificación, esto constituye un error, ya que estas pérdidas son las que impactan más de forma negativa en la efectividad global en general:

- **Pérdidas por velocidad reducida:** la flota de camiones durante su operación no alcanzan su máximo rendimiento porque se ven afectados por las siguientes pérdidas:
  - **Tolvas pesadas:** las tolvas estándares de los camiones mineros pesan aproximadamente 25 toneladas y se han determinado que tienen un exceso de por lo menos 10 toneladas , este sobrepeso es desplazado continuamente por miles de ciclos durante el año y representa el principal factor que genera pérdidas en la flota. El sobrepeso reduce la velocidad de desplazamiento, genera mayor consumo de combustible y deteriora prematuramente los componentes mayores de los equipos.
  - **Velocidad reducida de carguío:** por diseño equipos de carguío deben cargar un camión KOMATSU HD 1500 con 5 pasadas, pero por problemas en métodos de carguío los camiones son llenados con 6 pasadas sobrepasando algunas veces la capacidad límite.
  - **Velocidad reducida de acarreo:** los camiones se desplazan con velocidad reducidas principalmente por el mal estado de las vías de acarreo o mal estado de equipos.
- **Pérdidas por operación en vacío o esperas:** la operación en vacío se genera principalmente por una ineficiencia en la asignación de los camiones por el operador del sistema de despacho que origina desplazamientos excesivos e innecesarios de los camiones, igualmente genera colas por que



los camiones deben esperar su turno para ser llenados por cargadores o palas.

➤ **Cuantificación de las pérdidas que afectan el rendimiento**

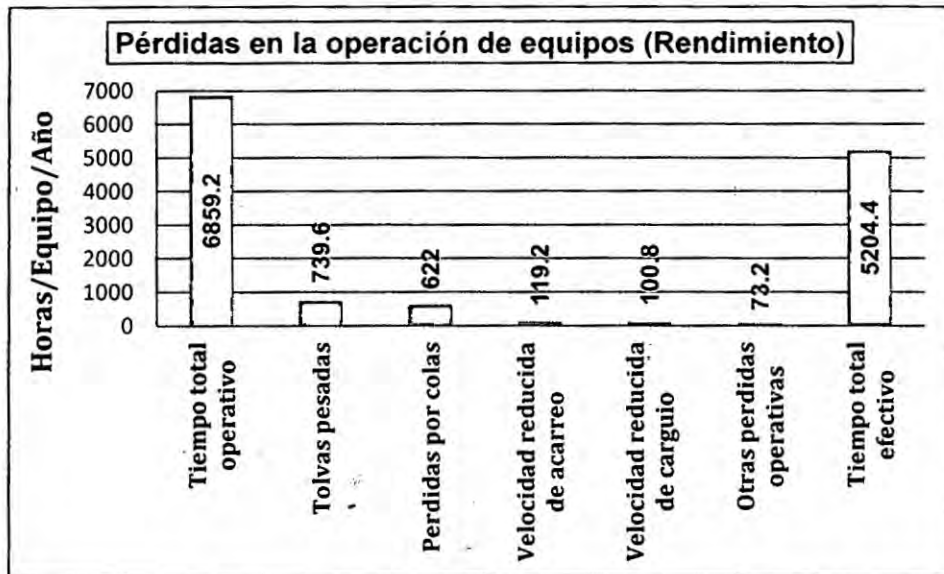
Debido a que las pérdidas por rendimiento en su mayoría no son cuantificables por el sistema de control de mina se tuvo que realizar un estudio de tiempos y movimientos para determinar que las pérdidas para una muestra de 6 meses, determinándose que estas equivalen a 1654.8 horas/equipo/año (véase la tabla N° 4.4. Pérdidas que afectan el rendimiento de la flota de camiones) que representan aproximadamente el 24.12 % del tiempo total utilizado de 6859.2 horas, debido a estas pérdidas, el rendimiento de la flota se reduce a 75.88 % quedando un tiempo efectivo de trabajo de solo 5204.4 horas por equipo x año (véase el gráfico N° 4.3. Pérdidas que afectan el rendimiento de la flota de camiones, página 55).

**Tabla N° 4.4. Pérdidas que afectan el rendimiento de la flota de camiones.**

PERDIDAS QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO								
Tipo de pérdida	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Promedio mensual	Promedio anual
	horas x equipo x mes							horas x equipo x año
Tolvas pesadas	61.2	59.5	63.1	61.4	62.2	62.4	61.63	739.6
Perdidas por colas	52.3	51.4	50.5	51.5	54.1	51.2	51.83	622
Velocidad reducida de acarreo	10.1	9.5	9.4	10.1	9.4	11.1	9.93	119.2
Velocidad reducida de carguío	8.4	8.2	9.1	8.4	8.1	8.2	8.40	100.8
Otras pérdidas operativas	6.2	5.5	4.5	6.1	8.2	6.1	6.10	73.2
<b>Pérdidas Totales</b>	<b>138.2</b>	<b>134.1</b>	<b>136.6</b>	<b>137.5</b>	<b>142</b>	<b>139</b>	<b>137.9</b>	<b>1654.8</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N° 4.3.** Pérdidas que afectan el rendimiento de la flota de camiones.



Fuente: Elaboración propia.

#### D. Evaluación de la efectividad global de la flota

Una vez culminada la evaluación y cuantificación de las pérdidas que afectan a la efectividad global de la flota de camiones KOMATSU HD 1500, el siguiente paso fue determinar el valor numérico del indicador, utilizando la siguiente fórmula para su determinación:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Utilización} \times \text{Rendimiento}$$

Dónde:

**Tabla N° 4.5.** Indicador de OEE.

Indicadores	Valor (Horas)	Porcentaje
<b>Disponibilidad</b>	8120.8/8760	<b>92.70%</b>
<b>Utilización</b>	6859.2/8120.8	<b>84.46%</b>
<b>Rendimiento</b>	5204.4/6859.2	<b>75.87%</b>

Fuente: Elaboración propia.

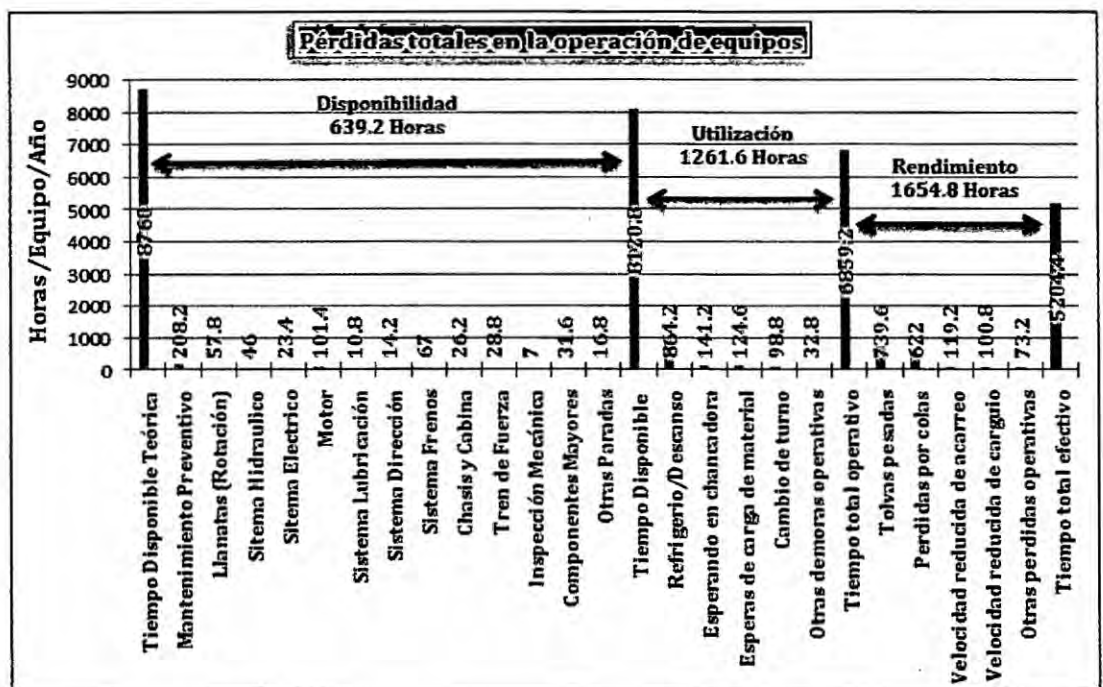
Por lo tanto la OEE de los equipos de acarreo KOMATSU es:

$$OEE = 92.7\% \times 84.46\% \times 75.87\%$$

**OEE = 59.40 %**

De los tablas y gráficos generados anteriormente, podemos determinar que la flota de camiones genera pérdidas por un total de 3555.6 horas/equipo/año (véase el gráfico N° 4.4. Pérdidas totales en la operación de equipos) que equivalen al 40.58% aproximadamente del tiempo teórico disponible. Para alcanzar el "World Class", se debe elevar el indicador de efectividad global por sobre 85%, se tiene un gran potencial de mejora que es necesario aprovechar para mejorar la productividad y rentabilidad.

**Gráfico N° 4.4. Pérdidas totales en la operación de equipos.**



Fuente: Elaboración propia.

### E. Cuantificación de las pérdidas totales

La cuantificación de pérdidas totales en términos de tonelaje y dinero se determinan sobre la base de los siguientes parámetros obtenidos por planeamiento mina y datos internos de cotos/disponibilidad:

- Producción horaria de camiones = 400 Ton/hora
- Costo horario de camiones = 250 US\$/hora
- Flota de camiones = 10
- Pérdida total por camión = 3555.6 horas/equipo/año

Entonces realizando un cálculo matemático, las pérdidas en toneladas, reflejadas en pérdidas económicas son:

Total de toneladas perdidas =  $3555.6 \times 10 \times 400$  Ton/año

**Total de toneladas perdidas = 14'222,400 Ton/año**

Total de dinero perdido =  $3555.6 \times 10 \times 250$  US\$/año

**Total de dinero perdido = 8'889,000 US\$/año**

La reducción de pérdidas en términos financieros es uno de los objetivos de la presente tesis, entonces para ello se determinan algunas metas a alcanzar y la factibilidad de reducir los índices de pérdidas.

## F. Determinación de las metas

Las metas se determinan tomando como referencia los valores obtenidos de empresas del World Class, es decir con "Benchmark" de OEE igual o mayor a 85%. Para que la empresa alcance estos estándares deberá reducir y/o aumentar los siguientes indicadores que serán considerados como meta (véase la tabla N° 4.6. Indicadores para determinación de metas).

**Tabla N° 4.6.** Indicadores para determinación de metas.

Indicador	Valor Actual	Valor World Class
OEE	59.40%	Aumentar
Horas Perdidas Totales	3555.6	Minimizar
Toneladas Perdidas	14222400	Minimizar
Dinero Perdido	8889000	Minimizar

Fuente: Elaboración propia.

## G. Identificación y análisis de las causas que originan las pérdidas

La identificación y análisis constituye el primer paso y el cimiento para identificar las causas que generan las pérdidas que afectan la efectividad global de la flota de camiones, para ello se elaboró lo siguiente:

- **Identificación de causas:** Con la ayuda de la herramienta Brainstorming (tormenta de ideas), se responde a las siguiente pregunta: ¿Por qué se generan los tiempos muertos en los camiones? Luego de identificar y consolidar algunas respuestas para nuestra pregunta en mención y clasificarlas por categorías de acuerdo a los recursos y causas, se identifican estas en la siguiente tabla (véase la tabla N° 4.7. Causas que generan pérdidas, página 59).
- **Análisis de causas:** con el apoyo de un diagrama de Ishikawa o de espina de pescado, se despliegan cada una de las causas del porqué de las mismas, para finalmente generar el siguiente diagrama de causa efecto, utilizando el cuadro de las causas que generan las pérdidas (véase la figura N° 4.2. Diagrama de causa – efecto, página 60).

**Tabla N° 4.7. Causas que generan pérdidas.**

<b>TABLA DE CAUSAS DE PERDIDAS</b>			
<b>N°</b>	<b>Causas</b>	<b>Recursos</b>	<b>Categoría</b>
1	Equipos para durante el refrigerio	Refrigerio	Mano de obra
2	Jefes no cumplen plan de minado	Plan de minado	Mano de obra
3	Cambio en caliente prolongado	Cambio en caliente	Mano de obra
4	Insuficientes camiones para cambio en caliente	Cambio en caliente	Mano de obra
5	Deficiente funcionabilidad de operadores	Control	Mano de obra
6	Insuficiente control de indicadores	Control	Mano de obra
7	Sistema Dispatch deficiente	Dispatch	Maquinaria
8	Insuficiente capacidad de recepción de chancado	Dump pocket	Maquinaria
9	Equipo inadecuado de limpieza (Dump Pocket)	Dump pocket	Maquinaria
10	Tolvas pesadas que causan sobrecarga y fatiga	Tolvas	Maquinaria
11	Material pegado en tolvas	Tolvas	Maquinaria
12	Variedad de tolvas	Tolvas	Maquinaria
13	Cucharón muy pesado	Cucharón	Maquinaria
14	Cucharón no autolimpiante	Cucharón	Maquinaria
15	Puntas del cucharón inadecuadas	Cucharón	Maquinaria
16	Baja disponibilidad de equipo auxiliar	Equipo auxiliar	Maquinaria
17	Operación inadecuada de equipo auxiliar	Equipo auxiliar	Maquinaria
18	Atoros en silo de mineral	Ore Bin	Materiales
19	Vías en mal estado	Vías	Materiales
20	Vías y pendientes mal construidas	Vías	Materiales
21	Peraltes invertidos	Vías	Materiales
22	Abastecimiento de combustible prolongado	Combustible	Materiales
23	Surtidor de combustible inadecuado	Combustible	Materiales
24	Mantenimiento preventivo prolongado	MP	Métodos
25	Insuficiente confiabilidad del equipo luego del mantenimiento	MP	Métodos
26	Operadores no participan en mantenimiento preventivo	MP	Métodos
27	Demora en entrega y recojo del equipo	MP	Métodos
28	Inspecciones inadecuadas	Inspecciones	Métodos
29	No existe plan de inspección de equipo	Inspecciones	Métodos
30	Falta de experticia en operación de carguío	Carguío	Métodos
31	Frentes de carguío duro o mal fragmentado	Carguío	Métodos
32	Paradas por condiciones climáticas	Rotura de ciclo	Métodos
33	Fallas imprevistas de equipos	Rotura de ciclo	Métodos
34	Fallas del sistema Dispatch	Rotura de ciclo	Métodos
35	Cambio de calidad de material	Colas	Métodos
36	Colas esperando en la chancadora	Colas	Métodos
37	Colas esperando en el equipo de carguío	Colas	Métodos
38	Velocidad por debajo de lo normal de equipos	Colas	Métodos

Fuente: Elaboración propia.



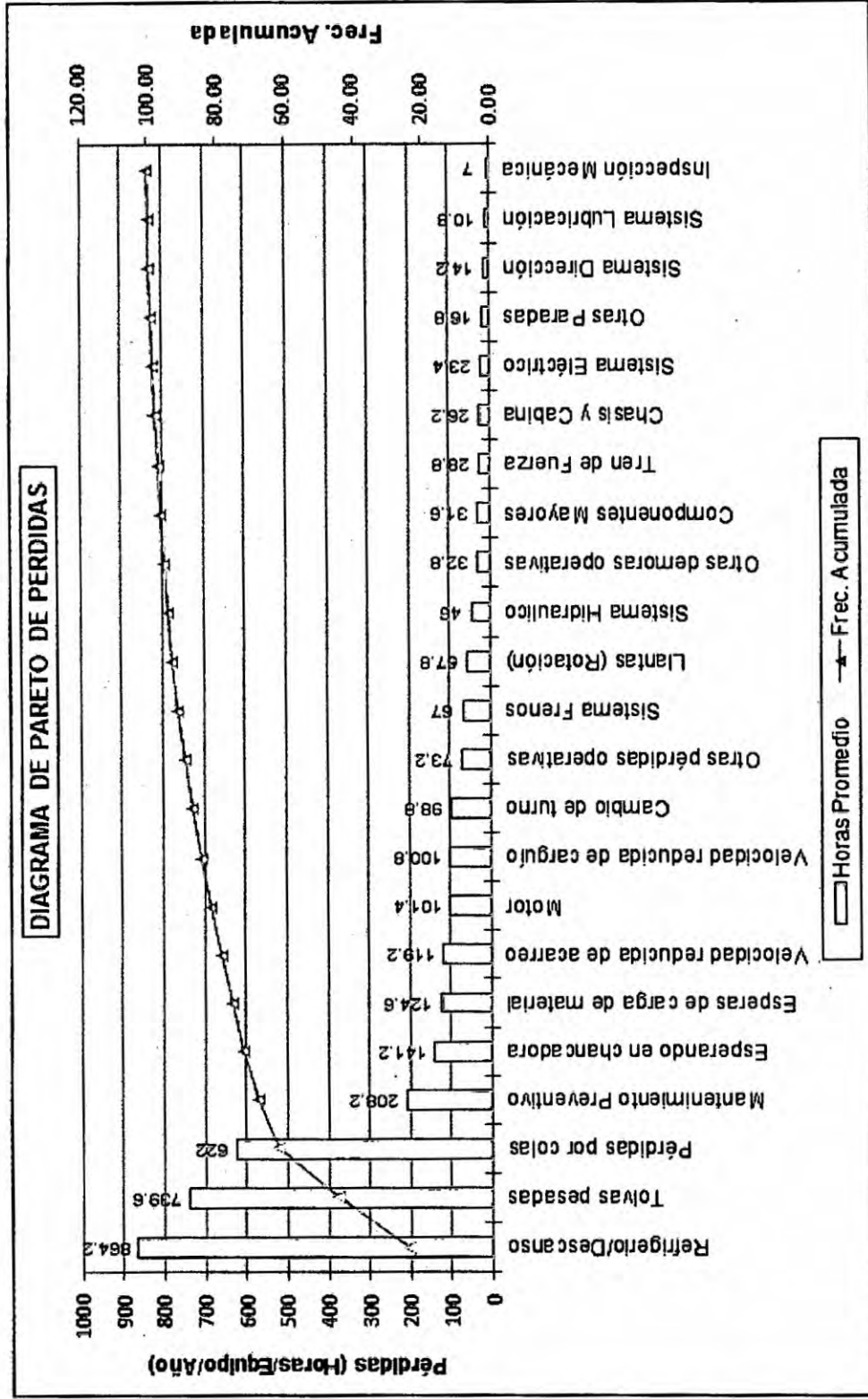
- **Determinación de las causa raíz:** para la determinación de la causa raíz, se usa el famoso "Diagrama de Pareto", el cual indica que el 20% de las causas son responsable del 80% de las pérdidas (véase el gráfico N° 4.5. Diagrama de Pareto de cuantificación de pérdidas, página 62) bajo esta premisa se prioriza lo siguiente, utilizando las tablas mencionadas anteriormente (pérdidas que afectan la disponibilidad, utilización y rendimiento) en el diagnóstico de la efectividad global de la flota se realizó la siguiente tabla:

**Tabla N° 4.8.** Pérdidas en operación (horas promedio) – Porcentaje de pérdidas.

Lista de pérdidas en la operación	Horas Promedio	Frec. Acum. (%)	Frec. Real (%)
Refrigerio/Descanso	864.2	24.31	24.31
Tolvas pesadas	739.6	45.11	20.80
Pérdidas por colas	622	62.60	17.49
Mantenimiento Preventivo	208.2	68.46	5.86
Esperando en chancadora	141.2	72.43	3.97
Esperas de carga de material	124.6	75.93	3.50
Velocidad reducida de acarreo	119.2	79.28	3.35
Motor	101.4	82.14	2.85
Velocidad reducida de carguío	100.8	84.97	2.83
Cambio de turno	98.8	87.75	2.78
Otras pérdidas operativas	73.2	89.81	2.06
Sistema Frenos	67	91.69	1.88
Llantas (Rotación)	57.8	93.32	1.63
Sistema Hidráulico	46	94.61	1.29
Otras demoras operativas	32.8	95.53	0.92
Componentes Mayores	31.6	96.42	0.89
Tren de Fuerza	28.8	97.23	0.81
Chasis y Cabina	26.2	97.97	0.74
Sistema Eléctrico	23.4	98.63	0.66
Otras Paradas	16.8	99.10	0.47
Sistema Dirección	14.2	99.50	0.40
Sistema Lubricación	10.8	99.80	0.30
Inspección Mecánica	7	100.00	0.20
<b>TOTAL DE PERDIDAS</b>	<b>3555.6</b>	<b>-</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.5. Diagrama de Pareto de cuantificación de pérdidas.



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.7.2. Estrategias para mejorar la efectividad global de la flota de camiones**

Culminado el proceso de identificación y análisis de pérdidas que afectan la efectividad global de camiones, se desarrollan las acciones y/o estrategias que ataquen la causa raíz del problema específico.

##### **A. Evaluación de soluciones para mitigar y/o eliminar pérdidas**

La evaluación de posibles soluciones, tienen como objetivo seleccionar la mejor o mejores alternativas que fueron implementadas por el equipo de trabajo, con el fin minimizar o eliminar en el mejor de los casos, las causas raíces de pérdidas. Dicho proceso comprendió:

- Listar las causas raíces identificadas.
- Generar varias posibles soluciones para cada una de las causas raíces usando el Brainstorming.
- Evaluar cada una de las posibles soluciones generadas sobre la base de los siguientes factores: efectividad, factibilidad, facilidad y costo.
- Finalmente, se selecciona como la mejor alternativa, aquella que acumule el mayor puntaje ponderado, tal como muestra la siguiente tabla (véase la tabla N° 4.9. Identificación y evolución de soluciones para eliminación o minimización de pérdidas, página 64).

**Tabla N° 4.9.** Identificación y evaluación de soluciones para eliminación o minimización de pérdidas.

Causa Raíz	Evaluación de posibles soluciones	Evaluación de decisión					
		Efectividad	Factibilidad	Facilidad	Costo	Puntaje	Decisión
Refrigerio y descanso prolongados	Contratar personal para relevos durante refrigerio	5	2	2	1	10	NO
	Pagar sobretiempo y no dar refrigerio	5	3	4	2	14	NO
	Cambiar sistema horario de refrigerios	3	3	2	2	10	NO
	Parar equipo auxiliar y efectuar relevos con dicho personal	3	3	4	4	14	NO
	Reducir tiempo de refrigerio al 50% del tiempo	5	3	5	5	18	SI
	Reducir descanso a 45 min	5	3	5	5	18	SI
Tolvas pesadas	Comprar tolvas aligeradas a fabricantes o proveedores	5	3	4	1	13	NO
	Modificar y aligerar las tolvas actuales	5	3	3	4	15	SI
Exceso de colas/Sistema dispatch no optimizado	Modificar el sistema de comunicación de antenas	5	4	4	3	16	SI
	Implementación de sistema de Stock Pile	5	4	3	4	16	SI
	Ampliación de capacidad de chancado	5	2	3	1	11	NO
	Compra de palas gigantes y/o aumentar cargadores	5	2	4	1	12	NO
Tiempo para mantenimiento preventivo extenso	Reducir tiempo de mantenimiento aplicando SMED	5	4	3	5	17	SI
	Implementación de 5s en el taller para aumentar productividad	5	4	4	4	17	SI
	Reducir número de PM	5	4	4	4	17	SI
	Implementar un camión en espera	5	4	4	1	14	NO
	Aumentar la frecuencia de cambios de aceite (PM)	5	4	4	4	17	SI
Carguío no optimizado	Capacitación y reentrenamiento de operadores	5	4	4	4	17	SI
	Contratar nuevos operadores	4	3	3	3	13	NO
	Reducir peso de buckets	5	4	3	4	16	SI
	Mejorar fragmentación de material de carguío	5	4	4	4	17	SI
	Comprar chancadoras de mayor capacidad	5	4	3	1	13	NO
	Comprar nuevos buckets	5	4	4	1	14	NO
Vías y rutas de acarreo en mal estado	Mejorar disponibilidad y utilización de equipo auxiliar	5	4	3	3	15	SI
	Subcontratar el mantenimiento de vías	5	3	3	2	13	NO
	Implementación de plan de mantenimiento de vías	5	4	4	3	16	SI

Fuente: Elaboración propia. Los valores asignados según mejor estrategia van del 1 al 5, con puntaje de menos a más.

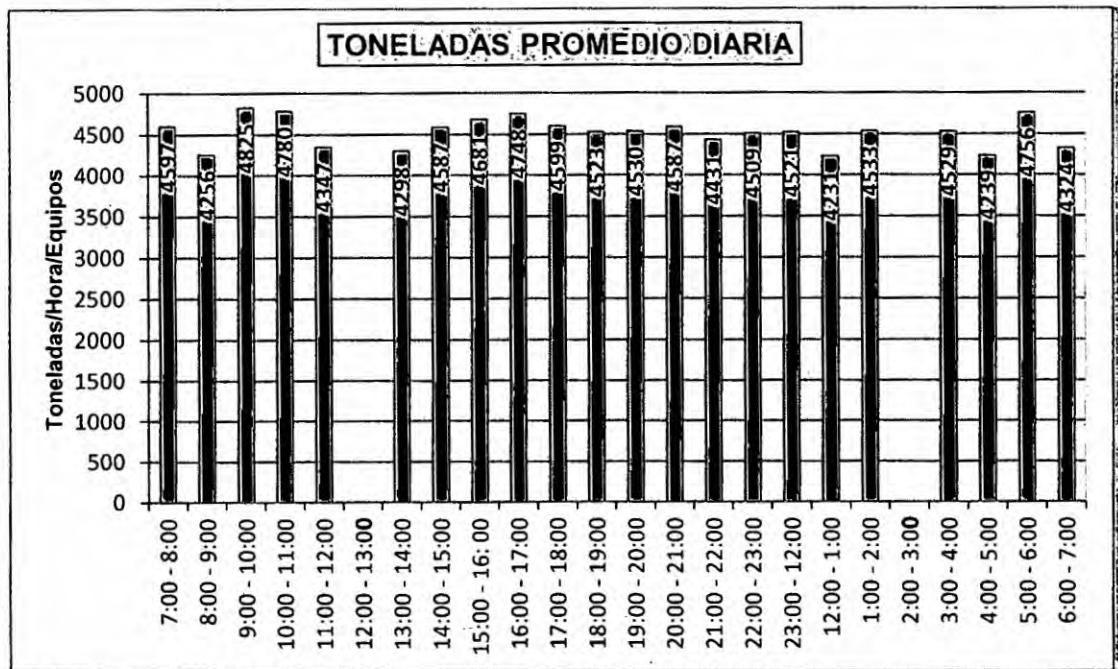
## B. Implementación de estrategias de mejora

Luego de evaluar y priorizar las soluciones, el siguiente paso es implementar las soluciones para determinar el nivel de efectividad en la reducción o eliminación de las pérdidas.

### B.1. Refrigerios y descansos prolongados

Los sistemas de producción son detenidos, ya que el sistema de trabajo en turnos de 12 horas tiene refrigerios programados de hasta 1 hora en el turno de día de 12:00 a 1:00 pm y en el turno de amanecida un descanso de 2:00 a 3:00 am, dichas paradas generan pérdidas significativas debido a que los equipos dejan de producir.

Gráfico N° 4.6. Pérdidas durante los refrigerios y descansos.



Fuente: Dispatch. Adaptación propia. Promedio por hora de toneladas cargadas por día.

- **Reducir el tiempo de refrigerio al 50% del tiempo habitual**

Para mitigar las pérdidas que se generan por paradas por refrigerio de operadores, se implementa una reducción del tiempo para refrigerio, puesto que se tomó algunos datos promedios en el cual la demora por refrigerio es hasta 20 minutos por persona, y los demás minutos los utilizan como ocio o para descanso. Se plantea utilizar 30 minutos como máximo para refrigerio y plantear a los operadores la estrategia de producción para evitar conflictos internos. Con ello la producción de esa hora solo se verá afectada en un 50% de la hora. Se realizó el cálculo de la producción perdida con los datos promedio mensuales diarios obtenidos del gráfico anterior (véase el gráfico N° 4.6. Pérdidas durante los refrigerios y descansos, página 65).

- Toneladas diarias promedio = 99431 Ton.
- Promedio total toneladas diarias por hora = 4141.96 Ton/hora.
- Promedio de producción para 30 min = 2071.48 Ton.

- **Reducción del tiempo de descanso en 15 min**

Se planteó reducir el tiempo de descanso en 15 minutos previa coordinación con los operadores, esto con el fin de aumentar la producción. Se realizó el cálculo de la producción perdida.

- Promedio de producción para 15 min = 1035.74 Ton.

Las pérdidas acumuladas diarias después de la implementación de la mejora sumarian 1 hora y 15 minutos, lo que se traduce en 5177.7 Ton/día no producidas. Calculando las toneladas producidas con la implementación de reducción de horas de ocio y descanso:

$$\text{Toneladas promedio producidas} = 99431 + 2071.48 + 1035.74$$

<b>Toneladas promedio producidas = 10,2538.22 Ton/día</b>
---



## B.2. Tolvas de camiones pesadas

Una de las causas de pérdidas de rendimiento son las tolvas pesadas en los camiones, ya que equivocadamente se busca aumentar la vida útil de las tolvas, para lo cual se adicionan refuerzos en todos los puntos de desgaste hasta lograr una tolva robusta de larga duración pero con un sobrepeso de 10 toneladas de más aproximadamente acortando la capacidad de volumen, sin tener conocimiento muchas veces sobre las especificaciones del acero. Esto resulta perjudicial en la productividad ya que no se transporta la cantidad de material adecuado, es un enfoque erróneo y se debe priorizar productividad antes que durabilidad en cierto grado. Se detallan la capacidad de tolvas y camión en la siguiente tabla:

**Tabla N° 4.10.** Capacidad de carga de camiones KOMATSU HD 1500.

Descripción	Con tolva actual (Heavy Weight)	Con tolva propuesta (Low Weight)
Chasis	77000 kg	77000 kg
Peso de tolva	28300 Kg	19000 Kg
Peso total de camión en vacío	105300 Kg	96000 Kg
Peso bruto de operación de camión	249478 Kg	249478 Kg
Capacidad de carga máxima	144178 Kg	154000 Kg
Densidad de material (mineral)	<b>1.70 TM/m3</b>	

Fuente: Elaboración propia. Adaptación de manual de camión KOMATSU HD 1500.

### • Características de la tolva aligerada:

Para lograr la capacidad de carga de 154 Tm es necesario ampliar y aligerar ciertas partes de la tolva actual. Se adiciona un mayor ancho permitiendo una mejor distribución de carga y volumen; disminuyendo la altura de la pila de material cargado, mejorando la estabilidad del camión con un coeficiente de llenado de 90% evitando derrames de material para pendientes mayores al 10%. Se elabora lo siguiente:

**Tabla N° 4.11.** Dimensionamiento de tolva actual vs propuesta.

<b>Patrón</b>	<b>Tolva original</b>	<b>Tolva propuesta</b>
Ancho	5.45 m	6.40 m
Altura de camión	5.45 m	5.45 m
Peso	28.3 Tm	19 Tm
Volumen de tolva	78 m <sup>3</sup>	90 m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia. Adaptación de manual de camión KOMATSU HD 1500.

- **Distribución de pesos**

Debido al peso bruto de la máquina en orden de trabajo se planteó que la distribución de pesos en los ejes delantero y posterior es el siguiente:

**Tabla N° 4.12.** Distribución de pesos en tolva aligerada para camiones KOMATSU HD1500.

<b>Distribución de pesos con tolva aligerada para camión KOMATSU HD 1500</b>		
	<b>Eje posterior</b>	<b>Eje delantero</b>
<b>Camión con carga</b>	67%	33%
<b>Camión en vacío</b>	51%	49%

Fuente: Elaboración propia. Adaptación de manual de camión KOMATSU HD 1500.

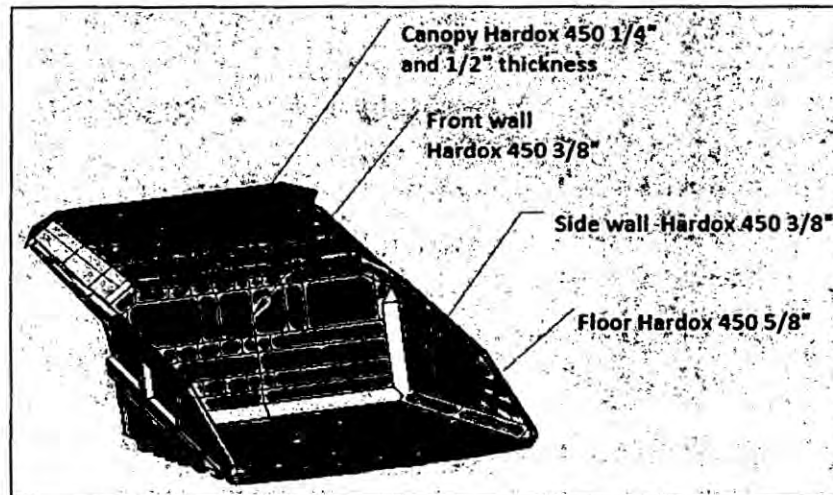
Esta distribución de pesos permite evitar que los componentes internos y externos, como Spindles, engranajes, suspensiones y llantas no tengan un desgaste excesivo y temprano, así como concentración de esfuerzos, fatiga por carga y una eventual fisura o fractura para el caso de engranajes y elementos de distribución y entre otros, generando pérdidas para disponibilidad de equipos y producción.

- **Proceso técnico de ampliación y aligeramiento**

El proceso de modificación comprende lo siguiente:

- **Retiro de revestimientos y ampliación de base de tolva.** Para preservar el estado de la tolva, originalmente se ponían doble revestimiento de planchas de acero Hardox de 500 BHN de 1" de espesor. La modificación consistió en retirar dichas planchas, realizar el corte por las costuras laterales adicionando luego las planchas de acero Hardox de 450 BHN de 5/8" de espesor con un ancho de 47.5 cm por lado. (Véase la figura N° 4.3. Posición y espesor de planchas en el interior de la tolva de camión KOMATSU HD 1500, página 70).
- **Aligeramiento de paredes laterales y frontales.** Los refuerzos longitudinales laterales se reemplazaron de planchas de 1" de doble revestimiento de acero Hardox de 500 BHN por unas de 3/8" fabricadas con acero Hardox de 450 BHN de dureza. Adicional a ello en el interior de la tolva, en la unión de piso pared frontal, piso a paredes laterales y paredes laterales a pared frontal se refuerza con una plancha de transición de 3/8" de espesor de acero Hardox de 450 BHN (Véase la figura N° 4.3. Posición y espesor de planchas en el interior de la tolva de camión KOMATSU HD 1500, página 70).
- **Aligeramiento de Canopy.** Se retiró la visera fabricada con acero Hardox de 450 BHN de 3/4" de espesor y se reemplazó en dos partes, la primera con plancha de acero de 1/2" en la parte trasera y plancha de 1/4" en la parte delantera con acero Hardox 400 BHN. (Véase la figura N° 4.3. Posición y espesor de planchas en el interior de la tolva de camión KOMATSU HD 1500, página 70).

**Figura N° 4.3.** Posición y espesor de planchas en el interior de la tolva de camión KOMATSU HD 1500.



Fuente: Elaboración propia.

- **Superestructura:** la base del piso, laterales y visera son reforzados con perfiles y canales trapezoidales fabricados en acero ASTM 514, templado y revenido de baja aleación y alta resistencia WELDOX 700.

Por último se colocará un Kit anti desgaste (listones) a 3/8 de la cola de la tolva en la base y pared lateral de acero Hardox 500 BHN con el fin de que desgaste la plancha y solo se vea afectado el cambio del Kit cuando el camión descargue el material a 45°.

### **B.3. Tiempo para mantenimiento preventivo extenso**

El mantenimiento preventivo de la flota de camiones KOMATSU HD 1500 comúnmente se establece:

- Paradas Programadas (PM) cada 250 horas.
- Duración de mantenimiento en el taller es de 12 horas aproximadamente.
- Inspecciones cada 125 horas.

Dicho sistema representa un aproximado de 1440 horas horas/flota/año pérdidas, entonces para minimizar este tiempo improductivo se planteó implementar las siguientes estrategias orientadas a reducir los tiempos prolongados para mantenimientos preventivos y extender la frecuencia de cambio de aceite, con el fin de ahorrar recursos (mano de obra, horas, dinero).

- **Reducir el tiempo de mantenimiento aplicando SMED (cambios rápidos)**

Siguiendo el método de esta herramienta del Lean Manufacturing, se implementó las siguientes acciones para mejorar las actividades durante el PM y minimizar el tiempo improductivo.

**Identificación de actividades durante el mantenimiento.** Se observa cuidadosamente el proceso completo del mantenimiento preventivo, para el soporte del mismo, se realiza la toma de tiempos y un análisis, determinándose los siguientes factores que originan retrasos y tiempos muertos:

- Inadecuada planificación de actividades.
- Demora en la entrega de los equipos pre PM y post PM.
- Trabajos imprevistos y/o correctivos durante el PM por falta de inspección anticipada.
- Insuficiente preparación de materiales, repuestos y herramientas para ejecutar los trabajos.
- Desplazamientos innecesarios de los técnicos encargados.
- No se distinguen los trabajos críticos y de mayor duración.
- Iniciación tardía de los trabajos críticos y de mayor duración, tales como soldadura en fisura de tolvas/chasis, cambio de llantas, cambio de componentes mayores, etc.
- Inadecuada distribución y organización de los trabajos y técnicos encargados.
- Uso de herramientas y métodos tradicionales, no se cree necesario el uso de herramientas neumáticas o inalámbricas.
- No se cree conveniente los trabajos en paralelo.

**Separación de actividades internas y externas.** Tomando el análisis previo de la información, se reestructura la secuencia de actividades de la siguiente manera:

**Tabla N° 4.13.** Actividades externas e internas en mantenimiento.

<b>Actividades externas (antes y 48 horas antes del PM)</b>	<b>Actividades externas (24 horas antes del PM)</b>	<b>Actividades internas (Durante el PM)</b>
Toma de muestra de aceite y descarga de data en el sistema VHMS.	Analizar y emitir los resultados de análisis de aceite y VHMS.	Equipo desciende al taller para mantenimiento.
Inspección rápida del equipo.	Reunión y coordinación de trabajos programados.	Ejecución del PM.
Realizar Backlogs de reportes.	Preparación y traslado de materiales, repuestos y herramientas al área de trabajo.	Involucrar al operador del equipo en el mantenimiento con el fin de que reporte algunas anomalías en su equipo.
Lista de trabajos pendientes.	Definir los trabajos críticos y secuencia de actividades.	Entrega del equipo y reporte de resultados.

Fuente: Elaboración propia.

**Mejoramiento de actividades internas.** Los últimos pasos para mejorar los tiempos en el mantenimiento preventivo con las actividades internas (equipo en taller), se establecen:

- **Implementación de actividades en paralelo:** se determinó que varias actividades extienden la duración del PM que se efectuaban de manera seriada, es decir se terminaba un trabajo y luego se iniciaba otro. Ante esta situación se planteó distribuir y organizar mejor al personal y se rediseñan las siguientes actividades en paralelo:
  - Lubricación y mantenimiento mecánico.
  - Calibración de válvulas e inyectores.



- Reparación de tolva y chasis, dependiendo de la criticidad.
  - Cambio de componentes (menores y mayores).
- **Implementación de componentes en stock para reemplazo:** La práctica usual en el taller es desmontar el componente, limpieza, revisión, reparación y montaje. Este proceso no genera valor, todo lo contrario consume mucho tiempo innecesario. La alternativa es implementar en el stock de almacén o stock interno del taller de componentes mayores/menores por lo menos un componente adicional para cambio (adquisición de componente) que usaran para reemplazo del saliente, lo que se traduce en ahorro de tiempo. A continuación se muestra un ejemplo:

**Tabla N° 4.14.** Tiempos de operación para limpieza de strainer de transmisión.

Operación	Situación actual		Situación mejorada	
	Procede	Tiempo	Procede	Tiempo
Retiro de protector de strainer de transmisión	Si	3 min	Si	3 min
Desmontaje de strainer	Si	1 min	Si	1 min
Limpieza de strainer	Si	10 min	No	0 min
Sopleteo de strainer	Si	5 min	No	0 min
Montaje de strainer	Si	1 min	Si	1 min
Instalación de protector de strainer	Si	3 min	Si	3 min
<b>Tiempo Total</b>		<b>23 min</b>		<b>8 min</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### • Implementación de la 5'S en el taller

Uno de los grandes problemas que generan pérdidas de tiempo en el taller de mantenimiento es la falta de orden y limpieza, la falta de organización de herramientas, entre otros. Para ello se determina lograr la mejora de tiempos aplicando la metodología 5's para alcanzar resultados a mediano y corto plazo. Se determinaron las siguientes acciones:

- **Almacenamiento de herramientas**

Gestión de limpieza y orden de herramientas (Área limpia y ordenada)

**Figura N° 4.4.** Desorden en pañol de herramientas.



Fuente: Fotografía tomada al pañol de herramientas del área de mantenimiento de equipos Shougang Hierro Perú.

**Acciones a tomar**

Sensibilización a técnicos en el orden y limpieza de sus herramientas.

Fabricación de anaqueles y porta herramientas en el pañol de herramientas con la distribución y etiquetado correspondiente.

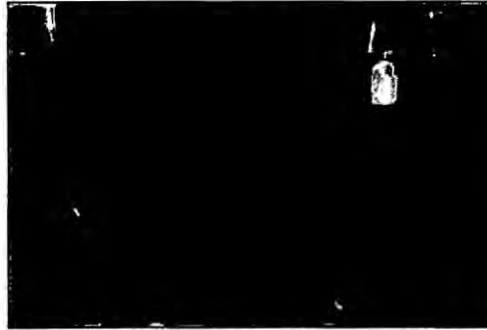
**Figura N° 4.5.** Pañol de herramientas con distribución y etiquetado correspondiente de herramientas.



Fuente: Fotografía tomada al pañol de una contratista interna.

Fabricación de bancos portables para montaje de componentes pequeños y disposición de herramientas.

**Figura N° 4.6.** Bancos de trabajo portátiles para técnicos.



Fuente: Fotografía de un modelo de banco para herramientas en una compañía minera – Área de mantenimiento.

Implementación de armarios portátiles para abastecimiento de pernos, dados, llaves, arandelas, sellos, etc, elementos de alta rotación con su debida clasificación y ordenado para la facilitación e identificación de los mantenedores, evitando con ello, recorridos innecesarios y retrasos en tiempo de mantenimiento.

Implementación de herramientas neumáticas e inalámbricas para evitar retrasos en vez de herramientas tradicionales, lo que permite maximizar el trabajo.

#### - **Prácticas y atributos del taller**

El piso en buenas condiciones y sellado – Pasadizos, áreas de seguridad y almacenamiento están señaladas y se mantienen libres de obstáculos (véase la figura N° 4.7. Piso con delimitación y señalización de área de trabajo, página 76).

**Figura N° 4.7.** Piso con delimitación y señalización de área de trabajo.



Fuente: Fotografía de un modelo de banco para herramientas en una compañía minera – Área de mantenimiento.

#### **Acciones a tomar**

Pintado y mantenimiento de pisos bimestralmente, con el fin de evitar la degradación del piso y liberar el tránsito del mismo.

Señalización y demarcación de áreas de tránsito y artículos almacenados.

Colocación de geomembranas para evitar la contaminación del piso por combustibles.

Limpieza diaria del piso con agua y detergente después de cada mantenimiento.

#### **- Soportes especiales para el apoyo de componentes**

**Figura N° 4.8.** Soporte de fácil desplazamiento para motor.

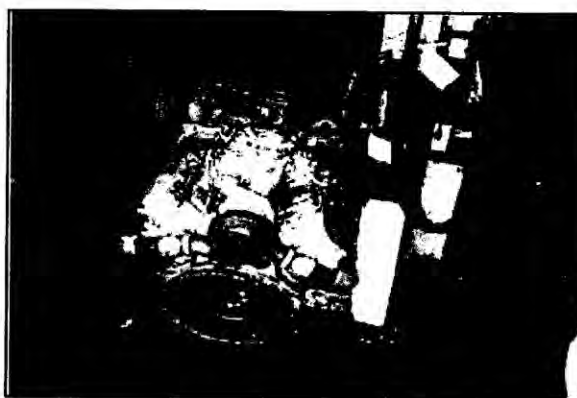


Fuente: Compañía minera Antamina – Área de componentes mayores.

### **Acciones a tomar**

Compra o fabricación de soportes para componentes, con el fin de no sobrecargar el taller de obstáculos y puedan ser desplazados fácilmente por un montacargas o para la disposición de limpieza de los mismos, para que los componentes no dañen el piso y esto a futuro sea un peligro potencial y una condición subestandar para los trabajadores.

**Figura N° 4.9.** Mala distribución de componentes.



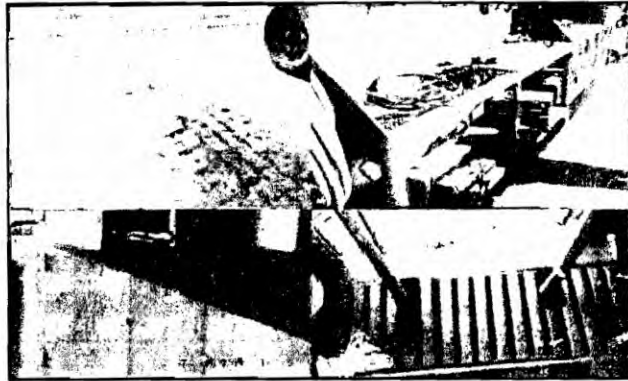
Fuente: Fotografía tomada al área de mantenimiento de equipos Shougang Hierro Perú.

### **- Orden y limpieza**

#### **Acciones a tomar**

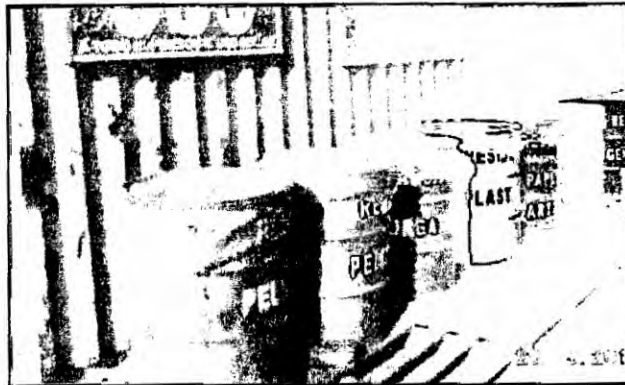
Mantenimiento del orden y limpieza en general del taller con charlas de sensibilización a personal sobre la importancia de la misma y realizar feedbacks o retroalimentación al personal sobre el uso adecuado de la disposición de residuos sólidos (véase la figura N° 4.10. Desorganización y desorden en taller de mantenimiento y la figura N° 4.11. Disposición de residuos según código de colores, página 78).

**Figura N° 4.10.** Desorganización y desorden en taller de mantenimiento.



Fuente: Fotografía tomada al área de mantenimiento de equipos Shougang Hierro Perú.

**Figura N° 4.11.** Disposición de residuos según código de colores.

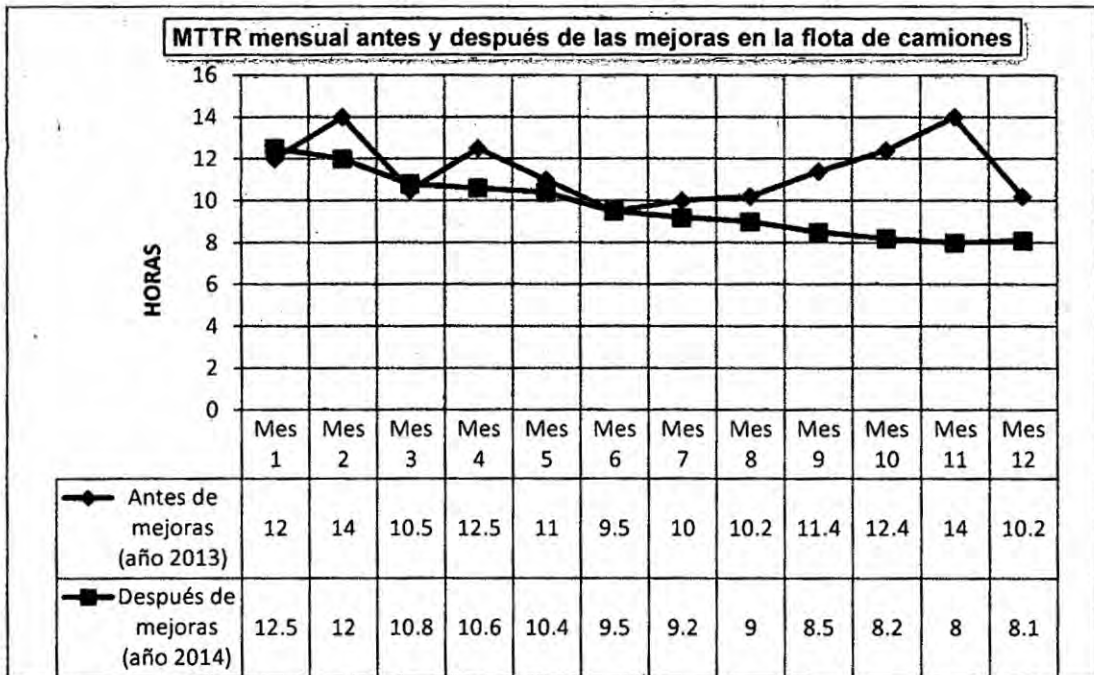


Fuente: Fotografía tomada al área de disposición de residuos Shougang Hierro Perú.

Con la implementación de estas mejoras en el taller, los tiempos disminuyeron un 15 % aproximadamente del tiempo total para ejecución de mantenimiento preventivo en el área de mantenimiento de equipos (véase el gráfico N° 4.7. Tiempo para reparación mensual antes y después de las mejoras en la flota de camiones, página 79).



**Gráfico N° 4.7.** Tiempo para reparación mensual antes y después de las mejoras en la flota de camiones.



Fuente: Elaboración propia.

- **Reducción del número de paradas por mantenimiento preventivo**

El plan de mantenimiento preventivo con paradas programadas se realiza con una frecuencia de 250 horas como indica el fabricante, lo que genera un total de 24 paradas aproximadamente por camión/año. Para minimizar los costos de mantenimiento y horas de producción se evalúa y establece lo siguiente:

**Situación actual.** El mantenimiento preventivo básico estuvo programado para realizarse cada 250 horas (véase la tabla N° 4.15. Frecuencia de cambio de aceites de sistemas y capacidades, página 80) con un aproximado de 2 mantenimientos preventivos por mes, sin importancia de la condición del aceite de los sistemas.

**Tabla N° 4.15.** Frecuencia de cambio de aceites de sistemas y capacidades.

Componente	Frecuencia (horas)	Cantidad (galones)
Motor	250	55
Sistema Hidráulico	2000	150
Sistema Dirección	2000	30
Transmisión	1000	45
Ruedas Delanteras	500	30
Diferencial/Mandos Finales	2000	140

Fuente: Elaboración propia. Adaptación de manual de camión KOMATSU HD 1500.

**Situación mejorada.** Se implementa pasar a un cambio de aceite basado en su condición, es decir, se potencia y mejora el uso de lubricantes.

Se opta por el cambio de aceite de motor multigrado mineral 15W40 a aceite sintético 1ES-5W40 donde se establece que el periodo de cambio es de 500 horas de frecuencia, donde se controlan las siguientes propiedades del lubricante:

- Viscosidad y oxidación.
- Contenido de combustible, refrigerante (sodio)
- Contenido de hierro, cromo, plomo, cobre, estaño, aluminio entre otras partículas metálicas.

Nos basamos en resultado de la siguiente tabla para realizar la comparación según las cartas técnicas del fabricante.

**Tabla N° 4.16.** Evaluación de propiedades y agentes en el aceite de motor.

Tipo de análisis	Grupo	Elemento	Motor		
	Nivel de alerta		Precaución	Critico	Alarmante
Espectrofotómetro Plasmático (PPM) Detección de elementos de desgaste	Metal	Cu	20	35	50
		Fe	25	35	60
		Cr	3	5	9
		Al	6	8	12
		Pb	10	20	25
		Sn	5	7	10
		Mo	50	120	130
	No metal	Si	16	18	25
		Na	8	15	25
Espectrómetro Infrarrojo (IR) Análisis de condición del aceite	Hollín (Soot) - PPM		70	80	90
	Oxidación - PPM		8	14	20
	Nitración - PPM		10	16	20
	Sulfatación - PPM		8	14	20
	Diesel (%)		1	2.5	5
	Agua (%)		0.1	0.5	1
	Glicol (%)		0.1	0.5	1
Viscosidad a 100°C en cSt	Tipo de Aceite		Mínimo		Máximo
	1E5W40		12.2		15.2

Fuente: Manual de mantenimiento camiones KOMATSU HD 1500. Adaptación. Laboratorio S.O.S. Análisis de Fluidos – FERREYROS S.A.

Se realiza el dializado de aceite de la funda posterior (diferencial y mandos finales) cada 1000 horas para filtrar las impurezas de contaminantes del sistema, y se realiza asegurando el cambio de aceite cada 2000 horas de operación con 140 galones de aceite HD 50. Entonces la nueva frecuencia de cambio (véase la tabla N° 4.17. Frecuencia de cambio de aceites por compartimento y tipo de aceite, página 82) es:

**Tabla N° 4.17.** Frecuencia de cambio de aceites por compartimento y tipo de aceite.

Componente	Aceites			Filtros
	Frecuencia (horas)	Cantidad (galones)	Tipo	Cambio (horas)
Motor	500	55	1ESP5W40	500
Sistema Hidráulico	2000	150	HD30	500
Sistema Dirección	2000	30	HD30	500
Transmisión	1000	45	HD30	500
Ruedas Delanteras	500	30	HD50	-
Diferencial/Mandos Finales	2000	140	HD50	-

Fuente: Adaptación de manual de camión KOMATSU HD 1500.

#### **B.4. Pérdidas por exceso de colas**

Se generan cuando los camiones esperan para ser llenados por los equipos de carguío (palas/cargadores frontales) o para descargar en la chancadora. Para minimizar estas pérdidas se elaboraron las siguientes estrategias:

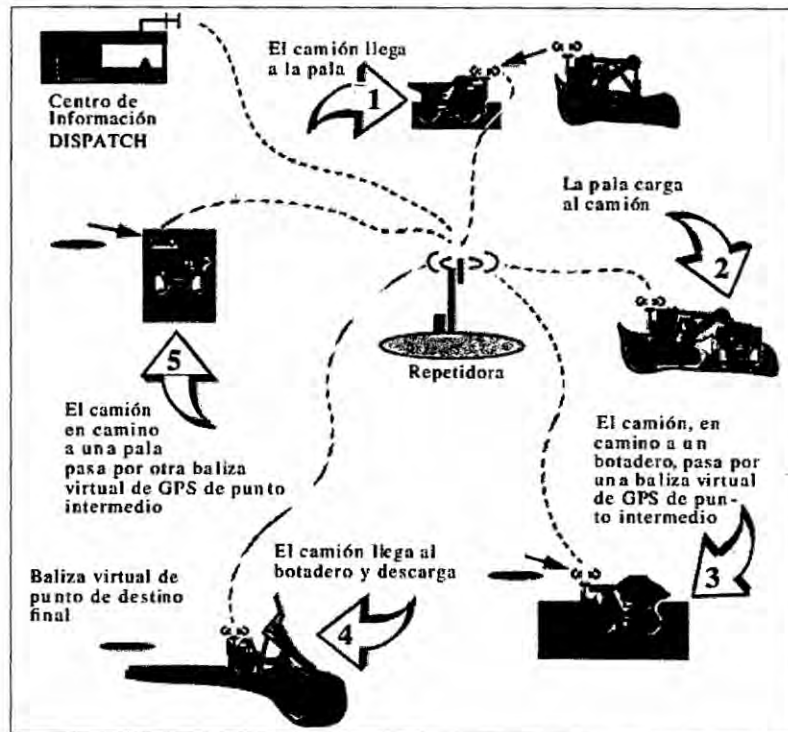
- **Mejoramiento del sistema Dispatch**

El sistema de despacho de equipos constituye una herramienta primordial para la asignación dinámica de los equipos, un mal funcionamiento del sistema origina pérdidas de producción por retrasos en colas. Dicho sistema funciona con ondas de radio que se transmiten entre antenas fijas instaladas en los puntos estratégicos de la mina, antenas instaladas en los camiones y equipos de carguío, y una antena fija instalada en el centro de control. Por las condiciones de terreno, clima e inadecuado mantenimiento de los equipos de comunicación, la señal de radio se ve afectada considerablemente originando pérdida de señal, lo que ocasiona descoordinación del ciclo (véase la figura 4.12. Sistema de comunicación dispatch de un ciclo de producción, página 84). Para esto se implementó lo siguiente:

- **Implementación de radio modem.** Luego de un estudio sobre las comunicaciones radiales en mina, se determinó que la mejor solución para mejorar el sistema de comunicaciones es instalar un radio modem (repetidora), el cual tiene como característica principal replicar la señal desde puntos remotos y alejados hacia el centro de control. Esto evita la pérdida de señal y por lo tanto mejora el despacho de los equipos reduciendo las colas en espera.
  
- **Recuperación de la operatividad del sistema dispatch.** Se otorga baja prioridad o casi nula al mantenimiento y operatividad a los sistemas de comunicación, lo que origina el deterioro progresivo de los equipos y pérdida de eficiencia del sistema radial de asignación de camiones. Se planteó las siguientes acciones:
  - Cambio de antena y cableado del sistema de comunicación de camiones y centro de control.
  - Instrucción a los operadores para la inspección autónoma del sistema y limpieza general del mismo.
  - Implementación de plan de mantenimiento preventivo del sistema de comunicaciones.

Estas mejoras simples y fáciles de implementar, permitieron recuperar la operatividad del sistema dispatch hasta en un 90%, lo cual mitiga las colas y recuperan de la efectividad en la asignación de la flota de camiones.

Figura N° 4.12. Sistema de comunicación dispatch de un ciclo de producción.



Fuente: EYQUEN, Carlos. Dispatch final. Disponible en:

<http://es.slideshare.net/carloseyquem/dispatch-final>. Noviembre 2012.

- **Espera de equipos de acarreo en chancadora**

El sistema de la planta de chancado, no considera un sistema de almacenamiento momentáneo, esto origina que los camiones hagan cola para la descarga del mineral en los contenedores de chancado, generando tiempos muertos (tiempos de espera).

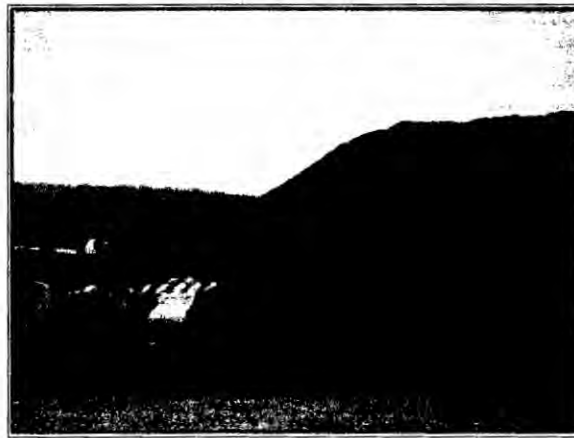
- **Implementación de sistema de depósito de mineral (Stock Pile).** Para minimizar el efecto de tiempos muertos se acondiciona un sistema de amortiguación de mineral (véase la figura N° 4.13. Sistema de implementación stock pile, página 85) que permite la descarga del mineral en una zona específica cuando la chancadora presenta problemas de baja velocidad de procesamiento o sobresaturación. Luego el material es



alimentado en la chancadora por un cargador frontal auxiliar. La mejora permite:

- Minimizar colas ya que los camiones pueden descargar el mineral en la zona de amortiguación y retornar rápidamente al tajo para retomar el ciclo.
- Permite el trabajo casi constante de la chancadora y evita picos o caídas de producción.
- Maximiza el despacho dinámico de los camiones.

**Figura N° 4.13.** Sistema de implementación stock pile.



Fuente: Operaciones minera Barrick - Pierina.

Con todas estas mejoras se puede lograr:

- Colas en cargadores de 1.5 a 1.15 minutos/camión/ciclo.
- Colas en chancadora de 5.25 a 2.1 minutos/camión/ciclo.

Estas mejoras representan aproximadamente 135 horas adicionales de rendimiento de los camiones para producir.

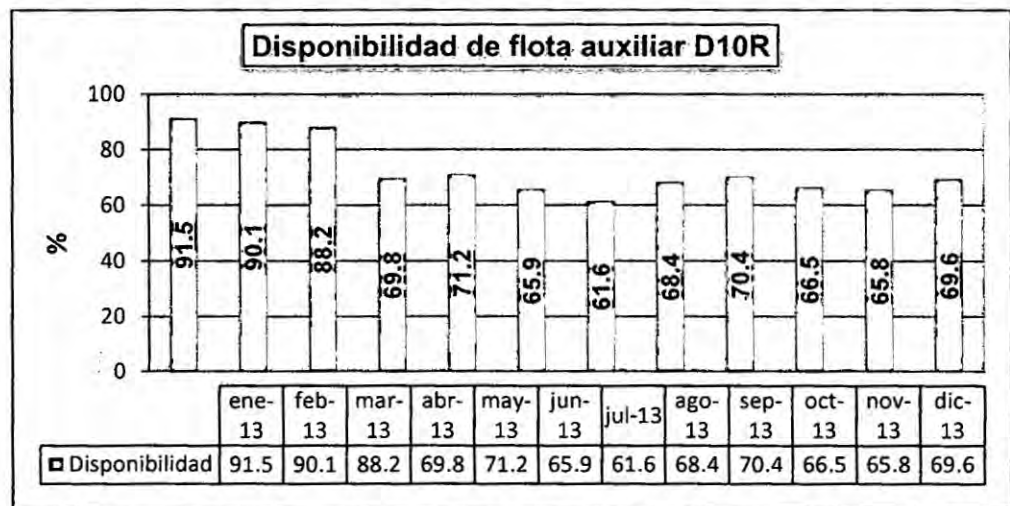
### B.5. Vías o rutas de acarreo en mal estado

El estado de las vías constituye otro de los principales factores que afectan la disponibilidad, utilización y rendimiento de los equipos. Su mal estado origina daños prematuros en componentes del equipo y en general, reduce la velocidad de acarreo y obliga a reducir la carga transportada por los camiones. Para mejorar esta situación se implementó:

- **Mejorar la disponibilidad y utilización de equipo auxiliar**

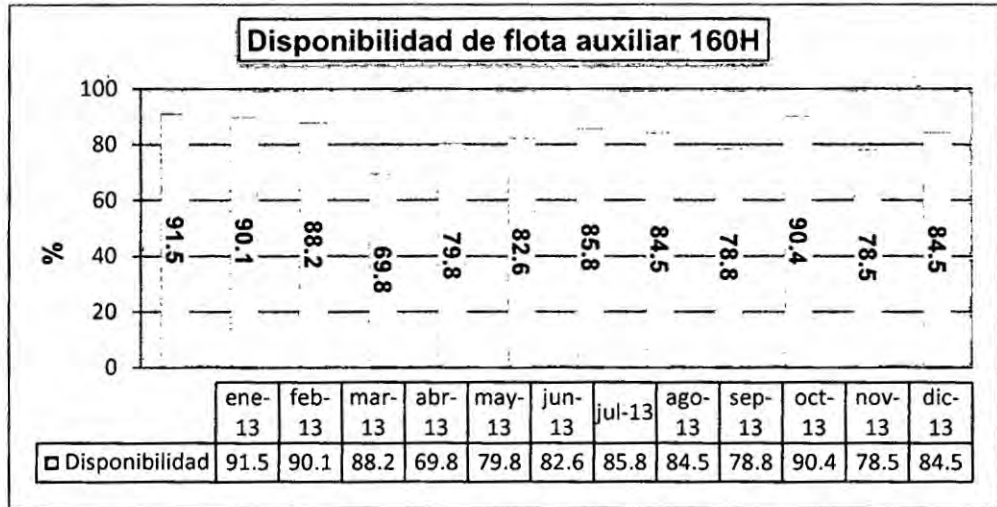
Los equipos auxiliares (tractores y motoniveladoras) equivocadamente tienen baja prioridad dentro de mantenimiento y operaciones de equipos, debido a esta situación en el tiempo se van deteriorando y su disponibilidad baja progresivamente como se muestra en los siguientes gráficos:

**Gráfico N° 4.8.** Disponibilidad inicial de flota tractores D10R.



Fuente: Adaptación propia. Planeamiento equipos Shougang.

**Gráfico N° 4.9. Disponibilidad inicial de flota motoniveladora 160H.**



Fuente: Dispatch. Adaptación propia. Planeamiento equipos Shougang.

Para revertir esta situación se aplicarían las siguientes:

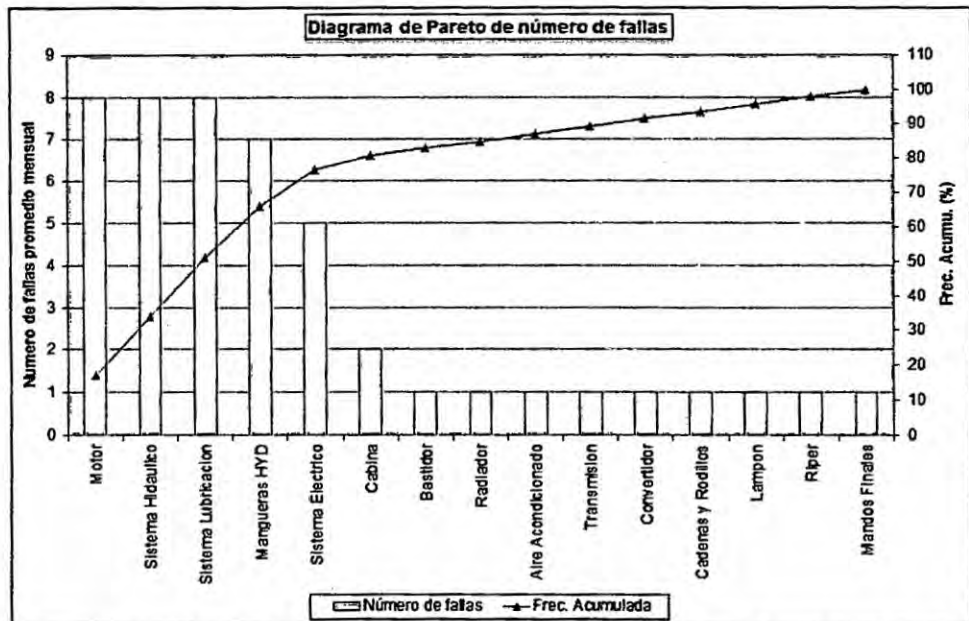
- **Identificación y priorización de problemas.** Se recopiló y analizó información para determinar las principales y fuente de pérdidas, que se genera en la flota auxiliar, ayudados por un diagrama de Pareto (véase la tabla N° 4.18. Lista de número de fallas promedio mensual de flota auxiliar tractor D10R, página 88).

**Tabla N° 4.18.** Lista de número de fallas promedio mensual de flota auxiliar tractor D10R.

Fallas en Sistemas	Numero de fallas	Frec. Acumu. (%)	Porcentaje (%)
Motor	8	17.02	17.02
Sistema Hidráulico	8	34.04	17.02
Sistema Lubricación	8	51.06	17.02
Mangueras HYD	7	65.96	14.89
Sistema Eléctrico	5	76.60	10.64
Cabina	2	80.85	4.26
Bastidor	1	82.98	2.13
Radiador	1	85.11	2.13
Aire Acondicionado	1	87.23	2.13
Transmisión	1	89.36	2.13
Convertidor	1	91.49	2.13
Cadenas y Rodillos	1	93.62	2.13
Lampón	1	95.74	2.13
Riper	1	97.87	2.13
Mandos Finales	1	100.00	2.13
<b>Total</b>	<b>47</b>		<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N° 4.10.** Pareto de fallas de la flota de tractores D10R.

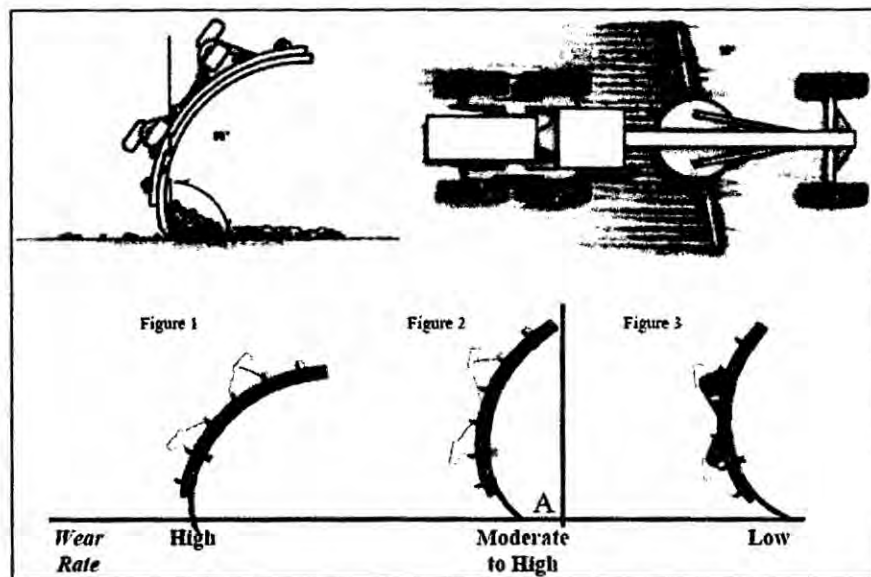


Fuente: Elaboración propia. Adaptación mantenimiento de equipos Shougang.

- **Mejorar la disponibilidad de componentes mayores.** Para una flota de 2 tractores y 1 motoniveladora que trabajan como mínimo 20 horas por día no se cuenta con repuestos críticos en stock, por lo que la falla de un componente crítico genera paradas prolongadas del equipo hasta un mínimo de 10 días para reparación. Para mejorar esta situación se planteó la compra de componentes críticos tales como un motor.
  
- **Reducir fallas en equipo.** El mantenimiento inadecuado del equipo auxiliar origina el deterioro prematuro, por lo que es indispensable recuperar las condiciones normales de operación del equipo. Con el inventario de fallas y oportunidades de mejora se desarrolla un plan de acción orientado a corregir las fallas e implementar acciones de mejora, como ejemplo a los sistemas de lubricación y mangueras hidráulicas, no se daba importancia y seguimiento:
  - Se encargan y se capacita en funciones de limpieza, lubricación e inspección menores a operadores. Con acciones simples pero importantes se mejora las condiciones del equipo.
  - Mejorar el revestimiento de mangueras con material de caucho con el fin de evitar el rose entre mangueras y componentes que originan desgaste del cuerpo e inminente rotura de manguera por condiciones de alta presión en ciertas zonas y sistemas.
  - Generalmente las paradas por temas eléctricos se suscitan por cables que están sueltos y/o cables que son cortados por caída de material (piedras, tierras, etc), con el fin de evitar esto se encinta los cables y harness con cinta vulcanizante para protección de los mismos.
  
- **Acciones complementarias.** Se implementaron adicionalmente acciones que ayudaron a mejorar la condición del equipo:
  - Reentrenamiento de operadores de equipo auxiliar.

- Para el caso de la motoniveladora generalmente la variación de disponibilidad se da por el desgaste excesivo de la cuchilla en la hoja de la tornamesa producto de una mala operación provocando paradas de 2 a 3 horas. Para esto se tiene que retroalimentar al operador en la forma correcta de usar el implemento. (Véase en la figura N° 4.14. Uso correcto del implemento en motoniveladoras)

**Figura N° 4.14.** Uso correcto del implemento en motoniveladoras.



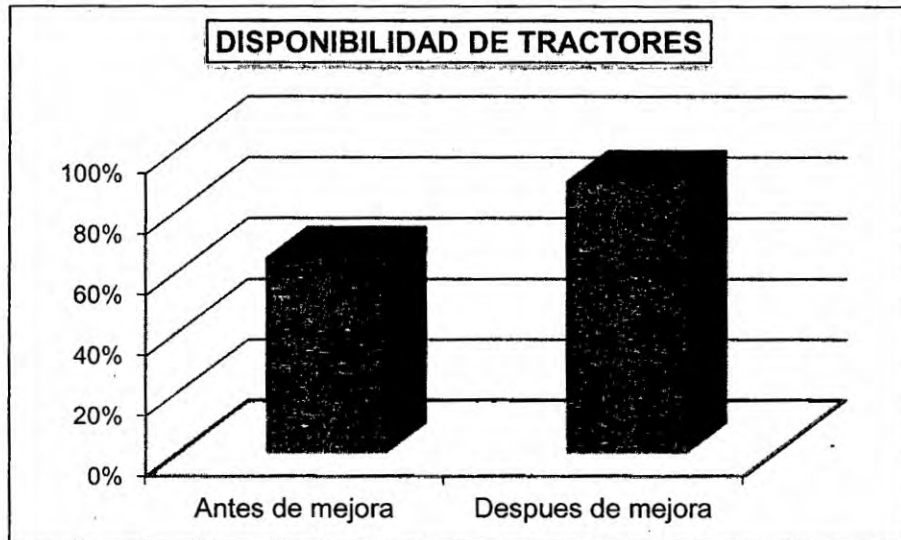
Fuente: Gestión de equipos de minería – FERREYROS S.A.

- Rotar a los operadores al área de mantenimiento para mejorar conocimientos técnicos.
- Asignación de supervisor responsable de flota auxiliar.

Como resultado se mejora la disponibilidad de flota auxiliar en 90% de un promedio 73% inicialmente para tractores (Véase el gráfico N° 4.11. Disponibilidad de flota auxiliar – Tractores, página 91) y para la motoniveladora de 83% a 92% (Véase el gráfico N° 4.12. Disponibilidad de flota auxiliar – Motoniveladora, página 91).

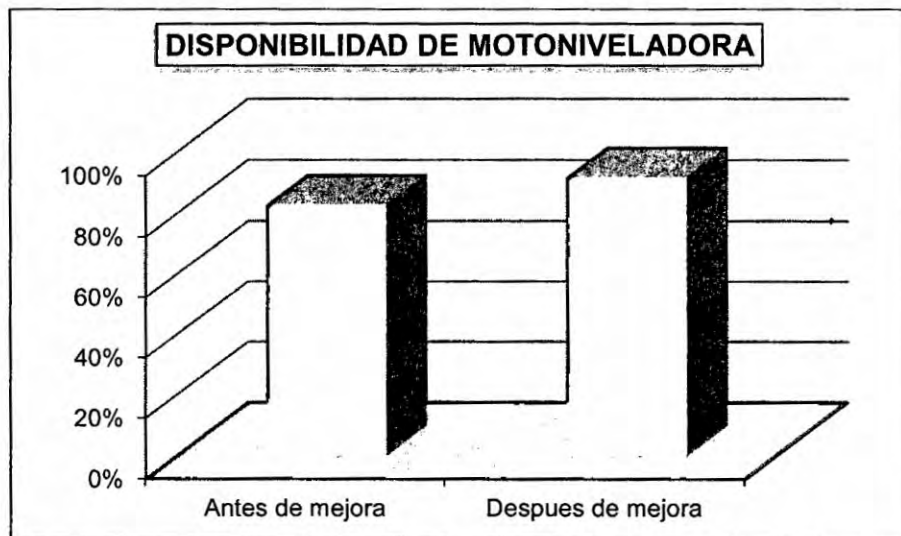


**Gráfico N° 4.11.** Disponibilidad de flota auxiliar – Tractores.



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N° 4.12.** Disponibilidad de flota auxiliar – Motoniveladora.



Fuente: Elaboración propia.

- **Plan de mantenimiento y mejora de las vías**

El plan de mantenimiento y mejora de vías transmite la implementación de las siguientes mejoras:

Se estandariza los diseños de criterio y construcción de vías, estableciendo los siguientes parámetros:

- Pendientes y peraltes con un máximo de 10% grados.
- Mantener el ancho de las vías en 21 m, (3 veces el ancho de camión)
- Plan semanal de mantenimiento de vía.
- Designación de un supervisor responsable de manto de vías.

Luego de obtener un buen estado de vías se elevó la velocidad máxima de desplazamiento de camiones entre 35 a 40 km/h con carga en promedio, en donde la extensión de la vida útil de los componentes mayores (diferencial, mando final suspensiones), incrementa en más de 10% (véase la tabla 4.20. Vida extendida de los cilindros de suspensión delantero y posterior de camiones KOMATSU HD 1500 después de las mejoras, página 93).

**Tabla N° 4.19.** Vida útil de suspensiones delanteras y posteriores antes de implementar las mejoras.

Grupo	Componente	N/P	Fase	Costo US\$	Cant.	Vida Útil
<b>Sistema Suspensión</b>	Suspensión delantera LH.	EM5221	MM	74,292.7	1	14000
	Suspensión delantera RH.	EM5220	MM	74,292.7	1	14000
	Suspensión posterior LH.	EM3580	MM	26,166.3	1	14000
	Suspensión posterior RH.	EL7968	MM	24,542.1	1	14000

Fuente: Elaboración propia. Adaptación planeamiento mecánico Shougang.

**Tabla N° 4.20.** Vida extendida de los cilindros de suspensión delantero y posterior de camiones KOMATSU HD 1500 después de las mejoras.

Grupo	Componente	Horómetros de cambio (Varios Equipos)										Meda de cambio	Varianza	Desviación Estándar
		17500.9	15127.3	17222.9	13356.1	15552.4	16551.1	17233.5	16722.5	15291.2	15171.4			
S. Hidráulico	Suspens en delantera LH.	15522.4	15427.7	15222.2	18150.5	15122.2	17872.3	15171.2	15632.3	15272.5	15702.3	15702.3	772555.99	877.557
	Suspens en delantera RH.	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	552277.10	458.547
	Suspens en poster LH.	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	452222.53	675.222
	Suspens en poster RH.	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	15222.9	452222.53	675.222

Grupo	Componente	Distribución Normal										p + σ	p - σ	V(σ) (p/σ)
		0.00023425	0.00044221	0.00057522	0.00091129	0.0015117	0.00249115	0.00407737	0.00649338	0.01015439	0.0156700			
S. Hidráulico	Suspens en delantera LH.	0.00023425	0.00044221	0.00057522	0.00091129	0.0015117	0.00249115	0.00407737	0.00649338	0.01015439	0.0156700	0.02367267	15590.2627	1500
	Suspens en delantera RH.	0.00023425	0.00044221	0.00057522	0.00091129	0.0015117	0.00249115	0.00407737	0.00649338	0.01015439	0.0156700	0.02367267	15724.5151	1500
	Suspens en poster LH.	0.00023425	0.00044221	0.00057522	0.00091129	0.0015117	0.00249115	0.00407737	0.00649338	0.01015439	0.0156700	0.02367267	15724.5151	1500
	Suspens en poster RH.	0.00023425	0.00044221	0.00057522	0.00091129	0.0015117	0.00249115	0.00407737	0.00649338	0.01015439	0.0156700	0.02367267	15724.5151	1500

Fuente: Elaboración propia.

## **B.6. Carguío no optimizado**

La productividad de un cargador se evalúa en función a las toneladas que carga por hora, y esto es directamente proporcional al número de pasadas que emplea el cargador para llenar un camión. En la evaluación inicial se determinó que el camión llevaba 6 pasadas es decir a un ritmo de 22.5 Tm aproximadamente por pasada y un factor de llenado de bucket de 75%.

La meta de equipo se fija para cargar los camiones con solo 5 pasadas y con un factor de llenado de 90%. Para lograr esta meta se implementó lo siguiente:

- **Reentrenamiento de operadores**

Se determinó que en campo las técnicas de carguío empleadas son inadecuadas por parte de los operadores. Se implementa un plan de capacitación y reentrenamiento a operadores de equipo de carguío (palas y cargadores frontales), donde se garantiza el correcto llenado en la forma y tiempo de llenado de material en equipos de acarreo. Producto del entrenamiento se estandariza las siguientes prácticas:

- Técnicas para mejorar el factor de llenado del cucharón.
- Formas de ataque de equipo de carguío frente al material. (Perpendicular)
- Minimización del desplazamiento del cargador (1.5 vueltas de la llanta máximo)
- Modalidad de carga de material sea cancha doble para las palas y cancha simple para cargadores frontales.

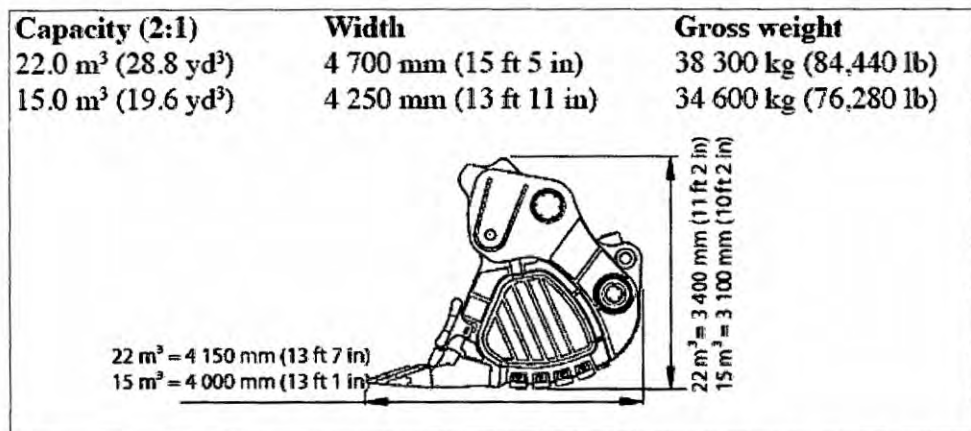
- **Reducir peso de cucharones (Buckets)**

Actualmente los cucharones están sobredimensionados en peso ya que los buckets son reforzados interna y externamente con elementos anti desgaste y planchas de acero de alta dureza, lo cual afectan la capacidad de llenado (volumen) y la velocidad de carguío, puesto que las bombas de implemento realizan mayor esfuerzo nominal disminuyendo la efectividad de carga y

velocidad y acortando la vida útil de algunos componentes. Se determinan los siguientes factores:

- Salientes en los extremos laterales del cucharón que dificultan la penetración.
- Puntas inadecuadas, instaladas para alta duración pero insuficiente penetración.
- Malas especificaciones de planchas de refuerzo.

**Figura N° 4.15.** Dimensiones de cucharón de pala Caterpillar 6040 FS.



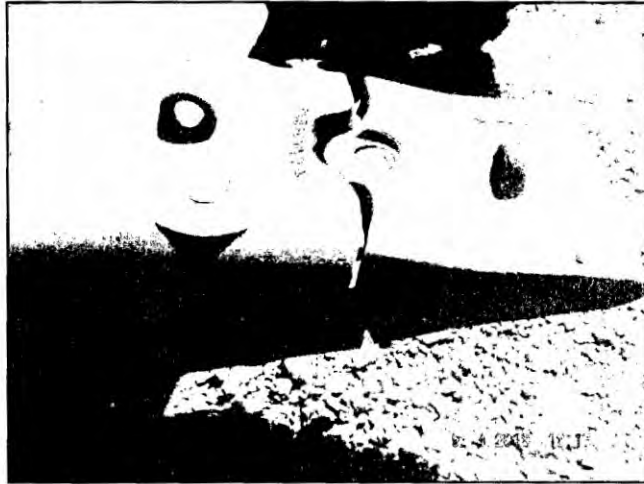
Fuente: Manual de Pala Hidráulica Caterpillar 6040FS.

Para el caso de las palas el peso en aumento es aproximadamente de un 3% y la capacidad en volumen de material cargado disminuye en aproximadamente 15% cargando un volumen de 18.7 metros cúbicos de material.

Se revierte la situación con las siguientes mejoras:

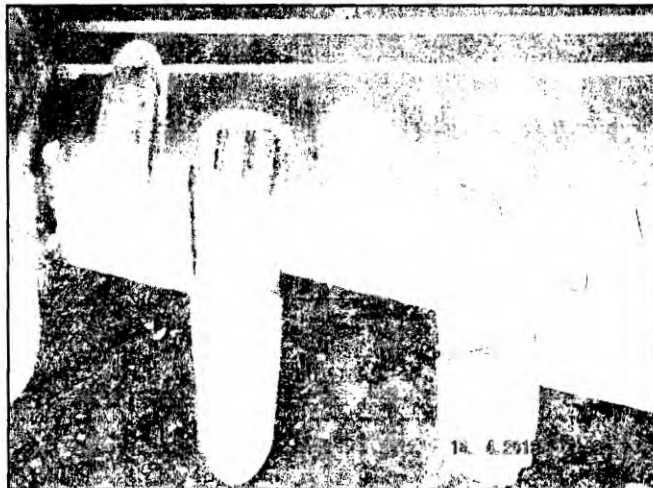
- Cambio de diseño de puntas para cucharones, priorizando la penetración antes que la duración (véase la figura N° 4.16. Puntas de alta duración y la figura N° 4.17. Puntas de alta penetración, página 96).

**Figura N° 4.16. Puntas de alta duración.**



Fuente: Fotografía de punta de un cargador en minera Barrick - Pierina.

**Figura N° 4.17. Puntas de alta penetración.**

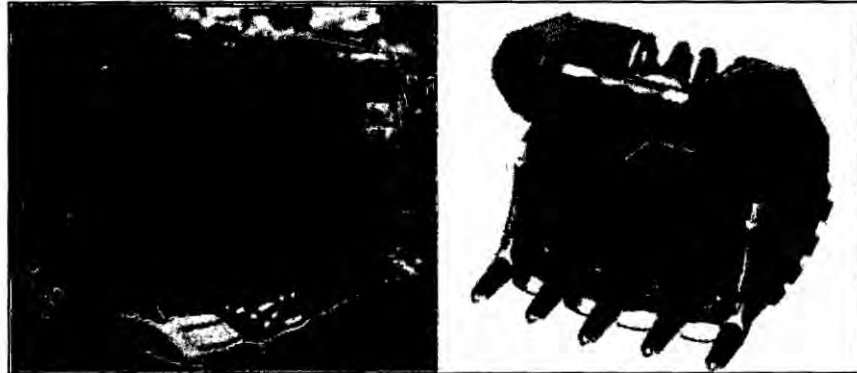


Fuente: Fotografía de punta de un cargador en minera Barrick - Pierina.

- Eliminación de salientes laterales en cucharón que dificultan la penetración.



**Figura N° 4.18.** Refuerzos internos y externos de cucharones.



Fuente: Fotografía de bucket de cargador frontal minera Shougang y Manual de especificaciones de bucket JAWS.

- Se tiene malas especificaciones acerca de las planchas de refuerzo interior y exterior del cucharón que protegen de fisuras y desgaste a la base primaria metálica del cucharón, creyendo que una plancha más gruesa, robusta y pesada es mejor para la protección sin tener en cuenta la dureza de la misma. Ya que no se ha realizado un estudio sobre el material cargado y su densidad para tener una buena especificación, evaluación y uso de las planchas protectoras. Se evaluó el material cargado con una densidad de 1.8 T/m<sup>3</sup> abrasivo para lo cual se utilizó planchas de acero Hardox 500 de 1" de espesor y Chokblocks antidesgaste, los cuales según manual de especificaciones son correctos y no afectan la capacidad del bucket.

- **Mejoramiento de la fragmentación de material**

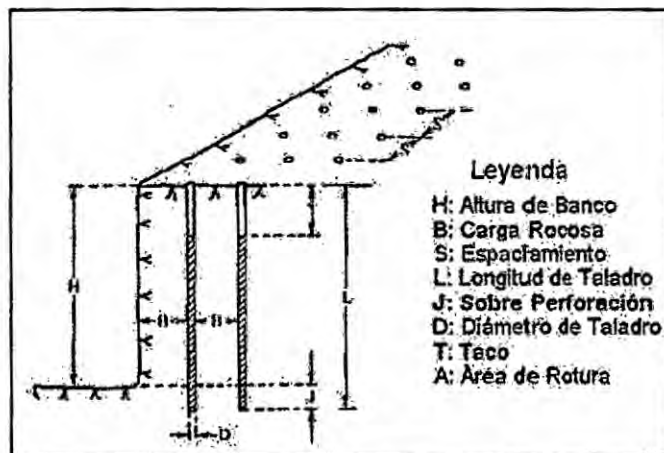
Se identifica que uno de los problemas que afectan negativamente a las operaciones son los tamaños de las rocas en el arranque que se efectúa en los frentes de trabajo. La presencia de fragmentos muy grandes, mayores de un metro cubico de volumen, por una mala operación de voladura son considerados "undersize".

En la operación unitaria de carguío, no es posible un trabajo normal de las palas y/o cargadores frontales debido a que el material toma más tiempo en ser cargado. Estos fragmentos grandes tienden a reducir la capacidad de los camiones KOMATSU HD 1500, ya que estos producen intersticios que reducen el volumen de las tolvas en su capacidad de carga de material.

- **Implementación de acciones correctivas.** La sobre perforación es parte del taladrado de perforación y su uso es necesario para evitar o reducir al mínimo los pisos altos en los frentes. No obstante esto incrementa los costos de perforación, produce vibración sísmica por mayor carga explosiva detonada y fragmentación inadecuada.

Esto puede reducirse mediante el uso de cámaras de aire en el fondo de los taladros de producción y reducción del diámetro de perforación de 9 7/8" a 7 7/8". Esto elimina la inestabilidad de taludes, incrementa el rendimiento del equipo de perforación y mejora la fragmentación del mineral.

**Figura N° 4.19.** Perforación de la tierra para realizar el dinamitado correcto.



Fuente: SANCHEZ Oswaldo, Incremento de la rentabilidad de operaciones mineras a cielo abierto por eliminación de la sobre perforación. Lima. Instituto de investigación FIGMMG - UNMSM. 2007. Pág. 86.

## CAPITULO V

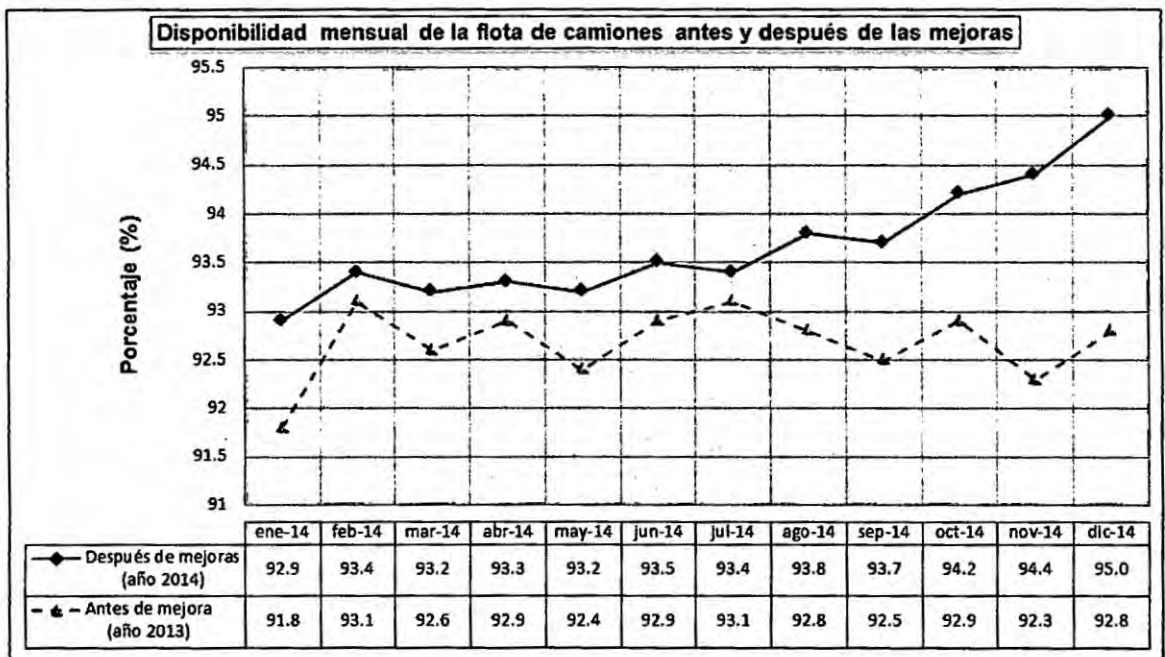
### RESULTADOS

Culminada la implementación de las acciones de mejora, se analizó la evolución de los indicadores que impactan en la efectividad global de la flota de camiones.

#### 1. Disponibilidad mecánica

La reducción o eliminación, de las pérdidas que afectan la disponibilidad mecánica, permitió incrementar el indicador, desde 92.7% a un promedio de 93.7% evaluado en el periodo de un año, representando 1% de mejora.

**Gráfico N° 5.1.** Disponibilidad mensual de la flota de camiones antes y después de la mejoras.

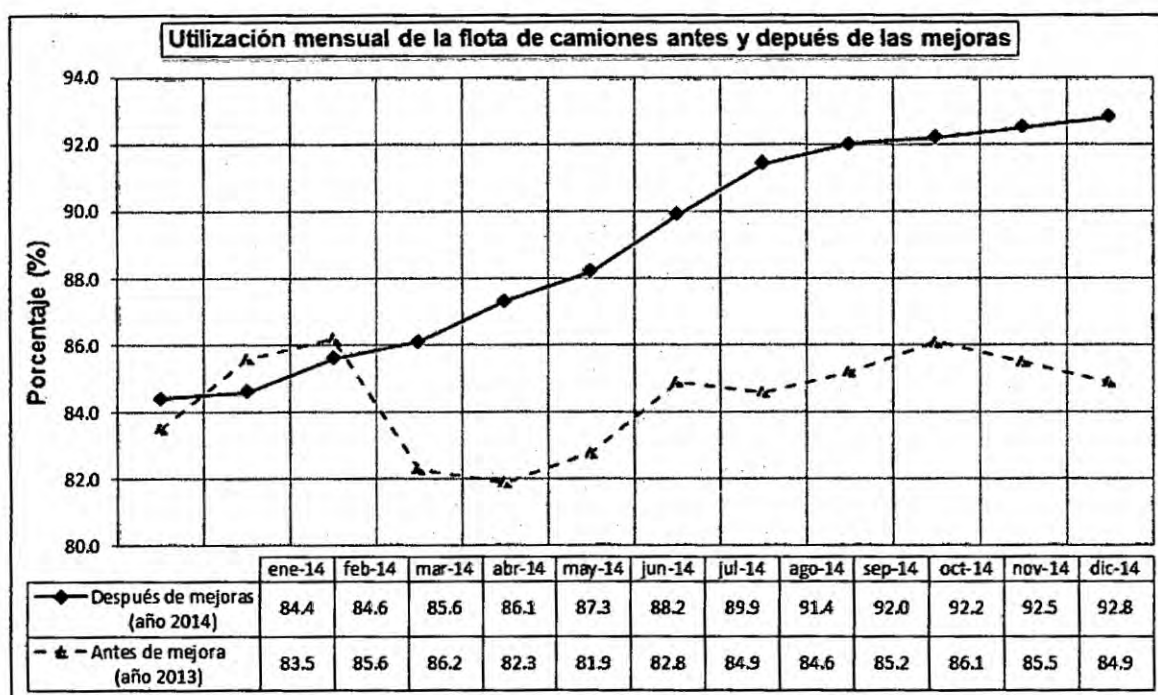


Fuente: Elaboración propia.

## 2. Utilización operativa

La eliminación o reducción de las pérdidas que afectan la utilización operativa, incrementó el indicador desde 84.46% a un promedio de 88.92% evaluado en el periodo de un año, lo que representa 4.46% de mejora.

**Gráfico N° 5.2.** Utilización mensual de la flota de camiones antes y después de las mejoras.

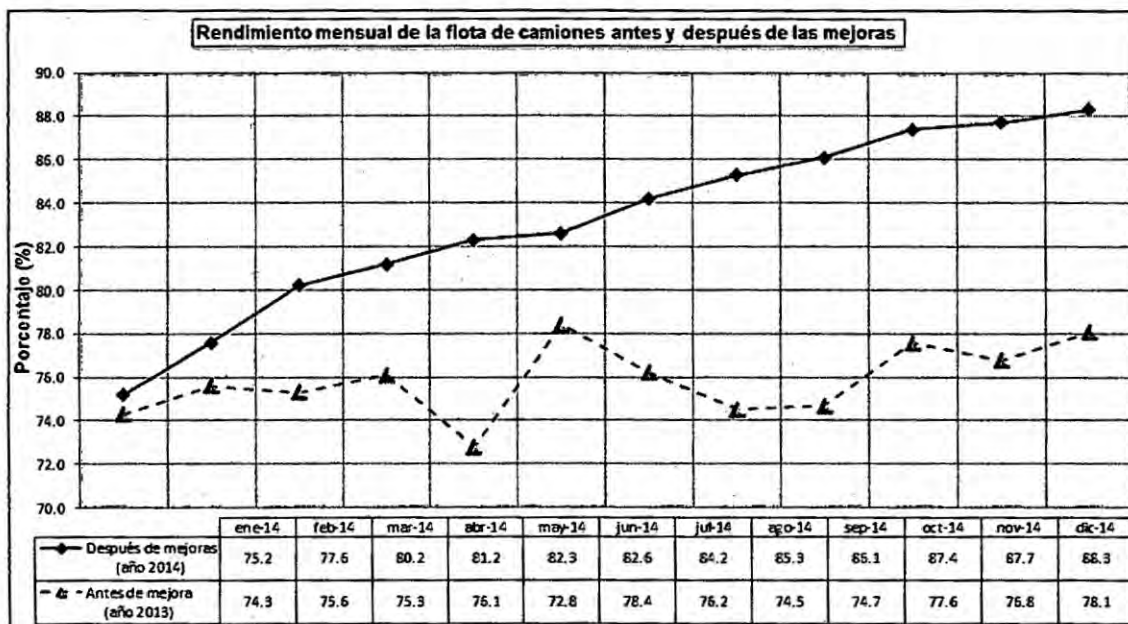


Fuente: Elaboración propia.

## 3. Rendimiento de camiones

Para el rendimiento de la flota de camiones, las acciones de mejora permitieron aumentar el índice de 75.87% a un valor de 83.18% evaluado en el periodo de un año, lo cual equivale a una mejora del 7.31%. (Véase el gráfico N° 5.3. Rendimiento mensual de la flota de camiones antes y después de las mejoras, página 101).

**Gráfico N° 5.3. Rendimiento mensual de la flota de camiones antes y después de las mejoras.**

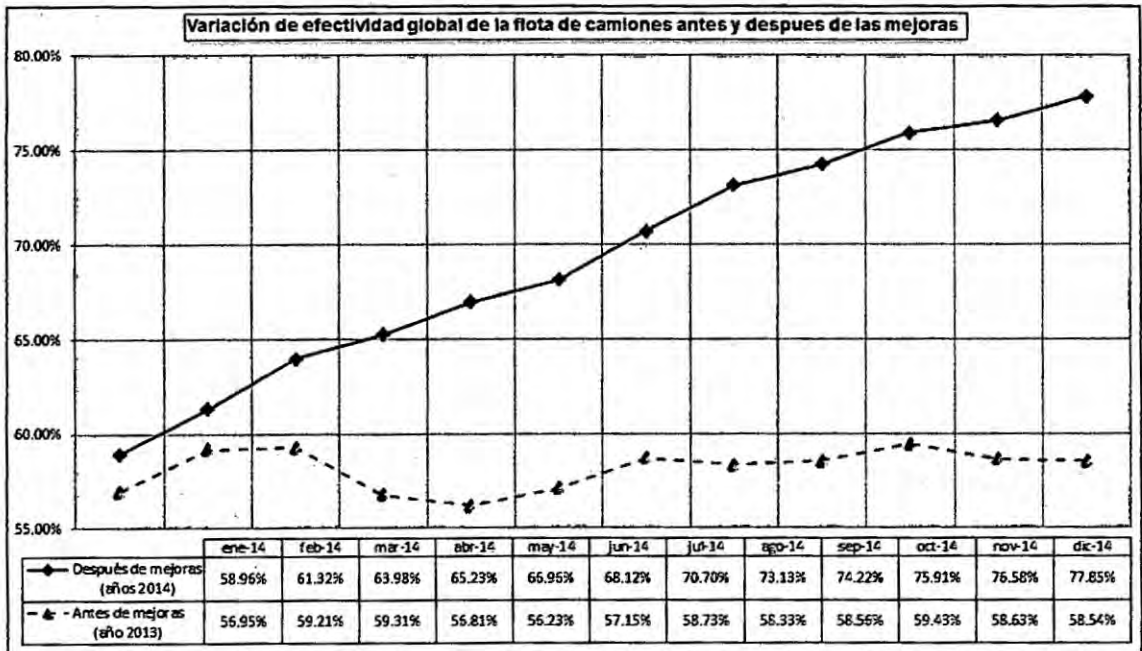


Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Efectividad global de camiones KOMATSU HD 1500

Con la mejora de indicadores de disponibilidad, utilización y rendimiento, la efectividad global de la flota de camiones incrementó de 59.40% hasta un 69.41% evaluado en el periodo de un año, considerando una mejora de 10.08%. (Véase el gráfico N° 5.4. Variación de efectividad global de la flota de camiones antes y después de las mejoras, página 102).

**Gráfico N° 5.4.** Variación de efectividad global de la flota de camiones antes y después de las mejoras.



Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados dispuestos, deducimos que si bien es cierto los resultados no alcanzaron los estándares para una empresa de "World Class" ya que no se alcanza el valor mínimo de 85% del indicador de efectividad global, estaría en desarrollo constante ya que es una mejora progresiva y a plazo indeterminado. Por lo que en un futuro se debe de alcanzar el benchmark de un "World Class".



## CAPITULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Evaluación de beneficios

Los beneficios cuantitativos se lograron, de acuerdo a nuestra implementación de mejoras para la maximización de la efectividad global de la flota de camiones.

- **Horas ganadas para producción:** Horas ganadas producto de las mejoras.

**Tabla N° 6.1.** Cálculo de las nuevas horas perdidas para producción.

	Indicador	Horas disponibles	Horas perdidas
<b>Disponibilidad</b>	93.70%	$0.937 \times 8760 = 8208.12$	$8760 - 8208.12 = 551.88$
<b>Utilización</b>	88.92%	$0.8892 \times 8208.12 = 7298.66$	$8208.12 - 7298.66 = 909.46$
<b>Rendimiento</b>	83.18%	$0.8318 \times 7298.66 = 6071.03$	$7298.66 - 6071.03 = 1227.63$
<b>Pérdida total de horas</b>			<b>2688.97</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 6.2.** Horas ganadas para producción.

Horas	Indicador
Horas perdidas antes de las mejoras	3555.6
Horas perdidas después de las mejoras	2688.97
Horas ganadas (Diferencia)	866.63

Fuente: Elaboración propia.

- **Toneladas ganadas de material acarreado:**

- Producción horaria x camión = 450 Ton/hora
- Flota de camiones = 10
- Horas ganadas = 866.63 horas/equipo/año
- Producción ganada =  $(450 \times 10 \times 866.63)$  Ton/año

**Producción ganada = 3'899,835 Toneladas/año**

- **Beneficio económico:** Los ahorros de dinero generados por el aumento de la efectividad global de la flota de camiones KOMATSU HD 1500 es la siguiente:

- Costo horario de camiones = 250 US\$/hora
- Flota de camiones = 10
- Horas ganadas = 866.63 horas/equipo/año
- Ahorro total = (250 x 866.63 x 10) US\$/año

**Ahorro Total = 2'166,575 US\$/año**

## **CAPITULOS VII CONCLUSIONES**

1. Se dio solución a los principales problemas que perjudicaban la efectividad global de las flotas de camiones, tales como: ineficiente mantenimiento preventivo, demora en procesos de carguío, tolvas muy pesadas, vías en mal estado. Utilizando herramientas de manufactura esbelta, TPM, Mantenimiento mejorativo (rediseño de tolvas), 5S, SMED y otros se logrando aumentar la productividad.
2. Con la implementación del diseño del plan de mejora y la eliminación o minimización de pérdidas se logró aumentar la efectividad global de la flota de camiones de un 59.40% evaluado inicialmente, hasta un 69.41%, lo cual conllevó a una ganancia de 866.63 horas para producción.
3. La implementación de las estrategias para mejorar el valor del indicador global de equipos logró, en el área de mantenimiento un ahorro de más de 14000 US\$ anuales aproximadamente, con la disminución de frecuencia de mantenimientos preventivos de 250 horas de 24 por año a 12 mantenimientos por camión/año, consignándose en un mantenimiento basado en la condición. (véase Anexo J.)
4. Con la implementación de herramientas de manufactura esbelta y filosofía TPM se incrementó el valor del indicador de efectividad global logrando una producción horaria por camión de 400 Ton/hora a 450 Ton/hora por lo cual se obtuvo una ganancia en producción anual de 3'899,835 Toneladas y beneficio económico fue de 2'166,575 US\$.

## **CAPITULO VIII**

### **RECOMENDACIONES**

1. La primera recomendación es mantener el apoyo de la toda la gerencia, ya que es de vital importancia para el desarrollo del proyecto. Sin este apoyo no se asegura el éxito del programa, ya que es gerencia es quien debe dar el financiamiento, las herramientas y permisos necesarios para la implementación de cualquier estudio o mejora que se quiera implementar.
  
2. Es esencial la participación y capacitación constante de todo el personal involucrado, ya que son todos ellos los que se encuentran en contacto directo con el trabajo a realizarse día a día y siempre haciendo una retroalimentación para seguir mejorando en el proceso.
  
3. Se recomienda mantener una coordinación apropiada entre el área de producción y el departamento de mantenimiento, para lograr mantener registros de fallas y mantenciones programadas, las cuales sean informadas a ambos departamentos para maximizar la gestión dentro de la sección de producción.
  
4. Se debe recordar que lo que busca la OEE es tener una organización eficiente y económicamente rentable, coherente con las restricciones que tenga, es decir, establecer un benchmark de lo mínimo que se puede lograr y mejorar a partir de ello continuamente a corto, mediano o largo plazo.
  
5. La efectividad global de los equipos (OEE), constituye el mejor indicador para medir el desempeño global de cualquier empresa, ya que permite medir la gestión conjunta de las áreas de mantenimiento, producción y desempeño propio de los equipos. Lamentablemente este indicador no es muy usado en el sector minería y casi poco en el sector industrial, principalmente por desconocimiento. Entonces con ello se recomienda seguir con la mejora continua e investigar nuevas filosofías para la mejor contribución en la rentabilidad de empresas que ayuden a incrementar aún más el indicador de efectividad global de equipos.

**CAPITULO IX**  
**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. AMÉNDEOLA, Luis. **Gestión de Proyectos de Activos Industriales**. 2da Edición, Editorial de la UPV. ISBN: 84-8363-052-4. España. 2006
2. AMÉNDEOLA, Luis. **Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del Mantenimiento**. Disponible en:  
[www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com). 2003
3. AMÉNDOLA, Luis José. **Modelos Mixtos de Confiabilidad**. Disponible en:  
<http://www.datastream.net/English/Default.aspx>. España: Valencia. 2002.
4. ANTOÑANZAS, Eva. **La Motivación Empresarial. Método 5s**. Disponible en:  
<http://www.eoi.es/blogs/embatur/2013/06/23/la-motivacion-empresarial-metodo-5s/>. 2013.
5. ÁVALOS, Elvira. **Reporte Técnico del Curso Evaluación de Proyectos de Inversión**. Maestría en Ingeniería de Sistemas. SEPI-ESIME, IPN. México. 2002
6. AVILA ESPINOZA, Rubén. **Fundamentos del mantenimiento. Guías económicas, técnicas y administrativas**. Ciudad de México. Limusa Grupo Noriega Editores. 1992.
7. BERGSTROM, Yale Robin. **Lean Principles & Practices**. Gardner Publications Inc. USA. 1995.
8. BERNTEIN, Ralph. **MPT en la Manufactura Esbelta**. Editorial Panorama. USA. 2008
9. BERTALANFFY, Ludwing V. **Teoría General de Sistemas**. FCE. México. 1986
10. BOULDING Kenneth. **General Systems Theory, Management**. 2da Edición. UK. 1956
11. BUNGE, Mario. **La ciencia, su método y la filosofía**. Ediciones Siglo Veinte. Buenos Aires, Argentina. 1979
12. CATERPILLAR. **Caterpillar Performance Handbook**. Caterpillar, USA 2003.
13. CROSBY, Philip B. **La calidad no cuesta, calidad sin lágrimas, hablemos de Calidad**. Mc Graw-Hill. 2002
14. CRUELLES RUIZ. **La Teoría de la Medición del Despilfarro**. Bogotá. 2010

15. ESCUDERO, Almudena. **Implementación de Filosofía TPM en una Planta de Producción y Envasado**. Tesis de maestría. Madrid. 2007
16. HAY J. Edward. **Justo a Tiempo. La Técnica Japonesa que Genera Mayor Ventaja Competitiva**. Barcelona. 1992
17. HIRANO, Hiroyuki. **5S for Operators: 5 Pillars of the Visual Workplace (For Your Organization)**. Productivity Press. Japan. 2001
18. MARTINEZ, Ignacio. **Diseño de una modelo para aplicar el mantenimiento productivo total a los sectores de bienes y servicios**. Tesis de grado. México. 2009
19. MORA GUTIERREZ, Alberto. **Mantenimiento, planeación, ejecución y control**. Alfaomega Grupo editor S.A. México. 2009
20. MOHR BARRÍA, Paula. **Propuesta metodológica para la medición de la eficiencia general de los equipos en las líneas de procesos de sección mantequilla en industria láctea**. Trabajo de grado. Puerto Montt, Chile. 2012
21. NAKAJIMA, Seiichi. **Implementación del mantenimiento productivo total**. Japan Institute of Maintenance. Madrid. 1991
22. NAKAJIMA, Seiichi. **Just in Time**. Toyota Production System & Lean Manufacturing. Japan. 2001
23. NEWBROUGH, E. T. **Personal de administración del mantenimiento industrial**. Mexico, D. F. Diana. Sexta edición. 1982
24. NIÑO NAVARRETE, Ángela. **modelo de aplicación de herramientas de manufactura esbelta desde el desarrollo y mejoramiento de la calidad en el sistema de Producción de americana de Colchones**. Trabajo de grado. Bogotá, Colombia. 2004.
25. OCHOA, Lisseth. **Una respuesta a herramientas de mejora continua**. Disponible en:  
<https://isceudg.wordpress.com/2011/06/22/herramientas-de-la-mejora-continua/>.  
Junio 2011.
26. OHNO, Taichi. **Toyota Production Systems**. Productive Press, Inc. USA 1990.



27. PASCUAL, Rodrigo. **Curso Mantenimiento de Maquinaria**, ME57A. Universidad de Chile, Dpto. Ingeniería Mecánica. Chile, Santiago. 2002
28. REY SACRISTÁN, Francisco. **Hacia la excelencia en mantenimiento**. Madrid. Tgp Hoshing, S.L. 1996
29. ROBERTS, Jack. **TPM, Total Productive History and Basic Implementation. Manejo y mantenimiento productivo total**. Disponible en: [www.tpmonline.com/article/tpm/tpmroberts.htm](http://www.tpmonline.com/article/tpm/tpmroberts.htm). 2008
30. SALAZAR, H. **Técnicas del Mantenimiento Organizado**. ISBN 980 300 8525-8. Caracas, Venezuela. 1989
31. SIPPER, Daniel. **Planeación y control de la producción**. México D. F. Mc Graw Hill. 1998
32. SISTEMAS OEE DE PRODUCTIVIDAD INDUSTRIAL. Disponible en: <http://sistemasoe.com/index.php/la-empresa/la-experiencia-de-los-mejores>. Consulta: 10 noviembre 2011
33. TAVARES, Lourival. **Administración Moderna del Mantenimiento**. Disponible en: <http://www.datastream.net/English/Default.aspx>. Brasil. 2000.
34. TECSUP. **Gestión del mantenimiento**. Lima. 2002
35. TECSUP. **Herramientas para la gestión del mantenimiento**. Lima. 2013
36. TORRES, Leandro Daniel. **Mantenimiento Implementación y Gestión**. Segunda edición. Universitas. Argentina, Córdoba. 2005
37. UCELO LEZANA, Astrid. **Diseño e implementación del sistema de eficiencia global de los equipos (OEE) en una línea de producción de pañales desechables e investigación de propuesta viable para la degradación de estos productos no reciclables en la empresa Altenvasa**. Trabajo de grado. Guatemala. 2008
38. WIREMAN, Terry. **Word Class Maintenance Management**. Estados Unidos de America. Industrial Press, Inc. 2001.
39. WOODHOUSE, J. **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad**. The Woodhouse Parthership. UK. 2000.
40. YAMASHINA, Hajime. **Japanese manufacturing strategy and the role of Total Productive Maintenance. TPM**. En: Journal of Quality in Maintenance Engineering. Vol. 1. ISSN: 1355-2511. 1995

## **ANEXOS**

ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORA DE LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPOS EN LA FLOTA DE CAMIONES KOMATSU HD 1500

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿Como diseñar un plan de mejora de la efectividad global de la flota de camiones KOMATSU HD 1500?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <p><b>P1:</b> ¿Cómo se determinan las pérdidas e ineficiencias en los camiones?</p> <p><b>P2:</b> ¿Cómo implementar estrategias para disminuir o eliminar las pérdidas?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Diseñar un plan de mejora de la efectividad global de equipos (camiones KOMATSU HD 1500) para aumentar la rentabilidad.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <p><b>O1:</b> Determinar las pérdidas e ineficiencias en la gestión de la flota de camiones.</p> <p><b>O2:</b> Implementar estrategias para mejorar el valor del indicador de la efectividad global de los equipos.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>Si se diseña un plan para reducir las principales pérdidas de la flota de camiones KOMATSU HD 1500, entonces se mejora la efectividad global.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p><b>H1:</b> Con las técnicas de mejoramiento continuo y solución de problemas.</p> <p><b>H2:</b> Con herramientas de manufactura esbelta y filosofía TPM.</p>	<p><b>Variable dependiente</b></p> <p><b>Y:</b> Efectividad global de equipos.</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <p><b>Y1:</b> Disponibilidad.</p> <p><b>Y2:</b> Utilización.</p> <p><b>Y3:</b> Rendimiento.</p> <p><b>Variable Independiente</b></p> <p><b>X:</b> Diseño de un plan de mejora.</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <p><b>X1:</b> Mejoramiento continuo.</p> <p><b>X2:</b> Mantenimiento productivo total (TPM).</p> <p><b>X3:</b> Herramientas de manufactura esbelta.</p>	<p><b>Tipo de investigación</b></p> <p>Campo.</p> <p><b>Nivel</b></p> <p>Descriptivo.</p> <p><b>Diseño</b></p> <p>No experimental.</p> <p><b>Población y muestra</b></p> <p>Población = Muestra (10 Camiones)</p> <p><b>Técnicas e instrumentos</b></p> <p>Observación cuantitativa.                      Procesamiento y análisis de datos.                      Hojas de cálculo en Excel                      Cámara fotográfica.                      Reloj y cronómetro.</p>

## ANEXO B. Estadística descriptiva

### Introducción

Estadística es la Ciencia que tiene como base la Matemática, asociada a diversas variables, en las diferentes disciplinas o áreas del conocimiento, interpretada y descrita en la terminología pertinente y acorde a la especialidad, estandarizando un lenguaje específico en cada carrera profesional, en la que se aplica los métodos estadísticos. Tiene como finalidad la recolección responsable de datos (para evitar sesgos), para procesarla con apoyo de un software estadístico, obtener resultados y luego de un análisis confrontado con otros estudios o investigaciones permite emitir conclusiones, formular sugerencias o recomendaciones, que son de trascendencia para la toma de decisiones en el presente, o mediante proyecciones estimar los resultados para el futuro. La recolección de información puede ser de primera fuente (datos actuales, recogidos en el campo), o de segunda fuente (uso de datos históricos). Esta información es importante porque permite medir y explicar la calidad de los procesos del comportamiento de la estructura de los seres vivos, la evolución del ciclo de vida, desde su inicio hasta su término. Permite evaluar la calidad en los procesos para brindar un servicio, o la calidad para ofrecer un producto y así modificar o construir nuevos indicadores, para satisfacer.

#### I. Estadística descriptiva

Parte de la Ciencia Estadística que comprende el estudio de los datos observados y registrados de las reacciones y procesos que se producen en todas las actividades de los entes (seres) con o sin movimiento. Comprende: recolección de los datos, análisis, presentación de los resultados en consolidados mediante tablas o gráficos y medidas de resumen o estadígrafos. Describe cualquier conjunto de datos, ya sea de una población o de una muestra, es una etapa preliminar a la Inferencia Estadística

##### 1.1. Conceptos básicos

**Población:** conjunto finito o infinito de elementos de la misma especie que tienen las mismas características (o por lo menos una característica común), la que se pretende estudiar y de la cual se eligen de forma aleatoria los elementos que formaran una muestra.

**Muestra:** es una parte o un subconjunto de la población, denominada también un mini universo, está constituida por elementos seleccionados aleatoriamente, con el objetivo de investigar las propiedades de la población.

**Variable:** son las cualidades, características o atributos observables que poseen los elementos de la muestra y que pueden tomar diferentes valores, o pueden ser expresados en varias categorías.

#### **A. Variable cualitativa**

- Son aquella variable que no son cuantificables directamente, pero se pueden Categorizar para un mejor análisis.
- Se les denomina también estadística de atributo o variables categóricas

#### **Clases de variables cualitativas**

**a. Nominal:** es la variable(s) no numérica que no presentan un criterio de orden entre sí.

**b. Ordinal:** es la variable(s) no numérica que presenta un orden jerárquico entre las observaciones

#### **B. Variable cuantitativa**

- Son aquellas variables que se expresan en valores, es decir son cuantificables directamente.

#### **Clases de variables cuantitativas**

**a. Discreta:** es la variable que se expresa en valores numéricos puntuales, que representan a un conjunto de datos que se obtienen de un proceso de conteo. No existen valores intermedios entre ellos. Se caracterizan por que describe o define a la variable: **Nº de ...**

**b. Continua:** son aquellas variables cuya información numérica está distribuida en uno o más intervalos y las observaciones toman cualquier valor en el conjunto de los números reales.

#### **C. Otras variables importantes**

**a. Variable independiente:** es la variable que modifica, cambia o influye sobre el comportamiento de la variable dependiente.

**b. Variable dependiente:** es la variable que su comportamiento está sujeto a la variabilidad de la variable independiente y también de las variables asociadas

**c. Variables asociadas o intervinientes:** son aquellas variables que por si solas no cambia ni modifica el comportamiento de la variable dependiente, pero en grupo hacen fuerza.

## 1.2. Distribuciones de frecuencias

Son representaciones discretas y continuas de las observaciones de la variable de una muestra, obtenida de forma aleatoria de la población.

**Frecuencia:** es el número de veces que se repite cada una de las observaciones de la variable.

### Clases de frecuencias

#### A. Frecuencia absoluta

Indica que el valor de las observaciones es un valor entero positivos. Se divide en dos tipos.

##### a. Frecuencia absoluta simple : $f_i$

Las observaciones se representan mediante un valor entero positivo, indicando cuantas veces se repite cada observación. Se denota por  $f_i$

$$f_i = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_n\}$$

##### b. Frecuencia Absoluta Acumulada : $F_i$

Es la suma sucesiva de las distribuciones de frecuencia absolutas simple.

$$F_i = \sum_{i=1}^n f_i = f_1 + f_2 + f_3 \dots f_n$$

#### B. Frecuencia relativa

Es la proporción de las frecuencias absolutas entre el tamaño de la muestra multiplicado por cien; es decir la frecuencia relativa se puede expresar en decimales, fracciones o porcentajes. Se divide en dos clases:

##### a. Frecuencia Relativa simple : $h_i$

Es la proporción de las frecuencias absolutas simples entre el tamaño de la muestra. Se denota por:

$$h_i = \frac{f_i}{n} * 100$$

Dónde: ~

$h_i$ : frecuencia relativa simple

$f_i$ : frecuencia absoluta simple



n. tamaño de la muestra

$$h_i = \frac{f_i}{n} = \left\{ \frac{f_1}{n}, \frac{f_2}{n}, \frac{f_3}{n}, \dots, \frac{f_n}{n} \right\}, \quad h_i = \{h_1, h_2, h_3, \dots, h_n\}$$

#### b. Frecuencia Absoluta Acumulada : Fi

Es la suma sucesiva de las distribuciones de frecuencia relativas simples. Se denota:

$$H_i = \sum_{l=1}^n h_l = \{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n\}$$

o también se puede obtener dividiendo a la frecuencia absoluta acumulada

$$H_i = \frac{F_i}{n}$$

Dónde:

Hi: frecuencia relativa acumulada

Fi: frecuencia absoluta acumulada

## II. Medidas de tendencia central: media, mediana

Las medidas de tendencia central tienden a ubicarse en el centro de la información (de los valores de las observaciones de la variable), solo en algunos casos estas medidas coinciden juntas en el centro de los datos.

### 2.1. Media aritmética o promedio aritmético

Estadígrafo más importante de la estadística. Es el valor representativo del conjunto de datos (valores) observados de una variable, es el promedio aritmético de las observaciones de la variable elegida de la muestra para el estudio. Se obtiene: sumando todos los valores de las observaciones y luego se divide entre el número total de observaciones (**n**). Se denota:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Dónde:

$\bar{X}$  : Media o promedio aritmético: se lee X - barra

$x_i$  : Valores de las observaciones

$n$  : Tamaño de la muestra

### 2.1.1. Casos

#### a. No agrupado:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

**b. Agrupado:** a diferencia del caso no agrupado, en este ítem, los valores de las observaciones de la variable se agrupan y se muestra en consolidados de los datos, en tablas estadísticas, las se presentan en dos casos:

#### b.1. Caso discreto

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot f_i}{n}$$

Dónde:

$\bar{X}$  : Media o promedio aritmético: se lee X - barra

$x_i$  : Valores de las observaciones

$n$  : Tamaño de la muestra

$f_i$  : Frecuencia

#### b.2. Caso Continuo

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot f_i}{n}$$

Dónde:

$\bar{X}$  : Media o promedio aritmético: se lee X - barra

$m_i$  : Punto medio o marca de clase (Valores de las observaciones)

$n$  : Tamaño de la muestra

$f_i$  : Frecuencia

## 2.2. Mediana o valor medio

Es el valor central de un conjunto finito de observaciones; la mediana divide al conjunto en dos partes exactamente iguales, 50% a la derecha y 50% a la izquierda. Se denota por: **Med.**

## III. Medidas de dispersión

Mide el grado de concentración, dispersión o variabilidad de los valores de las observaciones o datos alrededor de un valor central. Es decir explican cuan distante se encuentran los valores de las observaciones del valor central. También se dice que es la distancia que tienen las observaciones hacia el valor central.

### 3.1. Varianza

Es el promedio del cuadrado de la distancia de los datos a su media. Mide el grado de variación de los valores de las observaciones respecto a la media aritmética o promedio aritmético. Es la distancia de cada una de las observaciones a la media.

#### a. Datos no agrupados

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}$$
$$\sigma^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N} \right) - \mu^2$$

#### b. Datos agrupados

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^k f_i (X_i - \mu)^2}{N}$$
$$\sigma^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^k f_i * X_i^2}{N} \right) - \mu^2$$

### 3.2. Desviación estándar

Mide el grado de variabilidad de los datos respecto al promedio de la muestra. Es la raíz cuadrada positiva de la varianza.

Poblacional:  $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$

Muestral:  $s = \sqrt{s^2}$

La desviación estándar se interpreta construyendo intervalos alrededor del promedio.

#### A. Teorema de Chebyshev.

Si la distribución no es simétrica y unimodal:

- Al menos el 75% de los valores cae dentro de 2 desviaciones estándar alrededor de la media:  $(\bar{X} \pm 2s)$
- Al menos el 89% de los valores caen dentro de 3 desviaciones estándar alrededor de la media:  $(\bar{X} \pm 3s)$

#### B. Regla Empírica.

Si la distribución es una curva acampanada, unimodal y simétrica:

- Aproximadamente el 68% de los datos (población) se encuentran a una desviación estándar alrededor de la media:  $(\bar{X} \pm s)$
- Aproximadamente el 95% de los datos (población) se encuentran a 2 desviaciones estándar alrededor de la media:  $(\bar{X} \pm 2s)$
- Aproximadamente el 99% de los datos (población) se encuentran a 3 desviaciones estándar alrededor de la media:  $(\bar{X} \pm 3s)$

### 3.3. Coeficiente de variación (CV)

Mide la variación relativa de la variable con respecto a su promedio. Mide la magnitud de la desviación estándar en relación con la magnitud de la media. Se expresa en porcentaje.

$$CV = \frac{s}{\bar{X}} \times 100$$

# HD1500-7 OFF-HIGHWAY TRUCK

## SPECIFICATIONS



### ENGINE

Model	Komatsu SDA12V160		
Type	Water-cooled, 4-cycle		
Aspiration	Turbo-charged, after-cooled		
Number of cylinders	12		
Bore x Stroke	159 mm x 190 mm 6.26" x 7.48"		
Piston displacement	45 ltr 2,746 in <sup>3</sup>		
Horsepower			
SAE J1995	Gross 1109 kW	1,487 HP	
ISO 9249 / SAE J1349	Net 1048 kW	1,406 HP	
Rated rpm	1,900 rpm		
Fan drive type	Mechanical		
Maximum torque	697 kg·m 5,041 lb ft		
Fuel system	Direct injection		
Governor	Electronic control		
Lubrication system			
Method	Gear pump, force-lubrication		
Filter	Full-flow type		
Air cleaner	Dry type with double elements and pre-cleaned, with dust indicator		



### TRANSMISSION

Torque converter	3-elements, 1-stage, 2-phase		
Transmission	Full-automatic, planetary-shaft type		
Speed range	7 speeds forward and 1 reverse		
Lockup clutch	Wet, multiple-disc clutch		
Forward	Torque converter drive 1st and 2nd gear with direct drive lock-up in 1st through 7th		
Reverse	Torque converter drive		
Shift control	Electronic shift control with automatic clutch modulation in all gears		
Maximum travel speed	58 km/h 36 mph		



### AXLES

Rear axles	Full-floating		
Final drive type	Planetary gear		
Ratios:			
Differential	2.647		
Planetary	7.235		



### SUSPENSION SYSTEM

Variable rate, hydropneumatic with integral rebound control.			
Maximum front stroke	375 mm	14.76"	
Maximum rear stroke	106 mm	4.17"	
Rear axle oscillation	+/- 9.2°		



### STEERING SYSTEM

Type	Fully hydraulic power steering with two double-acting cylinders.		
Supplementary steering	Accumulator assist		
Minimum turning radius	12.2 m 40'		
Steering angle (left or right)	41°		



### CAB

Integral 4-post ROPS/FOPS cab structure (meets SAEJ 1040 Apr 88)
--



### MAIN FRAME

Type	Box-sectioned structure Integral front bumper		
------	--	--	--



### BRAKES

Brakes meet ISO 3450 standard.	
Service brakes:	
Front	Fully hydraulic control, oil-cooled multiple-disc type
Rear	Fully hydraulic control, oil-cooled multiple-disc type
Parking brake	Spring applied, oil-released, 3 caliper dry disc mounted on input yoke to differential
Retarder	Oil-cooled, multiple-disc front and rear brakes act as retarder.
Secondary brake	Manual - push button operated. Automatically applied prior to hydraulic system pressure dropping below established level.
Braking surface	159148 cm <sup>2</sup> 24,668 in <sup>2</sup>



### BODY

Capacity:		
Struck	54 m <sup>3</sup> 71 yd <sup>3</sup>	
Heaped (2:1, SAE)	78 m <sup>3</sup> 102 yd <sup>3</sup>	
Nominal payload	144.1 metric tons	158.9 U.S. tons
Material	400 Brinell hardness high tensile strength steel (front, sides, and bottom)	
Structure	Flat floor configuration	
Material thickness:		
Bottom	19 mm 0.75"	
Front	12 mm 0.47"	
Sides	9 mm 0.35"	
Target area (inside length x width)	7670 mm x 5705 mm 25'2" x 18'9"	
Dumping angle	45°	
Height at full dump	11440 mm 37'6"	
Heating	Exhaust heating	



### HYDRAULIC SYSTEM

Hoist cylinder	Two, 3-stage telescopic type	
Relief pressure	19.0 MPa 193.4 kg/cm <sup>2</sup> 2,750 psi	
Hoist time		
Raise	15 sec	
Lower	15 sec	



### WEIGHT (APPROXIMATE)

Empty weight	105300 kg	232,144 lb
Max. gross vehicle weight	249478 kg	550,000 lb
Not to exceed max. gross vehicle weight, including options, fuel and payload. Empty weight is with 100% fuel and operator.		
Weight distribution:		
Empty:		
Front axle	48.6%	
Rear axle	51.4%	
Loaded:		
Front axle	32.8%	
Rear axle	67.2%	



### TIRES

Standard tire	33.00 R51
---------------	-----------

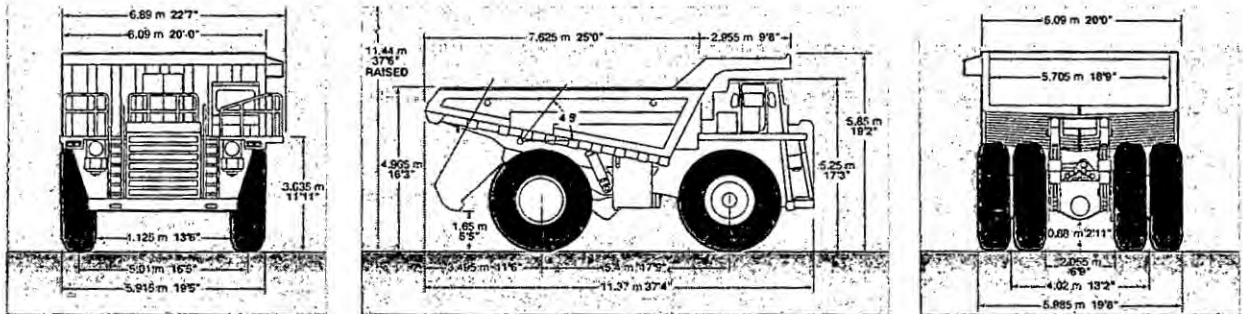


### SERVICE REFILL CAPACITIES

Fuel tank	2120 ltr.	560 U.S. Gal
Engine oil	193 ltr.	51 U.S. Gal
Hydraulic system	900 ltr.	238 U.S. Gal
Differential	297 ltr.	78 U.S. Gal
Final drives (total)	240 ltr.	63.5 U.S. Gal
Transmission	153 ltr.	40.5 U.S. Gal

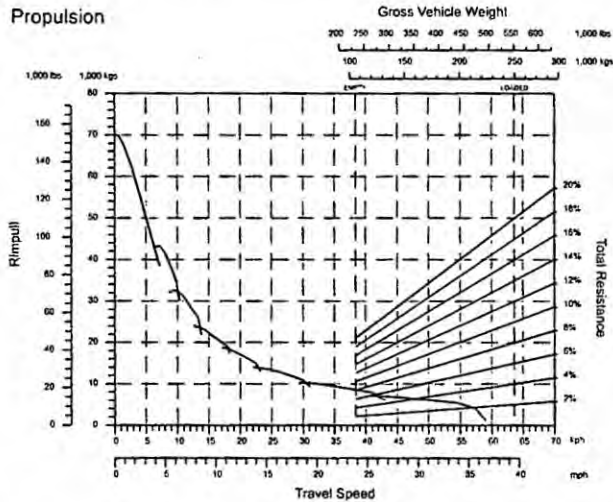


**DIMENSIONS AND PERFORMANCE**



**TRAVEL PERFORMANCE**

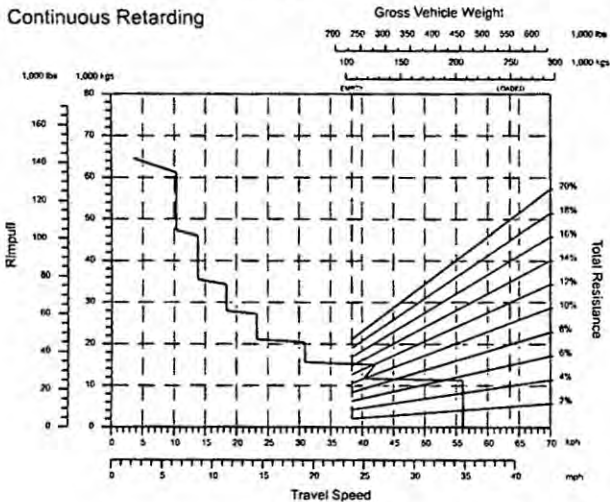
To determine travel performance: Read from gross weight down to the percent of total resistance. From this weight-resistance point, read horizontally to the curve with the highest obtainable speed range, then down to maximum speed. Usable rimpull depends upon traction available and weight on drive wheels.



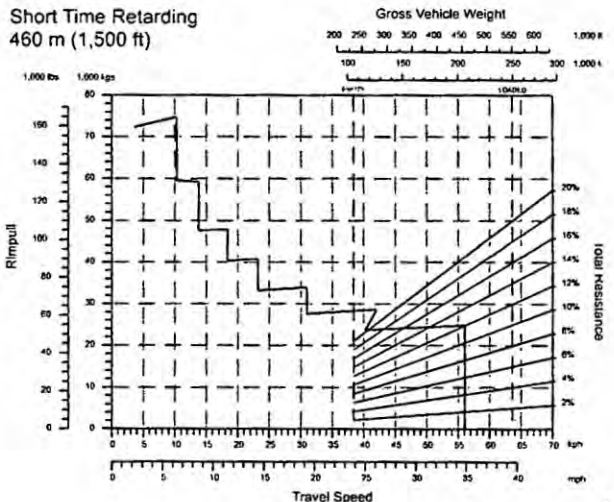
**BRAKE PERFORMANCE**

To determine brake performance: These curves are provided to establish the maximum speed and gearshift position for safer descents on roads with a given distance. Read from gross weight down to the percent of total resistance. From this weight resistance point, read horizontally to the curve with the highest obtainable speed range, then down to maximum descent speed the brakes can safely handle without exceeding cooling capacity.

Continuous Retarding



Short Time Retarding  
460 m (1,500 ft)







## STANDARD EQUIPMENT

### POWERTRAIN

- Air cleaner (2); battery disconnect; engine electronic control; engine electronic monitor; engine overspeed protection; engine pre-lube system; ground level shutdown; variable speed engine fan (electronic-over-hydraulic)
- Powertrain Management (these items located in the cab):
  - transmission controller
  - retard controller
  - monitor display
  - data download port
- Seven-speed automatic transmission:
  - electronic control
  - body-up reverse interlock
  - body-up shift inhibitor
  - downshift/reverse shift inhibitor
  - neutral start switch
  - transmission belly guard
- Torque converter (electronic lockup control)

### CAB

- Air conditioning (R134A)
- Electric windows (both doors)
- Glass, tinted
- Heater/defroster
- Instrumentation (gauge and monitor):
  - speedometer
  - tachometer
  - engine coolant temperature
  - brake oil temperature
  - fuel lever
  - shift indicator

- hourmeter
- odometer
- torque converter temperature
- warning lights
- Insulated and sound-suppressed
- Radio, AM/FM/Cassette
- Seat, air suspension (driver)
- Seat, passenger
- Seat belts 78 mm 3" retractable
- Steering wheel, tilt and telescopic
- Sun visor
- Windshield washer and wiper

### LIGHTING

- Back-up light, rear (1)
- Back-up lights, deck-mounted (2)
- Clearance lights, front
- Engine service lights (2)
- Headlights, halogen (8)
- Hi-low beam selector
- Instrument panel lights
- Ladder lights, driver side
- Retarder lights (2)
- Stop and tail lights LED
- Turn signals LED

### GENERAL

- Back-up warning alarm
- Body up cable
- Cab guard (on canopy)
- Drive line protector (front and rear)
- Engine fan and pulley guards
- Exhaust pipe blanket
- Ground level engine shutdown
- Handrails

- Heat shield behind engine
- Horn, electric (2)
- Ladder, deck-to-transmission
- Ladders, right and left (front)
- Mirrors, right and left
- Mud flaps
- Parking brake (3 caliper, spring-applied)
- Reverse hoist interlock
- Rock ejectors
- ROPS cab (integral 4-post)
- Secondary brake system, automatic and manual
- Skid-resistant walkway on deck
- Supplementary steering system, automatic
- Windshield, laminated safety glass

### OTHER

- Auto-Retard Speed Control (ARSC)
- Automatic Spin Regulator (ASR)
- Automatic lubrication system
- Body mounting group
- Fast fill fuel system (Wiggins) right-hand side of the machine
- Integrated Komatsu Payload Meter
- Operation, parts, and maintenance manuals (1 set)
- Rims (6), 24 x 51 (for 33 x 51 and 33R51 tires)
- Tow hooks, front
- Tow pin, rear
- Vehicle health monitoring system (VHMS)



## OPTIONAL EQUIPMENT

(Optional equipment may change operating weight.)

Weights listed are approximate change from operating weight.

Hub odometer, miles or kilometers	2 kg	5 lb	Fast oil change, Wiggins (engine)	7 kg	15 lb
Disabled truck quick connects	13.5 kg	29.8 lb	Service center, Wiggins left-hand side	36 kg	80 lb
Kim Hot Start	16 kg	35 lb	Muffler, deck-mounted	50 kg	110 lb
Fast fill fuel, Wiggins left-hand side	2 kg	5 lb	Fire extinguisher	14 kg	30 lb
			Body liners		
			-19 mm 0.75" floor, 9 mm 0.35" side, front and rear half of canopy (400 Brinell Steel)	8320 kg	18,340 lb

AESS727-00

©2007 Komatsu America Corp.

Printed in USA

D08(2.5M)C

8/07 (EV-1)

# KOMATSU®

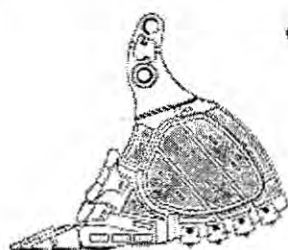
[www.KomatsuAmerica.com](http://www.KomatsuAmerica.com)

Komatsu America Corp. is an authorized licensee of Komatsu Ltd. Materials and specifications are subject to change without notice. **KOMATSU** is a registered trademark of Komatsu Ltd., Japan

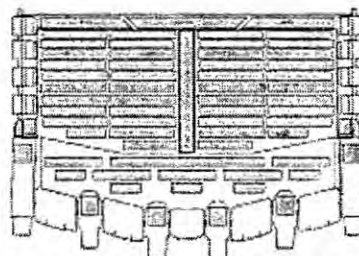
**53210 22.0 m<sup>3</sup> standard rock shovel, ESCO S 110, wear package "universal"**

Shovel capacity (SAE 2:1): 22.0 m<sup>3</sup>  
 Max. material density (loose): 1.8 t/m<sup>3</sup>  
 Tooth system: ESCO Steel lip with ESCO Posilock® Plus S110 type KHA  
 Shrouds: CAT weld-on cast heel shrouds at sidewall bottom  
 ESCO bolt-on wing shrouds at sidewall cutting edges  
 ESCO bolt-on lip shrouds between teeth

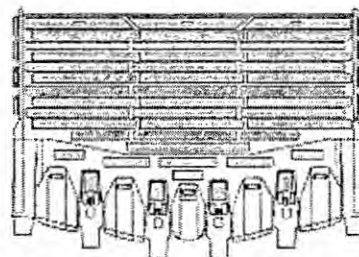
Wear package material:  Hardox 500 plates



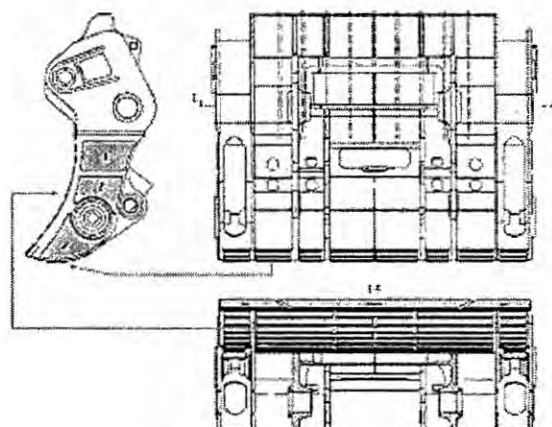
Outside view



Inside view




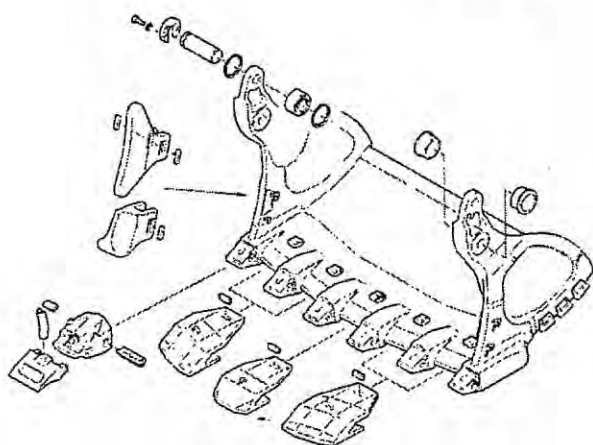
Front clam - wear package "Universal"



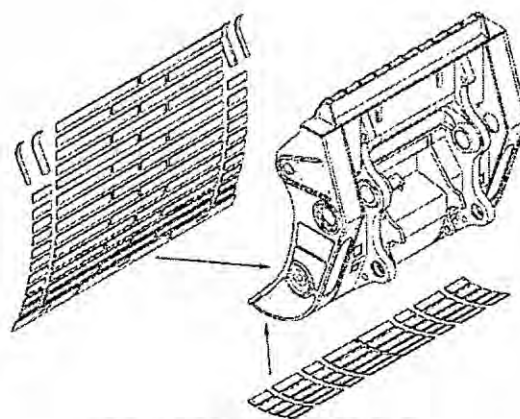
Backwall - wear package

**53211 22.0 m<sup>3</sup> Standard rock shovel, ESCO S 110, wear package "abrasive"**

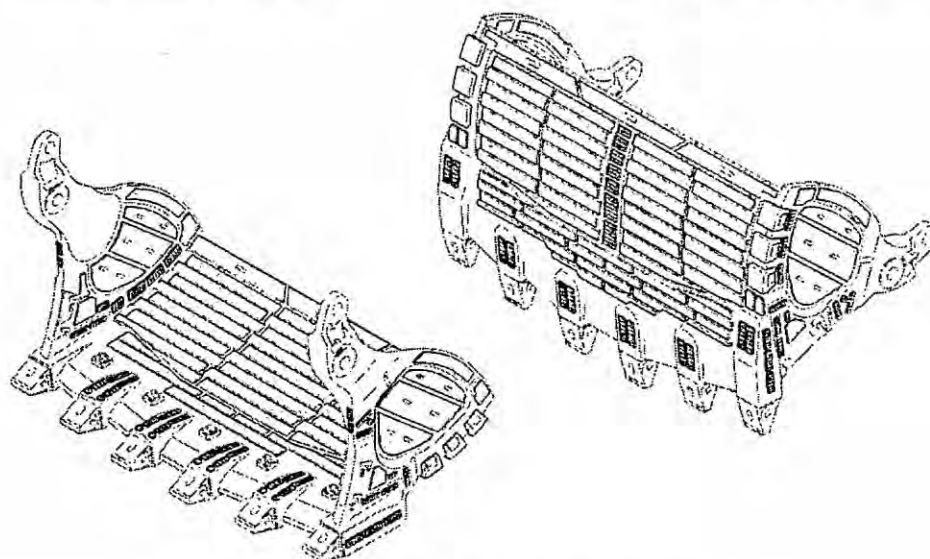
Shovel capacity (SAE 2:1):	22.0 m <sup>3</sup>
Max. material density (loose):	1.8 t/m <sup>3</sup>
Tooth system:	ESCO Steel lip with ESCO Posilock <sup>®</sup> Plus S110 type KHA
Shrouds:	CAT weld-on cast heel shrouds at sidewall bottom ESCO bolt-on wing shrouds at sidewall cutting edges ESCO bolt-on lip shrouds between teeth
Wear package material:	 Hardox 500 plates ESCO Chokblocks™ resp. Vidabuttons™



Tooth System - ESCO S110



Back wall - wear package



Front clam - wear package "Abrasive"



## Mobil Delvac 1 ESP 5W-40

### Aceite de desempeño supremo para motores diesel de servicio pesado

#### Descripción de producto

El aceite Mobil Delvac 1 ESP 5W-40 es un aceite totalmente sintético de desempeño supremo para la lubricación de motores diesel de servicio pesado, el cual ayuda a prolongar la vida útil de los motores a la vez que proporciona una capacidad para optimizar los intervalos entre cambios de aceite y una potencial economía en el consumo de combustible en motores diesel modernos que funcionan en aplicaciones severas. El aceite Mobil Delvac 1 ESP utiliza tecnología de punta para brindar un desempeño excepcional en los modernos motores de bajas emisiones, incluso aquellos con Recirculación de Gases de Escape (EGR) y sistemas de pos-tratamiento con Filtros de Partículas para Motores Diesel (DPFs) y Catalizadores de Oxidación para Motores Diesel (DOCs), así como unidades refrigeradas y motores de modelos anteriores en buenas condiciones de mantenimiento. El aceite Mobil Delvac 1 ESP 5W-40 está recomendado para usarse en una amplia gama de aplicaciones de servicio pesado y de ambientes de operaciones que se encuentran en el transporte vial y fuera de carretera en las industrias de la minería, la construcción y la agricultura. El aceite Mobil Delvac 1 ESP también cumple con la especificación de API SM para motores a gasolina usados en flotas mixtas.

El desempeño excepcional de Mobil Delvac 1 ESP 5W-40 es el resultado de un extenso trabajo de desarrollo cooperativo con importantes fabricantes de equipos y la aplicación de lo más reciente en tecnología de lubricación. Como resultado de ello, este producto cumple o excede los requisitos de las más recientes especificaciones API, ACEA, y de la industria global para aceites de motores diesel, al igual que los requisitos de prácticamente todos los principales fabricantes de motores americanos y europeos.

#### Propiedades y Beneficios

Muchos motores diesel modernos de bajas emisiones generan más hollín y funcionan a temperaturas más altas que los motores de modelos anteriores. Esto incrementa significativamente la necesidad de usar lubricantes de desempeño supremo. Además, los nuevos motores (modelos del año 2007 en adelante) vienen equipados con dispositivos de postratamiento instalados en la corriente de gases de combustión del motor que requirieron el uso tanto de aceites API CJ-4 como de combustibles con un contenido de azufre muy bajo para que funcionen correctamente. Además, los motores nuevos usan sistemas de Recirculación de los Gases de Escape (EGR) que generarán niveles aún más altos de ácido, hollín y calor que los motores EGR de modelos anteriores debido a las considerables mayores tasas de recirculación de los gases en comparación con los diseños de EGR anteriores. Los anillos superiores del pistón están situados más arriba, trayendo a la película del aceite más cerca de la cámara de combustión y exponiendo el lubricante a tensiones térmicas severas. El aceite Mobil Delvac 1 ESP 5W-40 mantiene un desempeño excepcional a temperaturas considerablemente más altas que otros aceites de alto desempeño para motores diesel. Además es completamente compatible con los aceites convencionales. Los beneficios clave incluyen:

Propiedades	Ventajas y beneficios potenciales
Cumple o excede las exigentes especificaciones de los principales fabricantes de equipos originales	Un solo aceite de motor para operaciones de flotas mixtas
Excepcional estabilidad térmica y contra la oxidación	Menor acumulación de sedimentos a bajas temperaturas y de depósitos a altas temperaturas
Resistencia mejorada de la película a altas temperaturas	Reducción en el desgaste abrasivo del motor y en el pulido de camisas
Estabilidad inherente contra los esfuerzos de corte que le permite mantenerse en su grado	Protección contra el desgaste y menor consumo de aceite; mantiene la viscosidad bajo servicio severo a altas temperaturas
Avanzada Formulación y viscometría	Menor consumo de combustible

Propiedades	Ventajas y beneficios potenciales
Baja volatilidad	Menor consumo de aceite
Excepcional facilidad de bombeo a bajas temperaturas	Fácil arranque del motor y menor desgaste
Calidad mejorada de la reserva de TBN	Control de depósitos y capacidad para prolongar los intervalos entre cambios de aceite
Resistencia excepcional a la corrosión	Prolongación de la vida útil de las superficies de desgaste críticas
Capacidad para optimizar y extender los intervalos entre cambios de aceite	Mayor eficiencia operativa y menores costos totales
Compatibilidad con los componentes	Larga vida útil de empaquetaduras y sellos, prolongando sus intervalos de servicio

### Aplicaciones

Se recomienda el aceite Mobil Delvac 1 ESP 5W-40 para la lubricación de todas las aplicaciones de motores diesel de súper alto desempeño, incluso los diseños de motores modernos de bajas emisiones con Recirculación de Gases de Escape (EGR), sistemas de postratamiento con Filtros de Partículas (DPFs) y Catalizadores de Oxidación Diesel (DOCs). Estas aplicaciones incluyen las siguientes:

- Motores de carretera que funcionan tanto a altas velocidades/altas carga como en condiciones de paradas y arranques continuos
- Motores fuera de carretera que funcionan en condiciones severas de bajas velocidades/cargas pesadas
- Prácticamente todo los equipos impulsados por motores diesel de fabricantes de equipos tanto Americanos como Europeos
- Motores a gasolina de alto desempeño y flotas mixtas
- Unidades de refrigeración

### Especificaciones y Aprobaciones

#### Mobil Delvac 1 ESP atiende o excede los requerimientos de: 5W-40

API CJ-4/CI-4 PLUS/CI-4/CH-4/SM/SL	X
ACEA E7	X
Caterpillar ECF-3	X
Cummins CES 20081	X
Twin Disc S364A	X

#### Mobil Delvac 1 ESP tiene las siguientes aprobaciones de fabricantes: 5W-40

Detroit Diesel Power Guard Oil Specification 93K218, 93K214	X
Mack EO-O Premium Plus, EO-N Premium Plus 03	X
MAN M3277	X
MB-Approval 228.31, 228.3	X
Volvo VDS-4, VDS-3, VDS-2	X
Deutz DQC III-05	X

### Características típicas



<b>Mobil Delvac 1 ESP 5W-40</b>	
Grado SAE	5W-40
Viscosidad, ASTM D445	
cSt @ 40°C	98
cSt @ 100°C	14,7
Índice de viscosidad, ASTM D2270	156
Cenizas sulfatadas, % peso, ASTM D 874	1,0
TBN, mg KOH/g, ASTM D2896	10,1
Punto de fluidez, °C, ASTM D97	-48
Punto de inflamación, °C, ASTM D92	249
Densidad @ 15°C, kg/l, ASTM D 4052	0,85

### Seguridad e Higiene

Con base en la información disponible, no es de esperar que este producto cause efectos adversos en la salud mientras se utilice en las aplicaciones para las que está destinado y se sigan las recomendaciones del Boletín de Seguridad (MSDS). Las Fichas de Datos de Seguridad están disponibles a través del Centro de Atención al Cliente o vía Internet. Este producto no debe utilizarse para otros propósitos distintos a los recomendados. Al deshacerse del producto usado, tenga cuidado de proteger el medio ambiente.

El logotipo Mobil, el diseño del caballo volante, y Delvac 1 son marcas registradas de Exxon Mobil Corporación, o una de sus filiales.

6-2011

Mobil Oil del Perú S.R.L.

Av. Camino Real N°456 , Torre Real , Piso 14, Li ma - Perú

(511) 221 - 2520

<http://www.lubesonline@exxonmobil.com>

Las características típicas son típicas de aquellas obtenidas con la tolerancia de la producción normal y no constituyen una especificación. Durante la fabricación normal y en los diferentes lugares de mezcla son esperadas variaciones que no afectan el desempeño del producto. La información aquí contenida está sujeta a cambios sin previo aviso. Todos los productos pueden no estar disponibles localmente. Para obtener más información, comuníquese con su representante local de ExxonMobil, o visite [www.exxonmobil.com](http://www.exxonmobil.com)

ExxonMobil se compone de numerosas filiales y subsidiarias, muchas de ellas con nombres que incluyen Esso, Mobil o ExxonMobil. Nada en este documento está destinado a invalidar o sustituir la separación corporativa de entidades locales. La responsabilidad por la acción local y la contabilidad permanecen con las entidades locales afiliadas a ExxonMobil.

© 2001-2010 Exxon Mobil Corporation. Todos los derechos reservados.



## ANEXO F. Análisis de aceites

- **Motor**

Los parámetros principales para el análisis de aceite en dicho sistema son:

**Viscosidad.** Debe ser de 12.2 a 15.2 centistock, una baja de viscosidad estaría relacionada a dilución (falla de algún inyector) o eventos de Temperaturas altas.

**Fe.** Eje de levas, camisas, horas del motor, soot elevado.

**Cr.** Anillos.

**Pb, Sn y Al.** Metales de biela y bancada

**Pb y Cu.** PTO.

**Cu.** Leaching, bearing de turbos, thrust washer, metales de biela.

**Na.** Culata rajada, empaque de culata, enfriador.

**Soot.** Mala calibración de válvulas, falla en eje de levas, falla en inyectores, filtros de combustible y aire taponeados, Horas de inyectores.

MOTOR								
INTERVALOR: 2000 HR								
DESGASTE	CU	FE	CR	PB	SN	AL	SI	NA
NORMAL	0-5	0-10	0-1	0-4	0-2	0-2	0-9	0-2
ACEPTABLE	6-10	10-20	1-2	4-8	2-4	2-4	9-14	2-5
ANORMAL	10-20	20-25	2-3	8-10	4-5	4-6	14-16	5-8
ACEITE	SOOT	OXI	NIT	SUL				
NORMAL	0-50	0-4	0-5	0-4				
ACEPTABLE	50-60	4-6	5-8	4-6				
ANORMAL	60-70	6-8	8-10	6-8				

- **Transmisión**

**Viscosidad.** Debe ser de 11 a 12 centistock.

**Fe.** Desgaste de planetarios contra el carrier, bomba.

**Material de fricción.** Discos de los paquetes.

**Cu.** Desgaste de thrust washer de planetarios, enfriador.

TRANSMISION						
INTERVALO: 2000 HRS.						
	CU	FE	CR	AL	SI	ISO CODE
<b>NORMAL</b>	0-10	0-5	0-1	0-2	0-9	1410 - 1815
<b>ACEPTABLE</b>	11-15	6-10	1-2	3-5	10-14	1916 - 2117
<b>ANORMAL</b>	16-	11-	3-	6-	15-	2218 -

- **Dirección**

**Viscosidad.** Debe ser de 6 a 7 Centistock.

**Fe.** Bomba.

**Cu.** Bomba, enfriador.

**Pb y Si.** Tierra (contaminación externa).

DIRECCION HIDRAULICA						
INTERVALO: 2000 HRS.						
	CU	FE	CR	AL	SI	ISO CODE
<b>NORMAL</b>	0-3	0-10	0-1	0-2	0-10	1410 - 1714
<b>ACEPTABLE</b>	4-10	11-15	1-2	3-5	11-15	1815 - 2016
<b>ANORMAL</b>	11-	16 -	3-	6-	16-	2117 -

- **Hidráulico**

**Viscosidad.** Debe ser de 6 a 7 Centistock.

**Fe.** Bomba, desgaste frenos.

**Si.** Desgaste frenos, Tierra (contaminación externa).

**Cu.** Bomba Levante.

SISTEMA HIDRAULICO						
INTERVALO: 2000 HRS.						
	CU	FE	CR	AL	SI	ISO CODE
<b>NORMAL</b>	0-5	0-10	0-1	0-2	0-15	1410 - 1714
<b>ACEPTABLE</b>	6-15	11-15	1-2	3-5	16-25	1815 - 2016
<b>ANORMAL</b>	16-	16-	3-	6-	26 -	2117 -

- **Rueda**

**Viscosidad.** Debe ser de 23 A 25 Centistock, una baja de viscosidad indicaría una falla en un sello duo cone.

**Fe.** Bearing, no más de 10 ppm (verificar tapones).

**Cr.** Bearing.

**Ni.** Bearing.

<b>RUEDAS DELANTERAS</b>						
INTERVALO: 500 HRS.						
	<b>CU</b>	<b>FE</b>	<b>CR</b>	<b>AL</b>	<b>SI</b>	<b>ISO CODE</b>
<b>NORMAL</b>	0-2	0-15	0-1	0-2	0-10	1410 - 1815
<b>ACEPTABLE</b>	3-9	16-30	1-2	3-5	11-15	1916 - 2218
<b>ANORMAL</b>	10-	31-	3-	6-	16-	2318 -

- **Mandos finales y diferencial**

**Viscosidad.** Debe ser de 23 A 25 Centistock, una baja de viscosidad indicaría una falla en un sello duo cone.

**Fe.** Bearing, no más de 30 ppm en 4000 horas del aceite, si excede cambiar aceites (verificar tapones).

**Cr.** Bearing.

**Ni.** Bearing.

**Cu.** Mala calibración de Thrust pin (washer thrust de satélites), washer thrust de mandos finales (si fuera el caso, porque algunos tienen estos washer de baquelita), spacer de apoyo de 1ra reducción.

<b>TREN POSTERIOR</b>						
INTERVALO: 4000 HRS.						
	<b>CU</b>	<b>FE</b>	<b>CR</b>	<b>AL</b>	<b>SI</b>	<b>ISO CODE</b>
<b>NORMAL</b>	0-4	0-15	0-1	0-2	0-10	1410 - 1916
<b>ACEPTABLE</b>	5-10	16-30	1-2	3-5	11-15	2017 - 2218
<b>ANORMAL</b>	11-	31 -	3 -	6 -	16 -	2318 -

### ACERO ANTIDESGASTE

Hardox 450 es un acero antidesgaste con una dureza aproximada de 450 HBW, concebida para aplicaciones que exigen resistencia al desgaste junto a buenas propiedades para el conformado en frío. Hardox 450 presenta muy buena soldabilidad.

**Aplicaciones** Cajas de volquetes, containers, trituradores, cribas, tolvas, alimentadores dosificadores, elevadores, canchales para minas, cucharas, cuchillas para cargadores, transportadores, cuchillas de corte, piñones y poleas para cadenas, maquinas cargadoras, camiones, maquinas de movimiento de tierras, excavadoras, tuberías os sometidas a desgaste, transportadores de tornillo sin fin, prensas, etc.

Composición química (análisis de colada)	Espesor de acero pulg.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	CEV	CET
		máx	máx	máx	máx	máx	máx	máx	máx	máx	valores típicos	
		%	%	%	%	%	%	%	%	%		
	1/8 <sup>*)</sup> - (5/16)	0.21	0.70	1.60	0.025	0.010	0.25	0.25	0.25	0.004	0.41	0.30
	5/16 - 3/4	0.21	0.70	1.60	0.025	0.010	0.50	0.25	0.25	0.004	0.47	0.34
	(3/4) - 1 1/4	0.23	0.70	1.60	0.025	0.010	1.00	0.25	0.25	0.004	0.57	0.37
	(1 1/4) - 2	0.23	0.70	1.60	0.025	0.010	1.40	0.25	0.60	0.004	0.59	0.36
	(2) - 3 5/32	0.26	0.70	1.60	0.025	0.010	1.40	1.00	0.60	0.004	0.72	0.41

\*1) Acero de espesor inferior a 5/32 pulg. solo tras acuerdo especial.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40}$$

El acero es de grado fino.

<b>Dureza</b>	HBW 425-475		
<b>Propiedades mecánicas</b>	Límite elástico	Carga de rotura	Alargamiento
Valor típico de acero de 3/4 pulg. plate espesor	R <sub>e</sub> KSI 175	R <sub>m</sub> KSI 205	A <sub>5</sub> % 14
<b>Resiliencia</b>	Ensayo de temperatura	Energía de impacto Charpy-V, probeta longitudinal	
Valor típico de acero de 3/4 pulg. plate espesor	°C -40 (- 40 F)	Ft-lbs (J) 30 (40)	
<b>Ensayos</b>	Ensayo de dureza Brinell, según EN ISO 6506-1, en superficie maquinado 0.02 - 0.12 pulgs bajo la superficie de acero, por colada y 40 Tn. Los ensayos se realizan para cada variación de 1/8 pulg. en el espesor de aceros de la misma colada.		
<b>Condiciones de suministro</b>	Q.		

## Hardox 450

<b>Dimensiones</b>	<p>Hardox 450 se suministra en espesores desde <math>1/8</math>"-<math>3 \frac{5}{32}</math>" pulgs. Para mas detalles sobre dimensiones consultar nuestro catálogo ES-041 Información general de productos Weldox, Hardox, Armax y Toolox.</p> <p>*) Acero de espesor inferior a <math>5/32</math>" pulg. solo tras acuerdo especial</p>
<b>Tolerancias</b>	<p>Tolerancias de espesor de acuerdo con la garantía de precisión de espesor AccuRollTech™ de SSAB Oxelösund.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- AccuRollTech™ cumple los requerimientos de EN 10 029 Clase A, pero ofrece tolerancias mas reducidas.</li></ul> <p>Información mas detallada puede obtenerse en nuestro catálogo ES-041 Información general de productos Weldox, Hardox, Armax y Toolox.</p> <p>Según EN 10 029.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Tolerancias de forma, largo y ancho.</li><li>- Tolerancias de planicidad según Clase N (Tolerancias normales).</li></ul>
<b>Propiedades de superficie</b>	<p>Según EN 10 163-2</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Requerimientos según Clase A.</li><li>- Condiciones de reparación según Subclase I. (Permite reparación por soldadura)</li></ul>
<b>Requerimiento general técnico de suministro</b>	<p>Según ES-041 Información general de productos Weldox, Hardox, Armax y Toolox.</p>
<b>Tratamiento térmico</b>	<p>Hardox 450 ha obtenido sus propiedades mecánicas gracias al templado y si fuese necesario por revenido.</p> <p>Hardox 450 no debe ser calentado a mas de 250°C (480°F) si se quiere mantener las propiedades de acero.</p> <p>Hardox 450 no admite tratamientos térmicos posteriores. Para mas información sobre soldadura y fabricación, vea nuestros catálogos en <a href="http://www.hardox.com">www.hardox.com</a> o consulte nuestro departamento técnico.</p> <p>Se tomaran las debidas precauciones a la hora de soldar, cortar, granallar o otros trabajos sobre el producto.</p> <p>El granallado, especialmente en aceros pintados, puede producir polvo con gran concentración de particulas. Nuestro departamento de servicio técnico al cliente proveerá de mas información a petición.</p>

ANEXO H. Factor de carga para cargadores frontales y palas

**FACTOR DE LLENADO DEL CUCHARON**

La siguiente tabla indica las cantidades aproximadas de una materia como porcentaje de la capacidad nominal del cucharón, o sea lo que realmente moverá el cucharón por ciclo. Se denomina "factor de llenado del cucharón."

Material suelto	Factor de llenado
Agregados húmedos mezclados . . . . .	95-100%
Agregados uniformes hasta de 3 mm (1/8") . . . . .	95-100
De 3 a 9 mm (1/8 a 3/8") . . . . .	90-95
De 12 a 20 mm (1/2 a 3/4") . . . . .	85-90
De 24 mm (1") y más grandes . . . . .	85-90
<i>Roca de voladura</i>	
Bien fragmentada . . . . .	80-95%
De fragmentación mediana . . . . .	75-90
Mal fragmentada . . . . .	60-75
<i>Varios</i>	
Mezcla de tierra y roca . . . . .	100-120%
Limo húmedo . . . . .	100-110
Suelo, piedras, raíces . . . . .	80-100
Materiales cementados . . . . .	85-95

NOTA: Los factores de llenado para cargadores de ruedas dependen de la penetración del cucharón, la fuerza de desprendimiento, el ángulo de inclinación hacia atrás, el perfil del cucharón y el tipo de herramientas de corte como dientes de cucharón o cuchillas reemplazables empernables.

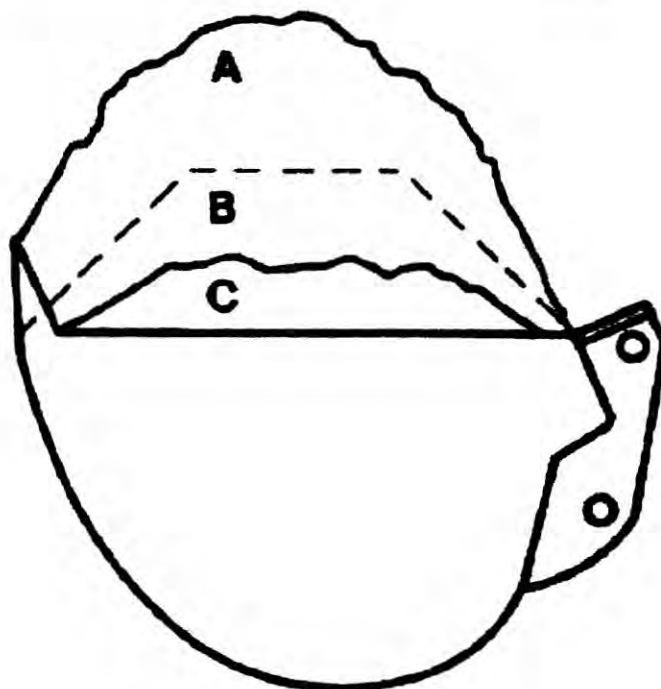


## CARGA UTIL DEL CUCHARON

En una excavadora, la carga útil del cucharón (la cantidad de tierra del cucharón en cada ciclo de excavación) depende del tamaño y forma del cucharón, de la fuerza de plegado y de ciertas características del suelo, tales como el factor de llenado de ese tipo de tierra. Se indican a continuación los factores de llenado de diversos materiales.

$$\text{Promedio de carga útil del cucharón} = (\text{Capacidad colmada del cucharón}) \times (\text{Factor de llenado del cucharón})$$

Material	Factor de llenado (Porcentaje de la capacidad colmada del cucharón)
Marga mojada o arcilla arenosa	A — 100-110%
Arena y grava	B — 95-110%
Arcilla dura y compacta	C — 80-90%
Roca bien fragmentada por voladura	60-75%
Roca mal fragmentada por voladura	40-50%



## ANEXO I. Asignación dinámica de equipos – Gestión Dispatch

### Truck dispatch

*Dispatch* es la denominación más conocida para Intellimine. Dispatch empleando tecnología aplicada al negocio minero, interactúa en tiempo real utilizando herramientas matemáticas, informáticas, posicionamiento global, comunicaciones y redes, permitiendo asignaciones óptimas y automáticas en forma dinámicas para la flota, logrando incrementar el tiempo efectivo de trabajo y por ende la productividad efectiva de las flotas de carguío y acarreo.

Se elimina el concepto de asignación fija de camiones a palas, lográndose una interacción en tiempo real entre el sistema, el operador y el despachador; dando paso al control del proceso y programación de las acciones en las operaciones en forma remota. El despachador toma decisiones en tiempo real respecto a la mejora del proceso de extracción, permitiendo recoger información, evaluando, midiendo, analizando, mejorando y controlando el proceso productivo. Con Dispatch los jefes de turno de la mina y mantenimiento pasan a ser administradores de la operación, dejando al despacho mina el trabajo de asignación de equipos y tiempos así como la captura de datos y cálculo de los indicadores claves de desempeño (KPI), ya que se tiene información desde el origen y la gestión de los datos es instantánea.

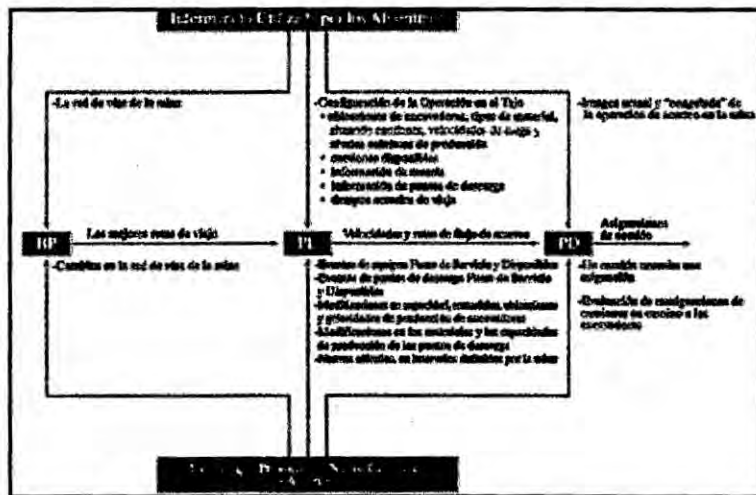


Dispatch trabaja bajo una estrategia de optimización (DOS) que es un mecanismo automático que consta de **dos fases** (que se explican en el Anexo 1), y que utiliza tres modelos matemáticos de programación: La Mejor Ruta (BP), la Programación Lineal (PL), la Programación Dinámica (PD); con el fin de obtener la mayor productividad de camiones posible en la mina. La Estrategia de Optimización de DISPATCH (DOS) es pues un mecanismo automático que utilizando los modelos mencionados crea un plan maestro teórico de circuitos optimizados de producción y velocidades de alimentación. DOS utiliza los modelos BP, PL y PD para asegurar que se cumpla dicho plan durante el turno, en tiempo real.

DISPATCH también provee el módulo de Configuración de la Programación Lineal para poder hacer cambios específicos en cuanto a la forma en la cual la PL crea circuitos de producción y

velocidades de alimentación. Esto permite mayor flexibilidad para cumplir con los requisitos de producción de la mina. Los objetivos de los planes de minado se ingresan como variables dentro de la PL del sistema, permitiendo tener el control de estos planes en tiempo real. Esta funcionalidad permite cambiar las directivas del planeamiento por algún cambio en el rumbo debido a una estrategia, para que estos tomen efecto desde el momento que se cambia las variables que intervienen en la PL.

La información de la BP (mejor ruta) así como información de ubicación de, match factor pala-camión, velocidades por pendiente cargado y vacío, prioridad de palas, porcentaje de utilización de equipos de carguío, capacidades en destinos, características de los equipos, restricciones operativas y demás variables; se ingresan a la PL (programación lineal) la que proporcionan velocidades y rutas de flujo de acarreo a la PD (programación dinámica) la que con esta información proporciona las asignaciones.



## Equipamiento

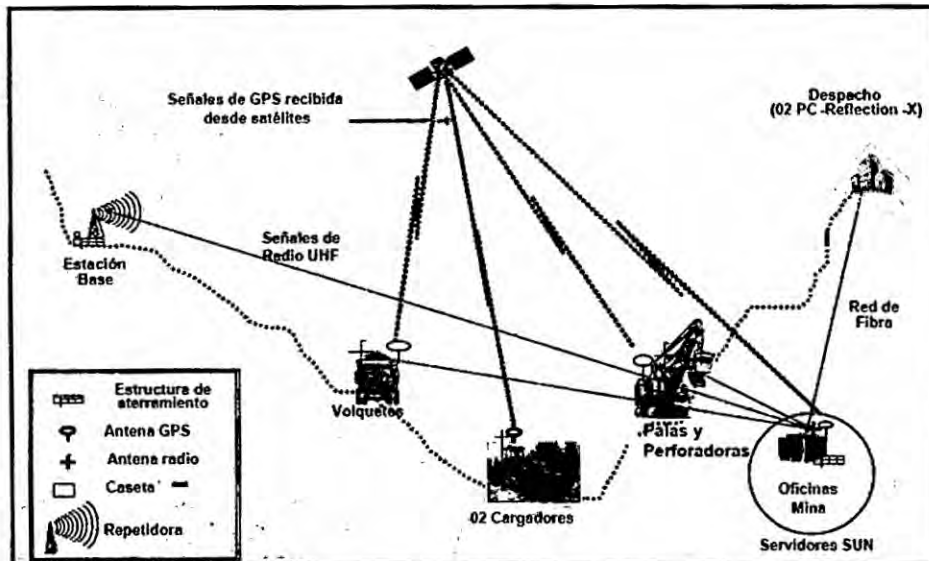
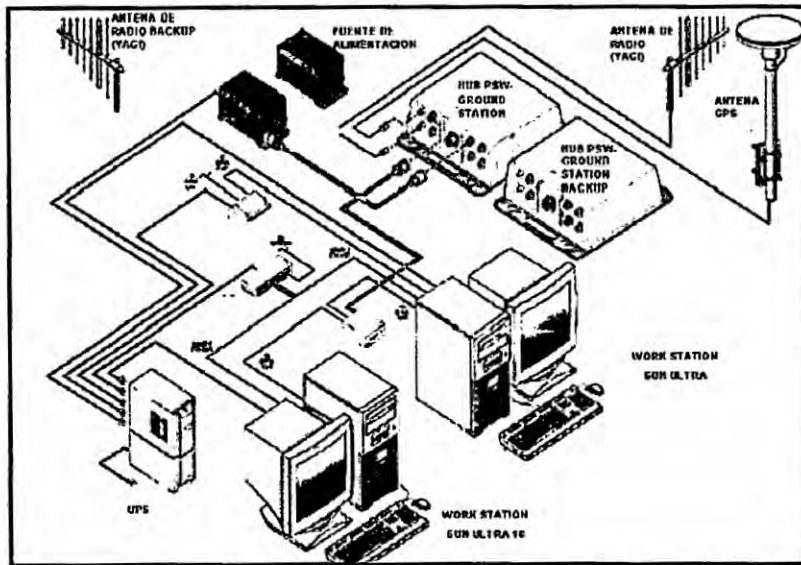
El equipamiento de Intellimine en la revisión D incluye Work Station, con sistema operativo Solaris Versión 5.7 de SUN Microsystems donde se instalan el sistema Dispatch-Intellimine de Modular. Esta aplicación permite crear y almacenar las bases de datos turno a turno de producción, de los estados de los equipos mineros y más información adicional.

Datos de los servidores SUN.

- SUN Solaris 5.7 system V release 4.
- Memoria RAM de 131072 K.
- Procesador = ULTRA Sparc-III de 333MHz.

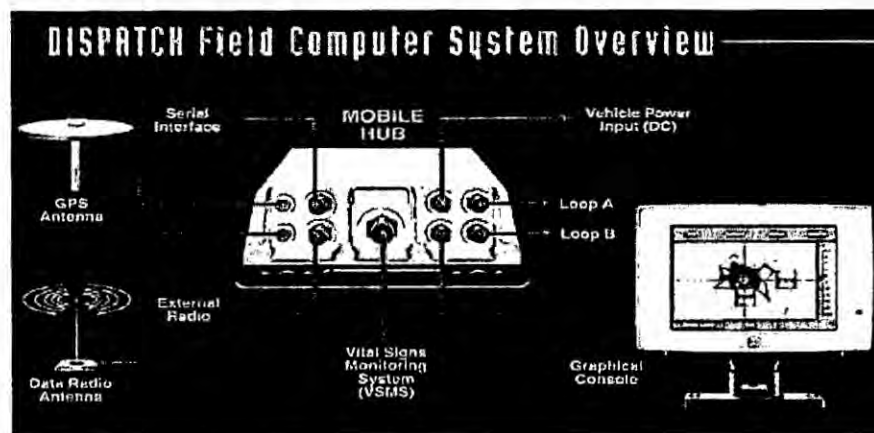
Los dos servidores SUN cuentan con todo el hardware e instalaciones para correr Dispatch, es decir tienen:

- El Hub de comunicaciones PSW-GROUND STATION y su conexión al servidor.
- El MODEM conectado.
- El tape backup conectado.
- La antena GPS y sus cables de conexión al HUB.
- La antena de comunicaciones radiales (YAGI) y sus cables de conexión al HUB.
- Un sistema de seguridad para descargas de rayos entre los accesorios externos a la oficina y los que están dentro de la oficina.



El equipamiento de campo es similar en todos los equipos y consta de:

- Una consola de interface gráfica del operador (GOIC), que es una pantalla sensible al tacto y que es utilizada como interface para la interacción con el operador.
- Unidad central de proceso dentro de un concentrador llamado HUB.
- Un receptor de radio UHF configurado con frecuencias de transmisión y recepción otorgadas por el ministerio de transportes y comunicaciones.
- Un receptor GPS marca Ashtech modelo Eurocard en la mayoría de minas que utilizan la revisión D del Dispatch.
- Antena UHF modelo Dipolo marca Sinclair.
- Antena GPS de alta o baja precisión y cantidad dependiendo si es equipo de baja o alta precisión.



### Criterios a tener en cuenta en asignación dinámica.

La prioridad del trabajo del despachador es parar y levantar equipos cuando esto es necesario. Si se requiere y es necesario se deben parar camiones, El objetivo es producir más con menos costo.

Las prioridades al inicio de turno (y durante el turno) se configuran modificando en forma adecuada la capacidad de los equipos de carguío en combinación con las prioridades de estos equipos. La capacidad de los botaderos y de equipos de carguío se puede regular para ajustar el envío de camiones. Hay que tener cuidado con las capacidades de los equipos de carguío que tienen prioridad uno.

Cuando se requiere mantener o configurar una mezcla de materiales, se "juega" con la capacidad de los botaderos (destinos).

Después de que el sistema está estabilizado en dinámico, se puede variar las capacidades de los botaderos y palas para cumplir con los objetivos. Uno de los objetivos principales que tiene que perseguir el despachador es mantener el número de camiones actual y del LP igualados. Si estos dos números no se encuentran iguales, es decir por ejemplo si el número de camiones actual es



mayor que el del LP, el sistema repartirá proporcionalmente los camiones. **El sistema dinámico necesita que estos dos números se mantengan iguales para que funcione correctamente.** Si la diferencia es por fracciones, chequear el trabajo y la estrategia de minado, de acuerdo a ello se debe evaluar parar equipos o no. Si el número de camiones actuales y de LP se encuentran igualados, se puede aumentar la capacidad de destinos y/o palas para incrementar los camiones, se tiene que mantener estos números iguales. Esto logrará que aumentemos la producción sin menguar la correcta asignación dinámica. Una buena práctica es botar en destinos alejados.

Si se tiene un equipo de carguío A que se encuentra trabajando con un destino, el cual no es utilizado por otro equipo de carguío, y es prioridad utilizar este equipo (o botar en el destino asociado), se tiene que bajar la capacidad a los otros equipos de carguío para forzar que se envíe camiones al equipo de carguío A. Se tiene que tener cuidado de respetar las prioridades y no bajar demasiado o no bajar nada a los equipos con primera prioridad.

Se tiene que tener cuidado cuando se desee poner en stand by los camiones en sus destinos. Primero tienen que poner asignar luego de descargar y recién se pueden poner en stand by, de lo contrario no reconoce la carga. Esto puede realizarse más rápidamente el despachador si se desea que no se demore el stand by de estos equipos. El mismo trato se debe dar a los camiones que entren a refrigerio.

En el cambio de turno en dinámico, se puede colocar menos tiempo a la demora por cambio de turno, de tal manera que los camiones se dirijan a los equipos de carguío aun antes que el operador ha llegado. Esto evita que los camiones sean asignados a otros equipos de carguío donde no deberían ir y mantiene el mismo flujo de camiones para cada equipo de carguío. Hay que tener en cuenta que luego de realizados cambios en los parámetros del sistema, este tarda aproximadamente 20 minutos en regular el flujo, se tiene que esperar a que el sistema se "pare", de lo contrario lo único que se logrará es "marear" al sistema.

Si dos palas están trabajando muy cercan (en el mismo nivel por ejemplo) y una tiene cola de camiones y a la otra le faltan camiones, se puede realizar asignación manual de los camiones en cola, y de esta forma mejorar el trabajo. Mientras el *Starved Shovels* (necesidad de palas) en el LP requiera más porcentaje (%) y se pueda aumentar más capacidad en los botaderos, entonces podemos aumentar más camiones, siempre cuidando que el número de camiones actuales y de LP se encuentran igualados.

No se originan trastornos en camiones actuales y camiones de LP por movimiento de los equipos de carguío (demora operativa). El trastorno se origina al variar el material y si se varía el destino asociado, según esto se tendría que "jugar" con las capacidades de los destinos. Si se piensa realizar un movimiento de equipo más largo del que se pueda manejar (mucho tiempo), entonces se puede trasladar el equipo de carguío deshabilitándolo primero. Enseguida se tienen que subir las capacidades de los demás equipos de carguío para que los camiones que estaban asignados al equipo de carguío en movimiento, se asignen a los otros equipos. Cuando el equipo ha llegado y se pone operativo, se pueden volver a bajar las capacidades que se subieron a los otros equipos de carguío y de esta manera restablecer el flujo anterior.

En el movimiento de equipos de carguío se tiene que considerar:



1. Si se tuviera certeza que el equipo de carguío que se está trasladando (deshabilitado) se utilizará cuando llegue a su destino y si los otros equipos de carguío ya estuvieran con 100% de capacidad (no pueden recibir más camiones), entonces tenemos que poner en stand by los camiones que estaban asignados al equipo de carguío en movimiento y tendrían que ubicarse en el lugar donde trabajará el equipo de carguío.
2. Si los otros equipos de carguío tienen capacidad para recibir más camiones y se les aumenta de capacidad para seguir utilizando los camiones del equipo de carguío en movimiento, se tienen que tener en cuenta que algunos minutos (5 – 10) antes que el equipo de carguío que se traslada deshabilitado llegue a su destino, se tiene que bajar la capacidad de los equipos de carguío que antes subimos (cuando comenzó el movimiento de la pala) y seguidamente se tienen que pasar de deshabilitado a operativo el equipo de carguío en traslado, pero se le mantienen en demora operativa. Al llegar a su destino, se le saca de demora operativa al equipo de carguío logrando un ahorro en el tiempo de traslado del equipo de acarreo.

**ANEXO J. Costo de mantenimiento preventivo de 250 horas camiones KOMTASU HD  
1500**

**COSTO DE MATERIALES UTILIZADOS – SALIDAS DE ALMACEN**

Artículo	Categoría	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Total
TRAPO INDUSTRIAL PUNTAS COLOR	Consumibles	KILO	5	3.8858	19.429
FILTRO ACONDICIONADOR DE REFRIGERANTE	Filtros	PIEZA	2	40.9664	81.9328
FILTRO DE AIRE PRIMARIO	Filtros	PIEZA	2	80.9124	161.8248
FILTRO DE COMBUSTIBLE	Filtros	UNIDAD	3	64.3775	193.1327
FILTRO DE ACEITE	Filtros	UNIDAD	3	74.2564	222.7692
GRASA MOBILITH SHC 220	Grasas	KILO	1	23.4701	23.4701
MOBIL GREASE CMP	Grasas	KILO	30	15.7771	473.313
ACEITE A GRANEL MOBIL DELVAC MX 15W40	Lubricantes	GALONES	55	20.9052	1149.786
ELEMENTO HIDRAULICO	Filtros	UNIDAD	2	53.9267	107.8534
<b>Costo de materiales utilizados</b>					<b>2433.511</b>

**COSTO HORAS - HOMBRE**

Sistema	N° de personal	Tiempo por actividad (horas)	Ratio (S/.)	Total (S/.)
SEN	1	2	90	1350
ENG	2	3		
Subtotal	3	5		

**COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO POR LUBRICACION**

Costo de materiales	Costo horas - hombre	Costo total
2433.511	1350	<b>3783.511</b>

**COSTO AHORRADO**

$$12 \times 10 \times 3783.511 = S/. 46021.32$$

**14381.6625 US\$**