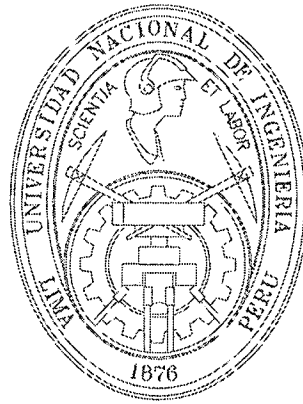


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE MECANICA**



**“MAXIMIZACIÓN DE LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE LA FLOTA
DE CAMIONES MINEROS EN MINERA BARRICK
MISQUICHILCA”**

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECANICO
JAIME POLAR PAREDES**

PROMOCION 1990-I

LIMA – PERU

2005

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

INDICE GENERAL

Prologo

Resumen

CAPITULO 1 : MARCO GENERAL DE LA EMPRESA

- 1.1. Reseña histórica
- 1.2. Información general
- 1.3. Proceso productivo
- 1.4. Organización de la empresa

CAPITULO 2 : MARCO TEORICO

- 2.1. Mejoramiento continuo
- 2.2. Mantenimiento productivo total (TPM)
- 2.3. Efectividad global de equipos (OEE)
- 2.4. Herramientas de manufactura esbelta (Lean tools)

CAPITULO 3 : DIAGNOSTICO DE LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE LA FLOTA

- 3.1. Pérdidas que afectan la disponibilidad mecánica
- 3.2. Pérdidas que afectan la utilización operativa
- 3.3. Pérdidas que afectan el rendimiento de los equipos
- 3.4. Evaluación de la efectividad global de la flota
- 3.5. Cuantificación de las pérdidas
- 3.6. Determinación de las metas
- 3.7. Identificación y análisis de las causas que originan las pérdidas

CAPITULO 4 : ESTRATEGIAS PARA MAXIMIZAR LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE LA FLOTA

- 4.1. Identificación y análisis de las estrategias para minimizar pérdidas
- 4.2. Evaluación y selección de las estrategias a implementar

4.3. Implementación de las estrategias seleccionadas

4.4. Control y seguimiento de las estrategias implementadas

CAPITULO 5 : EVALUACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Disponibilidad mecánica

5.2. Utilización operativa

5.3. Rendimiento de los equipos

5.4. Efectividad global de la flota

5.1. Producción total de la mina

5.5. Evaluación de los beneficios cuantitativos

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

PRÓLOGO

Durante los últimos 10 años de mi experiencia laboral en la industria y la minería, he observado que en general la gestión de las empresas se mide en forma aislada; por un lado mantenimiento utiliza la disponibilidad mecánica como indicador principal, producción usa el índice de utilización de los equipos, y casi nunca se mide la calidad de uso de los equipos que tienen bajo su responsabilidad, así un equipo puede estar trabajando al 50% de su capacidad y los indicadores antes mencionados no se ven afectados. Esta visión aislada en muchos casos hace creer que la gestión es buena o excelente, pero en la realidad normalmente es deficiente. Para ilustrar esto, tomé un ejemplo de una empresa cuya disponibilidad mecánica era 94%, su utilización 95%, evidentemente estos valores vistos aisladamente eran muy buenos y se consideraban una empresa de clase mundial, pero cuando evaluamos el rendimiento de los equipos con los que trabajaban como máximo alcanzaban valores de 60%, finalmente cuando calculamos la efectividad global de sus equipos de trabajo (OEE) encontramos que era de sólo $0.94 \cdot 0.95 \cdot 0.60 = 0.53$, es decir, esta empresa estaba muy lejos de ser considerada como una empresa de clase mundial que alcanzan valores de OEE mayores a 85%.

Cuando en Minera Barrick Misquichilca se plantea esto, automáticamente la Gerencia General aceptó el reto e impulsa un programa agresivo para mejorar la efectividad global de la flota de camiones mineros y de su planta de chancado, como parte de este programa tuve la oportunidad de ser especializado en la filosofía y herramientas de mejoramiento continuo y Mantenimiento Productivo Total (TPM) con cursos y visitas a empresas de clase mundial en Canadá y EEUU. Todos los conocimientos adquiridos fueron aplicados en Minera Barrick con mucho éxito y con resultados realmente sorprendentes.

En la presente tesis he plasmado la metodología, herramientas y algunos conceptos que deben ser aplicados por cualquier empresa que quiera lograr altos niveles de productividad, y tengo la esperanza que en el futuro con muchas empresas muy productivas, nuestro país dejará de ser considera un país de tercer mundo.

RESUMEN

La maximización de la efectividad global de la flota (OEE) de camiones mineros en Pierina, constituye un factor estratégico en el desarrollo de sus operaciones, ya que la evolución positiva o negativa de este indicador, determinará el futuro plan de inversiones en activos, el nivel de los costos operativos y administrativos de la empresa. Igualmente establece una nueva cultura de trabajo conjunto entre producción y mantenimiento que ha logrado posicionar a Pierina como la mina de mayor productividad de la corporación Barrick y una de las mejores del mundo.

El capítulo 1 – Marco general de la empresa.- El primer capítulo presenta a la Corporación Barrick describiendo en forma resumida sus inicios, crecimiento y su consolidación como el segundo productor mundial de oro, luego introduce a la mina Pierina como uno de las minas más importantes de nuestro país. Se detalla el proceso productivo de la mina de tajo abierto en todas sus etapas, la organización de la empresa e información relevante de Minera Barrick Misquichilca.

El capítulo 2 – Marco teórico.- Este capítulo introduce la filosofía y los conceptos de mejoramiento continuo, en forma especial desarrolla el método y las herramientas para la resolución de problemas que aplican los equipos de mejora continua. Igualmente, se describe la filosofía de Mantenimiento Productivo Total (TPM) y en forma muy especial el concepto de la efectividad global de los equipos (OEE) que constituye el motivo de la presente tesis. Se termina el capítulo con un resumen de las denominadas herramientas de manufactura esbelta que

incluyen el enfoque de las 5S (técnicas para mejorar la productividad en base el orden y limpieza en el trabajo) y técnicas SMED (sistema de cambios rápidos) desarrollado por Toyota Motors.

El capítulo 3 – Diagnóstico de la efectividad global de la flota.- El tercer capítulo se inicia con el análisis de las pérdidas que afectan la efectividad global de la flota de camiones 785, el análisis se divide en tres partes; en primer término se identifican y cuantifican las pérdidas que afectan la disponibilidad mecánica, en segundo término las que afectan la utilización operativa y en tercer término los que afectan el rendimiento de los equipos. Luego se procede a evaluar el indicador denominado efectividad global de la flota (OEE) como el producto de la disponibilidad, utilización y rendimiento de la flota de camiones, cuyo resultado constituye la línea base para fijar las metas de la presente tesis que se enfoca a eliminar o minimizar las pérdidas de producción y dinero como consecuencia de un OEE muy bajo. Se culmina con la presentación de la técnica denominada tormenta de ideas utilizada para identificar las posibles causas del problema, diagrama de causa efecto (diagrama Ishikawa) para identificar las causas raíces del problema y diagrama de Pareto para priorizar en orden de importancia las causas raíces identificadas.

El capítulo 4 – Estrategias para maximizar la efectividad global de la flota.- Tomando como base las causas raíces identificadas y priorizadas en el capítulo anterior, a continuación se describe el proceso de identificación, evaluación y selección de las estrategias o soluciones que se aplicarán para eliminar o minimizar las pérdidas que generan el problema. Se describe en forma detallada cada una de las propuestas de mejora implementadas, adjuntado gráficos, fotos y diagramas como soporte. Igualmente se evalúa individualmente el impacto positivo de cada una de las acciones de mejora sobre la efectividad global de la flota de camiones mineros 785.

El capítulo 5 – Evaluación de resultados.- En este último capítulo se presentan los resultados globales obtenidos como producto de las acciones de mejora implementadas, se muestra y analiza la evolución positiva de la disponibilidad mecánica, utilización operativa, el

rendimiento y la efectividad global de la flota de camiones 785. De igual manera, se cuantifica el impacto positivo de las mejoras tanto en la producción y los costos de la mina Pierina.

Conclusiones.- Se concluye la tesis puntualizando los aspectos más importantes, las lecciones aprendidas y se resalta la importancia de aplicar filosofía de mejora continua en la minería nacional como factor estratégico para desarrollarla y lograr que el peru sea considerado como un país minero de clase mundial.

CAPITULO 1

MARCO GENERAL DE LA EMPRESA

1.1. Reseña histórica

Barrick Gold Corporation, fue fundada en 1983 por Peter Munk y Robert M. Smith, en dicha sociedad Peter Munk se encargó de desarrollar la visión de la empresa, mientras que Roberth Smith lideró el equipo técnico que se encargó de transformar dicha visión en una realidad próspera para Barrick. Posteriormente y bajo el liderazgo de Robert Smith designado como COO (Chief Operating Officer) de la compañía, se alcanza un crecimiento impresionante, pasando de una producción anual de 56,000 onzas de oro en 1984 a más de 3 millones de onzas en 1996, teniendo como base del crecimiento a las minas Betze-Post and Meikle en la famosa propiedad de Gold Strike en el estado de Nevada (U.S.A.). En la actualidad, Barrick se constituye como una de las empresa mineras más grandes del mundo, con una producción anual de 5.7 millones de onzas de oro y con reservas aproximadas de 86.9 millones de onzas, posee minas y proyectos de desarrollo en Estados Unidos de América, Tanzania, Chile, Argentina, Australia, Canadá y Perú.

La presencia de Barrick en nuestro país se remonta a 1993, año en que la compañía decidió expandir sus operaciones en América del Sur. En 1996, adquiere a la empresa Arequipa Resources Ltd., gracias a la cual obtuvo más de 40 propiedades que incluían el yacimiento Pierina. Las labores de exploración subsiguientes se encargaron de ratificar a Pierina como una de los yacimientos más grandes del país. La construcción de la mina fue terminada en tiempo récord —sólo dos años— y supuso un aporte de capital aproximado de US\$ 260 millones. En el desarrollo de Pierina, Barrick no escatimó esfuerzos para lograr que esta mina se

constituya en un modelo internacional de eficiencia operativa, seguridad y respeto por el medio ambiente. Pierina inicia su producción en noviembre de 1998 y hasta el 2003, ha producido mas de 4.5 millones de onzas de oro, y se espera una producción de mas de 600,000 onzas adicionales en el 2004. Consistente con su compromiso de desarrollar la minería en nuestro país, Barrick se adjudica en Enero del 2001 la buena pro del Proyecto Alto Chicama. Luego de realizar un agresivo programa de exploraciones, se confirma reservas de oro superiores a los 7.3 millones de onzas y se constituye como la segunda mina más grande del Perú. Para el desarrollo del proyecto se estima una inversión aproximada de 370 millones de dólares con una producción anual de 500,000 onzas a partir del 2005.

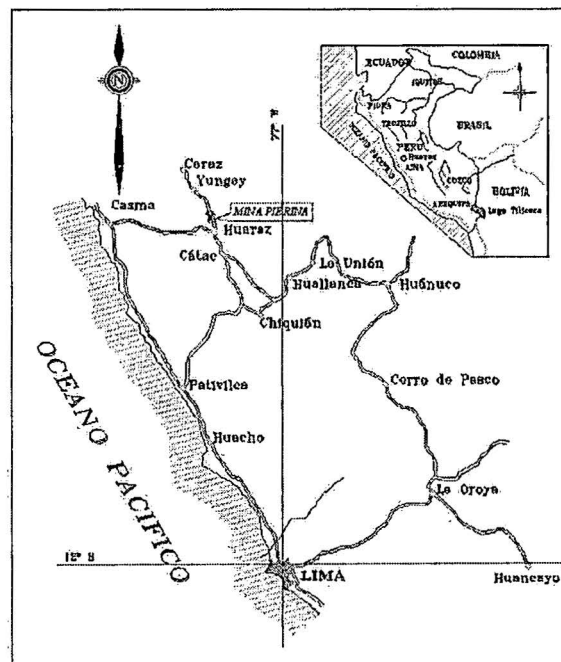
1.2. Información general

1.2.1. Ubicación

Pierina se encuentra en la Cordillera Negra en la parte nor-central del Perú, ubicado en el distrito de Taricá, Provincia de Huaraz y Departamento de Ancash, a una altitud comprendida entre los 3850 y los 4100 msnm., sus coordenadas geográficas son:

- Latitud 9°26.5'00" S
- Longitud 77°35'00" W

El clima es variable pasando de templado a frígido con facilidad. La



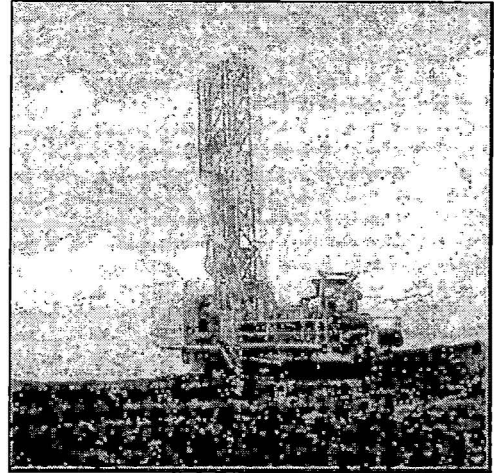
temperatura varía entre 18°C en el día a 0°C o bajo cero en las noches, también es propio de la zona las precipitaciones pluviales y el granizo. El acceso desde Lima se da por la ruta Lima – Pativilca – Huaraz – Pierina con una distancia aproximada de 300 Km.

1.2.2. Proceso productivo

La operación de la mina Pierina a tajo abierto comprende las siguientes operaciones unitarias:

- **Perforación.-** La perforación de los taladros de voladura se realiza con perforadoras Ingersol

Rand DMM2 utilizando brocas tricónicas de 25 cm. y 20 cm. de diámetro. La capacidad de perforación es de 4 a 8 taladros por hora dependiendo de la dureza de la roca. La altura de los bancos en la mina es de 10 metros, por lo que las perforadoras deben perforar taladros de 10.5 metros considerando una sobre perforación de 0.5 metros. Las mallas utilizadas en Pierina son



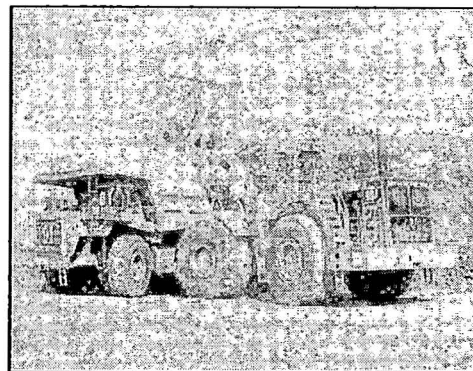
triangulares de 8x8 metros en zonas de desmonte y triangulares de 6.5x6.5 metros en zonas de mineral.

- **Voladura.-** Para el proceso de voladura se utiliza un explosivo denominado "anfo", el mismo que se carga en los agujeros perforados con la ayuda de un camión especializado para este efecto: cuando se presentan zonas con agua se utiliza anfo con mangas de polietileno o emulsiones (Emulgran). Para el control de las paredes del tajo se utiliza la técnica de voladura de recorte (trim blasting). El concepto básico es que mientras menores sean las vibraciones, menor será el daño provocado a las paredes, por ello la voladura de recorte se realiza una vez que se ha minado todo el

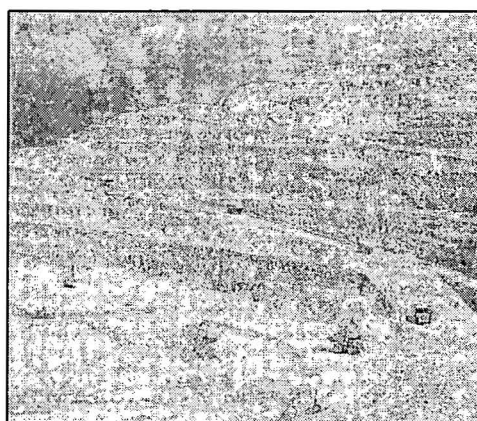


materia para garantizar una cara libre cercana a la pared del banco por donde la mayoría de la energía es liberada.

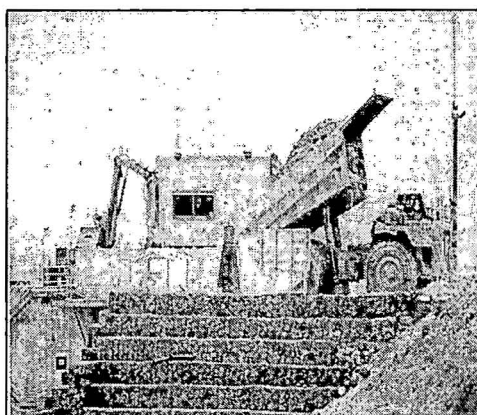
- **Carguío .-** El carguío es realizado mediante 4 cargadores frontales, 2 de 20m³ y 2 de 12m³ de capacidad en el cucharón, normalmente se ubican en frentes de minado según sea la necesidad del material a minar, el material ya cargado es transportado a los diferentes destinos asignados por el sistema de despacho denominado "dispatch".



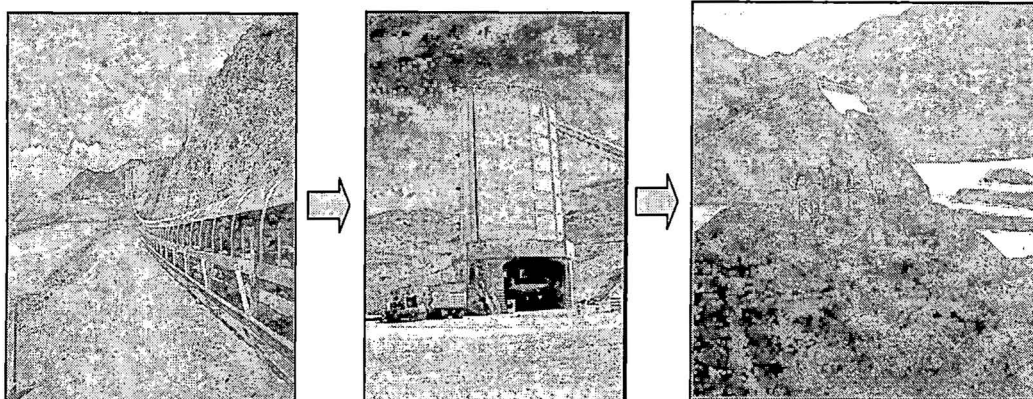
- **Acarreo.-** El acarreo de material se realiza con una flota total de 13 camiones 785C con capacidad de 153 toneladas, 11 de los cuales se utilizan en el tajo para acarrear desmonte hacia los botaderos y mineral hacia la chancadora, el restante se utilizan en la tolva de mineral para su transporte hacia las pilas de lixiviación.



- **Descarga y chancado de mineral.-** El mineral transportado es descargado en el sistema de chancadoras que esta compuesta por una chancadora primaria con capacidad para procesar 2800 ton/hora y 2 chancadoras secundarias con 1400 ton/hora de capacidad. El tamaño final que se obtiene del sistema de chancado es 3.9 cm.

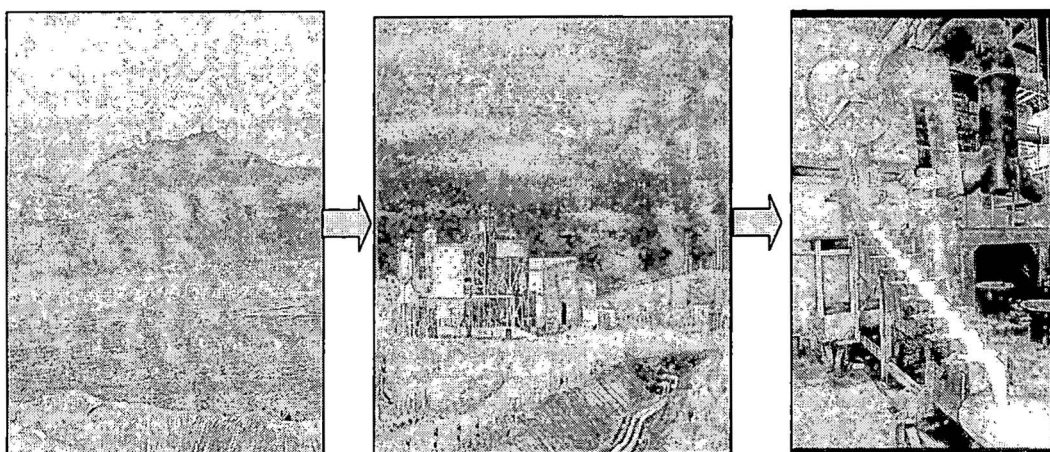


- **Transporte de mineral.-** Luego del chancado el mineral es transportado por un sistema de fajas de una longitud total de 2.4 Km. y una capacidad de 2400 t/h; posteriormente el mineral



es transportado es descargado a una tolva de almacenamiento conocido como ore bin de 3000 toneladas de capacidad. De esta tolva el mineral nuevamente es descargado en camiones para finalmente ser trasladados y descargados en las pilas de lixiviación.

- **Procesamiento del mineral.-** El mineral acumulado en las pilas de lixiviación es tratado mediante la aspersion de una solución diluida de cianuro de sodio, esta solución cianurada hace contacto con el oro y la plata disolviéndolas, producto de esta disolución se genera una solución rica en oro y plata que pasa por un proceso conocido como Merrill Crowe, con el que se consigue precipitar el oro y la plata utilizando polvo de zinc, este precipitado es retenido en filtros prensa, para finalmente ser fundido y obtener el producto final denominado como "dore", es decir, lingotes de 20 kilos conteniendo 80% de plata y 20% de oro.



1.2.3. Relación con las comunidades

Minera Barrick Misquichilca comparte con las comunidades de su entorno la misma preocupación por alcanzar el desarrollo sostenible en sus tres dimensiones: social, económica y ambiental en forma equilibrada. La responsabilidad social de la empresa es entendida como una propuesta voluntaria que va más allá de las obligaciones legales

proponiendo que las comunidades en forma participativa involucren a otras instituciones en proyectos sociales sostenibles para su propio beneficio. La propuesta de responsabilidad social, utiliza como herramienta participativa la inversión



social, entendida como la acción destinada a conseguir el desarrollo sostenible.

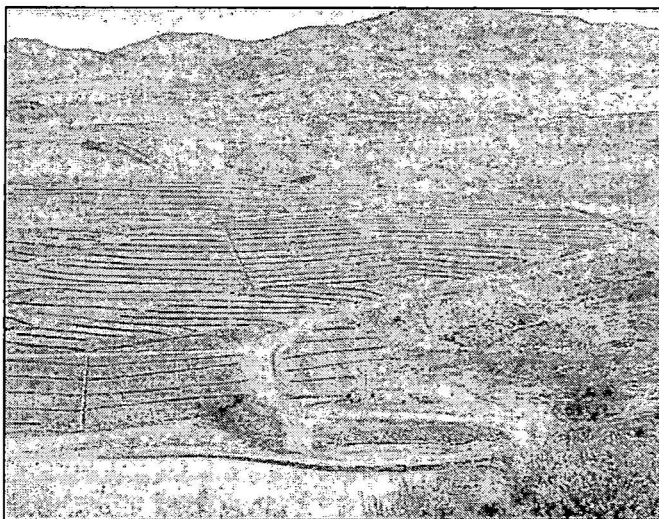
Minera Barrick Misquichilca realiza, en esta perspectiva, grandes esfuerzos para posicionarse como ciudadano corporativo responsable y promotor del desarrollo comunitario. La estrategia parte de la identificación de áreas que puedan aumentar los beneficios reales a las comunidades, maximizando las oportunidades de empleo y manteniendo un diálogo permanente, así como creando pequeñas y medianas empresas, capacitando permanentemente a los pobladores y potenciando el desarrollo agrícola sostenible. Se trabaja con las comunidades en proyectos sostenibles bajo una triple línea de acción: Beneficio Social, Económicamente Viable y Socialmente Responsable. Asimismo, se apoya iniciativas y prácticas en educación, asistencia social, salud comunal y desarrollo técnico.

1.2.4. Cuidado del Medio Ambiente

La protección ambiental es una de las principales preocupaciones de Minera Barrick Misquichilca, que formuló el correspondiente estudio de impacto ambiental antes de

iniciar sus operaciones. Además, viene aplicando un plan de manejo ambiental que considera no sólo la capacitación a todo el personal de Pierina sino también a los contratistas, programa que incluye el manejo de desechos de diferentes tipos, el control de la erosión y el monitoreo constante del suelo, aire y agua.

La mina Pierina está sujeta a una permanente auditoría de la autoridad del Ministerio de Energía y Minas, así como auditorías corporativas para el control del manejo ambiental. Desde el inicio de las operaciones viene trabajando el plan de cierre recuperando áreas impactadas,



revegetando y reforestando, para cuyo efecto se cuenta con un vivero donde se reproducen diferentes especies nativas y foráneas que permiten la recuperación del terreno y se cuidan especies de la flora andina en peligro de extinción. Pierina, asimismo cuenta con un plan de respuesta ante emergencias ambientales, el mismo que es difundido en todos los niveles de la empresa y que permite tomar acciones oportunas contando con el equipo y personal adecuados.

1.2.5. Organización de la empresa

Barrick Gold Corporation es una empresa transnacional de accionariado difundido con sede en Toronto Canadá, cuyas acciones se cotizan en las principales bolsas de valores del mundo (New York, Londres, Toronto, etc.) y posee 13 minas que se explotan en America, Africa y Australia.

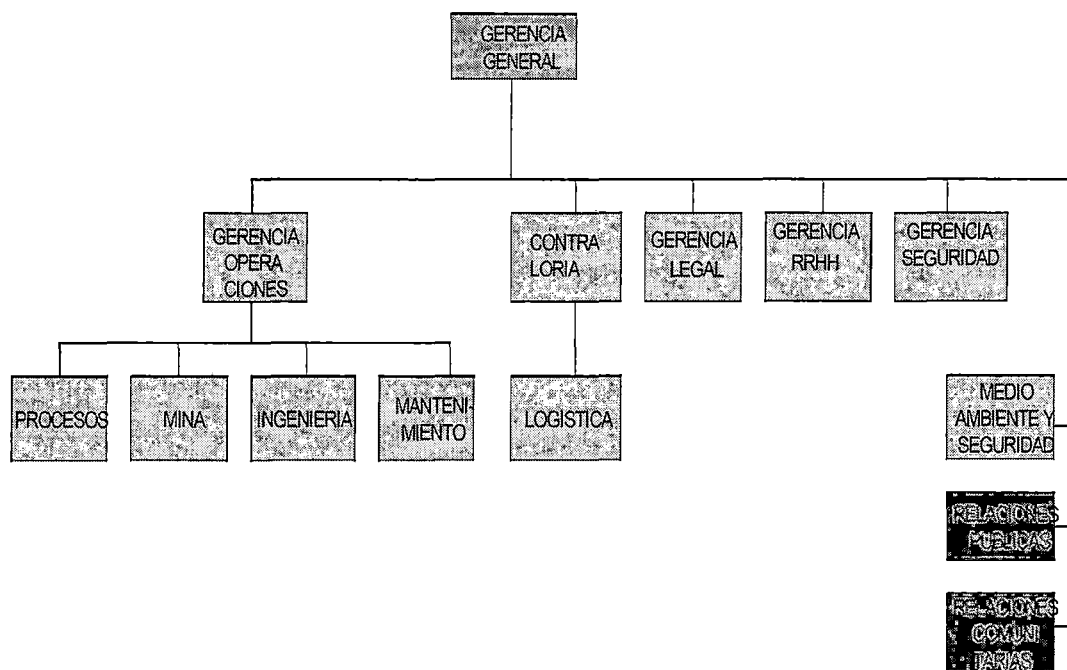
La organización de Minera Barrick Misquichilca en Perú tiene su sede administrativa en Lima, operaciones en los centros mineros y exploraciones en varias zonas del país. Para el desarrollo de sus actividades se cuenta con un total de aproximadamente 530 empleados distribuidos de la siguiente forma:

- Lima = 80

- Huaraz = 381
- Alto Chicama = 69

La organización para Pierina se representa en el siguiente organigrama funcional:

Gráfico 1.1. Organigrama general de Minera Barrick Misquichilca



Fuente : Información interna Minera Barrick Misquichilca

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Mejoramiento continuo

Los japoneses tienen una palabra para el mejoramiento continuo que denominan Kaizen. Es un principio, una manera de vivir, que abarca todas las actividades en la empresa, se ha dicho que la estrategia kaizen es el concepto más importante en la administración japonesa y la clave de su éxito competitivo de Japón. El principio kaizen, es el mejoramiento en todas las áreas de una empresa incluyendo: costos, tiempos de entrega, seguridad, aumento de conocimientos del empleado, relaciones con los proveedores, creación de nuevos productos y productividad. Así cualquier actividad cuyo objeto sea el mejoramiento queda bajo la sombrilla del kaizen.

El mejoramiento continuo se concentra en mejoras pequeñas, frecuentes y graduales en un lapso prolongado y con muy poca inversión de capital. La mejora continua es un modo de pensar orientado al proceso y no un método orientado a los resultados. Requiere la participación de todo el personal, muchas mejoras son el resultado de conocimiento y experiencia de los trabajadores de base, el personal y no las tecnologías son lo más importante.

El fundamento del mejoramiento continuo en la filosofía kaizen es el empleo de un método para la resolución de problemas y el uso de herramientas estadísticas que se describen a continuación:

2.1.1. Método para la solución de problemas

En la solución de problemas, los equipos de mejora continua identifican, analizan y resuelven problemas con un método estructurado y ordenado, dicho método consta de 6 pasos y varias actividades:

Paso 1. Selección del problema .- Este paso tiene como objetivo la identificación y selección de los problemas de calidad y productividad del departamento o unidad bajo análisis, y comprende el desarrollo de las siguientes actividades:

- Aclarar los conceptos de calidad y productividad en el grupo.
- Elaborar el diagrama de caracterización del área en estudio, en términos generales: clientes, productos y servicios, atributos de los mismos, principales procesos e insumos utilizados.
- Definir en qué consiste un problema de calidad y productividad como desviación de una norma: deber ser, estado deseado, requerido o exigido.
- Listar en el grupo los problemas de calidad y productividad en la unidad de análisis (aplicar tormenta de ideas).
- Preseleccionar las oportunidades de mejora, aplicando técnica de grupo nominal o multivotación.
- Seleccionar de la lista anterior las oportunidades de mejora que mayor impacto tienen en los resultados de la empresa.

Paso 2. Cuantificación y entendimiento del problema .- En este paso se precisa mejor la definición del problema, su cuantificación y la posible subdivisión en subproblemas o causas. Se trata de afinar el análisis del problema realizando las siguientes actividades:

- Establecer el o los tipos de indicadores que darán cuenta o reflejen el problema y, a través de ellos, verificar si la definición del problema guarda o no coherencia con los mismos, en caso negativo debe redefinirse el problema o los indicadores.
- Estratificar y/o subdividir el problema en sus causas-síntomas.
- Cuantificar el impacto de cada subdivisión y darle prioridad utilizando la matriz de selección de causas y el gráfico de Pareto, para seleccionar el (los) estrato(s) o subproblema(s) a analizar.

- Sólo en casos extremos a falta de datos o medios ágiles para recogerlos se podrá utilizar, para avanzar, una técnica de jerarquización cualitativa como la técnica de grupo nominal, con un grupo conocedor del problema.

Paso 3. Análisis de causas raíces .- El objetivo de este paso es identificar y verificar las causas raíces específicas del problema en cuestión, aquellas cuya eliminación garantizará la no recurrencia del mismo. Por supuesto, la especificación de las causas raíces dependerá de lo bien que haya sido realizado el paso anterior. Para dicho efecto se deberán realizar las siguientes actividades:

- Para cada subdivisión del problema seleccionado, listar las causas de su ocurrencia aplicando la tormenta de ideas
- Agrupar las causas listadas según su afinidad (dibujar diagrama causa-efecto). Si el problema ha sido suficientemente subdividido puede utilizarse la sub agrupación en base de las 4M o 6M (material, machine, man, method, moral, management), ya que estas últimas serán lo suficientemente específicas.
- Cuantificar las causas para verificar su impacto y relación con el problema, jerarquizar y seleccionar las causas raíces más relevantes. En esta actividad pueden ser utilizados los diagramas de dispersión, gráficos de Pareto, matriz de selección de causas.
- Durante el análisis surgirán los llamados problemas de solución obvia que no requieren mayor verificación y análisis para su solución, por lo que los mismos deben ser enfrentados sobre la marcha.

Paso 4. Diseño y programación de soluciones.- En una organización donde no ha habido un proceso de mejoramiento sistemático y donde las acciones de mantenimiento y control dejan mucho que desear, las soluciones tienden a ser obvias y a referirse al desarrollo de acciones de este tipo; sin embargo, en procesos más avanzados las soluciones no son tan obvias y requieren, según el nivel de complejidad, un enfoque creativo en su diseño. En todo caso, cuando la identificación de causas ha sido bien desarrollada, las soluciones hasta para los problemas inicialmente complejos aparecen como obvias. Para asegurar que las soluciones eliminen las causas raíces, es necesario desarrollar las siguientes actividades:

- Para cada causa raíz seleccionada debe listarse las posibles soluciones excluyentes (tormenta de ideas). En caso de surgir muchas alternativas excluyentes antes de realizar comparaciones más rigurosas sobre la base de factibilidad, impacto, costo, etc., lo cual implica cierto nivel de estudio y diseño básico, la lista puede ser jerarquizada (para descartar algunas alternativas) a través de una técnica de consenso y votación como la Técnica de Grupo Nominal (TGN).
- Analizar, comparar y seleccionar las soluciones alternativas resultantes de la TGN, para ello conviene utilizar múltiples criterios como los señalados arriba: factibilidad, costo, impacto, responsabilidad, facilidad, etc.
- Programar la implantación de la solución definiendo con detalle las **5W-H** (*what, why, when, where, who, and how*) del plan, es decir, el qué, por qué, cuándo, dónde, quién y cómo.
- No debe descartarse a priori ninguna solución por descabellada o ingenua que parezca, a veces detrás de estas ideas se esconde una solución brillante o parte de la solución.
- Para que el proceso de implantación sea exitoso, es recomendable evitar implantarlo todo a la vez (a menos que sea obvia e inmediata la solución) y hacer énfasis en la programación, en el quién y cuándo.
- A veces, durante el diseño de soluciones, se encuentran nuevas causas o se verifica lo errático de algunos análisis. Esto no debe preocupar, ya que es parte del proceso aprender a conocer a fondo el sistema sobre o en el cual se trabaja.

Paso 5. Implantación de soluciones .- Se busca probar la efectividad de la(s) solución(es) y hacer los ajustes necesarios para llegar a una definitiva y asegurarse que las soluciones sean asimiladas e implementadas adecuadamente por la organización en el trabajo diario. Incluye las siguientes actividades:

- Las acciones a realizar en esta etapa estarán determinadas por el programa de trabajo; sin embargo, además de la implantación en sí misma, es clave durante este paso el seguimiento, por parte del equipo, de la ejecución y de los reajustes que se vaya determinando necesarios sobre la marcha.
- Verificar los valores que alcanzan los indicadores de desempeño seleccionados para evaluar el impacto, utilizando gráficas de corrida, histogramas y gráficas de Pareto.

- Una vez establecido el programa de acciones de mejora con la identificación de responsabilidades y tiempos de ejecución, es recomendable presentar el mismo al nivel jerárquico superior de la unidad o grupo de mejora, a objeto de lograr su aprobación, colaboración e involucramiento.
- A veces es conveniente iniciar la implementación con una experiencia piloto que sirva como prueba de campo de la solución propuesta, ello nos permitirá hacer una evaluación inicial de la solución tanto a nivel de proceso (métodos, secuencias, participantes) como de resultados.
- A este nivel, el proceso de mejoramiento ya implementado comienza a recibir los beneficios de la retroalimentación de la información, la cual va a generar ajustes y replanteamientos de las primeras etapas del proceso de mejoramiento.

Paso 6. Establecimiento de acciones de garantía.- El objetivo de este paso es asegurar el mantenimiento del nuevo nivel de desempeño alcanzado. Es este un paso fundamental al cual pocas veces se le presta la debida atención. De él dependerá la estabilidad en los resultados y la acumulación de aprendizaje para profundizar el proceso. En este paso deben quedar asignadas las responsabilidades de seguimiento permanente y determinarse la frecuencia y distribución de los reportes de desempeño. Es necesario diseñar acciones de garantía contra el retroceso en los resultados, las cuales serán útiles para llevar adelante las acciones de mantenimiento. En términos generales éstas son:

- Normalización de procedimientos, métodos o prácticas operativas.
- Entrenamiento y desarrollo del personal en las normas y prácticas implantadas.
- Incorporación de los nuevos niveles de desempeño, al proceso de control de gestión de la unidad.
- Documentación y difusión de la historia del proceso de mejoramiento.
- Esta última actividad es de gran importancia para reforzar y reconocer los esfuerzos y logros alcanzados e iniciar un nuevo ciclo de mejoramiento.
- Es en este paso donde se ve con más claridad la importancia en el uso de las gráficas de control, las nociones de variación y desviación y de proceso estable, ya que, para **garantizar** el desempeño, dichos conceptos y herramientas son de gran utilidad.

2.1.2. Herramientas para la solución de problemas

Para resolver problemas o variaciones y mejorar la calidad, es necesario basarse en hechos y no dejarse guiar solamente por el sentido común, la experiencia o la audacia. Además, es necesario aplicar un conjunto de herramientas estadísticas siguiendo un procedimiento sistemático y estandarizado de solución de problemas que pueden ser capaces de resolver hasta el 95% de los problemas existentes en las organizaciones. Existen Siete Herramientas Básicas que han sido ampliamente adoptadas en las actividades de mejora de una organización y son las siguientes:

- a. Hoja de verificación
- b. Diagrama de Pareto
- c. Diagrama de causa efecto
- d. Estratificación
- e. Diagrama de dispersión
- f. Histograma
- g. Gráficos de control

En la práctica estas herramientas requieren ser complementadas con otras técnicas cualitativas:

- h. Diagrama de Flujo
- i. Tormenta de ideas (Brainstorming)
- j. Diagrama de afinidad
- k. Técnica Nominal de Grupo (Nominal Group Technique).

Las mismas que se describen en forma resumida:

a.- Hoja de verificación.- Una Hoja de Verificación (también llamada "de Control" o "de Chequeo") es un impreso con formato de tabla o diagrama, destinado a registrar y compilar datos mediante un método sencillo y sistemático, como la anotación de marcas asociadas a la ocurrencia de determinados sucesos. Esta técnica de recopilación de datos se prepara para que su uso sea fácil e interfiera lo menos posible con la actividad de quien realiza el registro.

Ventajas:

- Supone un método que proporciona datos fáciles de comprender y que son obtenidos mediante un proceso simple y eficiente que puede ser aplicado a cualquier área de la organización.
- Las Hojas de Verificación reflejan rápidamente las tendencias y patrones subyacentes en los datos.

Utilidades:

- En la mejora de la Calidad, se utiliza tanto en el estudio de los síntomas de un problema, como en la investigación de las causas o en la recopilación y análisis de datos para probar alguna hipótesis.
- También se usa como punto de partida para la elaboración de otras herramientas, como por ejemplo los Gráficos de Control.

b.- Diagrama de Pareto .- El Diagrama de Pareto constituye un sencillo y gráfico método de análisis que permite discriminar entre las causas más importantes de un problema (los pocos y vitales) y las que lo son menos (los muchos y triviales)

Ventajas:

- Ayuda a concentrarse en las causas que tendrán mayor impacto en caso de ser resueltas.
- Proporciona una visión simple y rápida de la importancia relativa de los problemas.
- Ayuda a evitar que se empeoren algunas causas al tratar de solucionar otras.
- Su formato altamente visible proporciona un incentivo para seguir luchando por más mejoras.

Utilidades:

- Determinar cuál es la causa clave de un problema, separándola de otras causas menos importantes.
- Contrastar la efectividad de las mejoras obtenidas, comparando sucesivos diagramas obtenidos en momentos diferentes.
- Pueden ser asimismo utilizados tanto para investigar efectos como causas.
- Comunicar fácilmente a otros miembros de la organización las conclusiones sobre causas, efectos y costes de los errores.

c.- Diagrama de causa - efecto.- El diagrama de Ishikawa, o Diagrama Causa - Efecto, es una herramienta que ayuda a identificar, clasificar y poner de manifiesto posibles causas, tanto de problemas específicos como de características de calidad. Ilustra gráficamente las relaciones existentes entre un resultado dado (efectos) y los factores (causas) que influyen en ese resultado.

Ventajas:

- Permite que el grupo se concentre en el contenido del problema, no en la historia del problema ni en los distintos intereses personales de los integrantes del equipo.
- Ayuda a determinar las causas principales de un problema, o las causas de las características de calidad, utilizando para ello un enfoque estructurado.
- Estimula la participación de los miembros del grupo de trabajo, permitiendo así aprovechar mejor el conocimiento que cada uno de ellos tiene sobre el proceso.
- Incrementa el grado de conocimiento sobre un proceso.

Utilidades:

- Identificar las causas - raíz, o causas principales, de un problema o efecto.
- Clasificar y relacionar las interacciones entre factores que están afectando al resultado de un proceso.

d.- Estratificación.- Es un método consistente en clasificar los datos disponibles por grupos con similares características, a cada grupo se le denomina estrato. Los estratos a definir lo serán en función de la situación particular de que se trate, pudiendo establecerse estratificaciones atendiendo a:

- Personal
- Materiales
- Maquinaria y equipo
- Áreas de gestión
- Tiempo
- Entorno
- Localización geográfica
- Otros

Ventajas:

Es muy completa para la calidad de la empresa.

Utilidades:

- Permite aislar la causa de un problema, identificando el grado de influencia de ciertos factores en el resultado de un proceso .
- La estratificación puede apoyarse y servir de base en distintas herramientas de calidad, si bien el histograma es el modo más habitual de presentarla.

e.- Diagrama de dispersión.- A veces interesa saber si existe algún tipo de relación entre dos variables. Por ejemplo, puede ocurrir que dos variables estén relacionadas de manera que al aumentar el valor de una, se incremente el de la otra, en este caso hablaríamos de la existencia de una correlación positiva. También podría ocurrir que al producirse una en un sentido, la otra derive en el sentido contrario, se estaría ante una correlación negativa. Si los valores de ambas variable se revelan independientes entre sí, se afirmaría que no existe correlación.

Ventajas:

- Se trata de una herramienta especialmente útil para estudiar e identificar las posibles relaciones entre los cambios observados en dos conjuntos diferentes de variables.
- Suministra los datos para confirmar hipótesis acerca de si dos variables están relacionadas.
- Proporciona un medio visual para probar la fuerza de una posible relación.

f.- Histograma .- Un histograma es un gráfico de barras verticales que representa la distribución de un conjunto de datos.

Ventajas:

- Su construcción ayudará a comprender la tendencia central, dispersión y frecuencias relativas de los distintos valores.
- Muestra grandes cantidades de datos dando una visión clara y sencilla de su distribución.

Utilidades:

- El Histograma es especialmente útil cuando se tiene un amplio número de datos que es preciso organizar, para analizar más detalladamente o tomar decisiones sobre la base de

ellos. Es un medio eficaz para transmitir a otras personas información sobre un proceso de forma precisa y legible.

- Permite la comparación de los resultados de un proceso con las especificaciones previamente establecidas para el mismo. En este caso, mediante el Histograma puede determinarse en qué grado el proceso está produciendo buenos resultados y hasta qué punto existen desviaciones respecto a los límites fijados en las especificaciones.
- Proporciona, mediante el estudio de la distribución de los datos, un excelente punto de partida para generar hipótesis acerca de un funcionamiento insatisfactorio.

g.- Gráficos de control.- Un gráfico de control es una herramienta estadística utilizada para evaluar la estabilidad de un proceso. Todo proceso tendrá variaciones, pudiendo estas agruparse en:

- Causas aleatorias de variación. Son causas desconocidas y con poca significación, debidas al azar y presentes en todo proceso, de difícil identificación y eliminación.
- Causas específicas (imputables o asignables). Normalmente no deben estar presentes en el proceso. Provocan variaciones significativas. Sí pueden ser descubiertas y eliminadas.

Existen diferentes tipos de gráficos de control:

- De datos por variables. Que a su vez pueden ser de media y rango, mediana y rango, y valores medidos individuales.
- De datos por atributos. Del estilo aceptable / inaceptable, sí / no.

Ventajas:

- Permite distinguir entre causas aleatorias y específicas de variación de los procesos, como guía de actuación de la dirección.
- Los gráficos de control son útiles para vigilar la variación de un proceso en el tiempo, probar la efectividad de las acciones de mejora emprendidas, así como para estimar la capacidad del proceso.

Utilidades:

Ayudan a la mejora de procesos, de forma que se comporten de manera uniforme y previsible para una mayor calidad, menores costes y mayor eficacia.

Proporcionan un lenguaje común para el análisis del rendimiento del proceso.

h. Diagrama de Flujo.- Es un diagrama que utiliza símbolos gráficos para representar el flujo y las fases de un proceso. Está especialmente indicado al inicio de un plan de mejora de procesos, al ayudar a comprender cómo éstos se desenvuelven. Es básico en la gestión de los procesos.

Ventajas:

- Facilita la comprensión del proceso, al mismo tiempo, promueve el acuerdo, entre los miembros del equipo, sobre la naturaleza y desarrollo del proceso analizado.
- Supone una herramienta fundamental para obtener mejoras mediante el rediseño del proceso, o el diseño de uno alternativo.
- Identifica problemas, oportunidades de mejora y puntos de ruptura del proceso.
- Pone de manifiesto las relaciones proveedor - cliente, sean éstos internos o externos.

i.- Tormenta de ideas (Brainstorming).- La tormenta de ideas (Brainstorming) es una manera simple de generar múltiples ideas dentro de un equipo de trabajo, con el objeto de identificar las soluciones (o alternativas) a un determinado problema (o tema). Una sesión de tormenta de ideas se desarrolla de la siguiente forma:

- Se acuerda el objeto de la reunión de tormenta de ideas y se pone a la vista de todos los participantes.
- El líder o facilitador de la reunión pide que se expresen todas las ideas posibles relacionadas con el tema;
- Cada idea es anotada sin ser analizada, discutida o criticada;
- Se sigue el proceso hasta agotar las posibles ideas.

A continuación, se revisa la lista total de ideas de modo de asegurar su comprensión por todo el equipo, para luego ser reducidas y resumidas en grupos afines y proceder a la selección final.

La misma herramienta puede lograrse con una metodología más estructurada. Es decir, se hace una primera ronda de generación de ideas, exponiendo los participantes uno a uno por orden de ubicación su idea. Una vez completada la vuelta, se reinicia el proceso y así sucesivamente hasta completar las posibles ideas resultantes.

j.- Diagrama de Afinidad .- El Diagrama de Afinidad, es una herramienta que sintetiza un conjunto de datos verbales (ideas, opiniones, temas, expresiones, etc.) agrupándolos en función de la relación que tienen entre sí. Se basa, por tanto, en el principio de que muchos de estos datos verbales son afines por lo que pueden reunirse bajo unas pocas ideas generales. Es considerado como una clase especial de "tormenta de ideas", constituyendo, frecuentemente, esta técnica de creatividad el punto de partida para la elaboración del diagrama.

Utilidades:

- Promueve la creatividad de todos los integrantes del equipo de trabajo en todas las fases del proceso.
- Derriba barreras de comunicación y promueve conexiones no tradicionales entre ideas / asuntos.
- Promueve la "apropiación" de los resultados que emergen porque el equipo crea tanto la introducción detallada de contribuciones como los resultados generales.

Ventajas:

- Se pretende abordar un problema de manera directa.
- Se quiere organizar un conjunto amplio de datos.
- El tema sobre el que se quiere trabajar es confuso.

k.- Técnica Nominal de Grupo (Nominal Group Technique).- Es una forma particular de Tormenta de ideas, pero que se usa para evitar que determinados individuos en particular dominen y así influencien la reunión del equipo. Esto se logra haciendo que cada participante exprese su idea en forma secreta, luego el facilitador o líder de la reunión resume todas las ideas y expone al grupo las conclusiones. De ser necesario, el proceso se repite hasta obtener la convergencia necesaria de las ideas expuestas.

2.2. Mantenimiento productivo total (TPM)

Mantenimiento Productivo Total es la traducción de TPM ® (Total Productive Maintenance). El TPM es el sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto de "mantenimiento preventivo" creado en la industria de los Estados Unidos. La innovación principal del TPM, radica en que los operadores se hacen cargo del mantenimiento

básico de su propio equipo, mantienen sus máquinas en buen estado de funcionamiento y desarrollan la capacidad de detectar problemas potenciales antes de que ocasionen averías.

2.2.1. Objetivos, metas y características del TPM

Cuando una organización implanta el TPM espera lograr lo siguiente:

- **Objetivos operativos.-** El TPM tiene como propósito en las acciones cotidianas que los equipos operen sin averías y fallas, eliminar toda clase de pérdidas, mejorar la confiabilidad de los equipos y emplear verdaderamente la capacidad industrial instalada.
- **Objetivos organizativos.-** El TPM busca fortalecer el trabajo en equipo, elevar la moral en el trabajador, crear un espacio donde cada persona pueda aportar lo mejor de sí, todo esto, con el propósito de hacer del sitio de trabajo un entorno creativo, seguro, productivo y donde trabajar sea realmente grato.
- **Metas .-** El JIPM define el TPM como un sistema orientado a lograr:
 - cero accidentes.
 - cero defectos .
 - cero averías .
 - cero pérdidas.
- **Características.-** Las características más significativas del TPM son:
 - Acciones de mantenimiento en todas las etapas del ciclo de vida del equipo .
 - Participación amplia de todas las personas de la organización.
 - Es observado como una estrategia global de empresa, en lugar de un sistema para mantener equipos.
 - Orientado a la mejora de la Efectividad Global de las operaciones, en lugar de prestar atención a mantener los equipos funcionando.
 - Intervención significativa del personal involucrado en la operación y producción en el cuidado y conservación de los equipos y recursos físicos.
 - Procesos de mantenimiento fundamentados en la utilización profunda del conocimiento que el personal posee sobre los procesos.

2.2.2. Pilares del TPM

Los procesos fundamentales han sido llamados por el JIPM como "pilares". Estos pilares sirven de apoyo para la construcción de un sistema de producción ordenado. Se implantan siguiendo una metodología disciplinada, potente y efectiva. Los pilares considerados por el JIPM como necesarios para el desarrollo del TPM en una organización son:

- **Mejoras enfocadas o Kobetsu Kaizen** . - Son actividades que se desarrollan con la intervención de las diferentes áreas comprometidas en el proceso productivo, con el objeto maximizar la Efectividad Global de Equipos, procesos y plantas; todo esto a través de un trabajo organizado en equipos funcionales e inter funcionales que emplean metodología específica y centran su atención en la eliminación de las grandes pérdidas existentes en los procesos y equipos.
- **Mantenimiento Autónomo o Jishu Hozen** .- Una de las actividades del TPM es la participación del personal de producción en las actividades de mantenimiento. Este es uno de los procesos de mayor impacto en la mejora de la productividad, su propósito es involucrar al operador en el cuidado básico del equipamiento a través de un alto grado de formación y preparación profesional, respeto de las condiciones de operación, conservación de las áreas de trabajo libres de contaminación, suciedad y desorden.
- **Mantenimiento planificado o progresivo.**- El objetivo del mantenimiento planificado es el de eliminar los problemas del equipamiento a través de acciones de mejora, prevención y predicción. Para una correcta gestión de las actividades de mantenimiento es necesario contar con bases de información, obtención de conocimiento a partir de los datos, capacidad de programación de recursos, gestión de tecnologías de mantenimiento y un poder de motivación y coordinación del equipo humano encargado de estas actividades.
- **Mantenimiento de Calidad o Hinshitsu Osen** .- Esta clase de mantenimiento tiene como propósito mejorar la calidad de los procesos reduciendo la variabilidad, mediante el control

de las condiciones de los componentes y condiciones del equipo que tienen impacto directo en las características de calidad del proceso. Frecuentemente, se entiende en el entorno industrial que los equipos producen problemas cuando fallan y se detienen, sin embargo, se pueden presentar averías que no detienen el funcionamiento del equipo pero producen pérdidas debido al cambio de las características de calidad del proceso. El mantenimiento de calidad es una clase de mantenimiento preventivo orientado al cuidado de las condiciones del proceso.

- **Prevención de mantenimiento.-** Son aquellas actividades de mejora que se realizan durante la fase de diseño, construcción y puesta a punto de los equipos, con el objeto de reducir los costes de mantenimiento durante su explotación. Una empresa que pretende adquirir nuevos equipos puede hacer uso del historial del comportamiento de la maquinaria que posee, con el objeto de identificar posibles mejoras en el diseño y reducir drásticamente las causas de averías desde el mismo momento en que se negocia un nuevo equipo. Las técnicas de prevención de mantenimiento se fundamentan en la teoría de la confiabilidad, esto exige contar con buenas bases de datos sobre frecuencia de averías y reparaciones.

- **Entrenamiento y desarrollo de habilidades de operación.-** Las habilidades tienen que ver con la correcta forma de interpretar y actuar de acuerdo a las condiciones establecidas para el buen funcionamiento de los procesos. Es el conocimiento adquirido a través de la reflexión y experiencia acumulada en el trabajo diario durante un tiempo. El TPM requiere de un personal que haya desarrollado habilidades para el desempeño de las siguientes actividades:
 - Habilidad para identificar y detectar problemas en los equipos.
 - Comprender el funcionamiento de los equipos.
 - Entender la relación entre los mecanismos de los equipos y las características de calidad del proceso.
 - Poder de analizar y resolver problemas de funcionamiento y operaciones de los procesos.

- Capacidad para conservar el conocimiento y enseña a otros compañeros.
- Habilidad para trabajar y cooperar con áreas relacionadas con los procesos industriales.

2.3. Efectividad global de equipos (OEE)

La efectividad global de los equipos, es un concepto poco conocido en la minería nacional, 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.

2.3.1. Principales pérdidas que afectan la eficacia del equipo

Las empresas que se dedican a 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).**- Es el tiempo perdido por los equipos cuando éstos paran para realizar inspecciones o mantenimientos 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, éstas 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.
- **Pérdidas por fallas en los procesos (PFP).**- Tiempo perdido que se origina cuando se paran los equipos por factores externos, en el caso de la minería, generalmente se presenta por fallas geológicas y condiciones climáticas (lluvia, neblina, etc.).

- **Pérdidas por ajustes de producción (PAP)** .- Corresponden al tiempo que se pierde cuando se cambian los planes de producción y es necesario reacomodar los equipos en los nuevos frentes de producción.
- **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 paradas por voladura, abastecimiento de combustible y otros.
- **Pérdidas 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, etc.
- **Pérdidas de reprocesamiento (PDR)**.- Son las producidas por el doble manipuleo del material o el reciclaje del mismo. En la minería se usa mucho la mezcla de materiales para optimizar la recuperación o evitar problemas en el chancado.
- **Operación en vacío (OEV)**.- Pérdidas que se generan cuando el equipo sigue funcionando sin producir nada, en minería normalmente cuando los equipos de acarreo esperan a los equipos de carguío y viceversa, retorno de los equipos sin carga, etc.

2.3.2. Cálculo de la efectividad global de los equipos (OEE)

La efectividad global es una medida de la condición de la operación de la mina que toma en cuenta la disponibilidad, utilización y el rendimiento, y se calcula de la siguiente manera:

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

Donde:

- **Disponibilidad**.- Es el tiempo que el equipo se encuentra apto para ser utilizado en la producción:

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

- **Utilización.**- Es el tiempo que el equipo se encuentra efectivamente operando para la producción:

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

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

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

2.4. Herramientas de manufactura esbelta (Lean tools)

Se denomina herramientas de manufactura esbelta a las técnicas desarrolladas por las empresas Japonesas, las mismas buscan eliminar todo tipo de pérdidas que reducen la efectividad global de los equipos. A continuación se describe brevemente dos de dichas herramientas consideradas como las más importantes:

2.4.1. Estrategia 5S

Se llama estrategia de las 5S porque representan acciones que son principios expresados con cinco palabras japonesas que comienza por S. Cada palabra tiene un significado importante para la creación de un lugar digno y seguro donde trabajar. Estas cinco palabras son:

- Clasificar (Seiri).
- Orden (Seiton).
- Limpieza (Seiso).
- Estandarizar (Seiketsu).

- **Disciplina (Shitsuke).**

Las cinco "S" son el fundamento del modelo de productividad industrial creado en Japón y hoy aplicado en todo el mundo. Se practica el Seiri y Seiton cuando se mantiene el entorno de trabajo organizado y con limpieza. Son poco frecuentes las fábricas, talleres y oficinas que aplican en forma estandarizada las cinco "S". Esto no debería ser así, ya que en el trabajo diario las rutinas de mantener el orden y la organización sirven para mejorar la eficiencia del trabajo y la calidad de vida en aquel lugar donde se pasa más de la mitad de la vida de los trabajadores.

- **Seiri – Clasificar.-** Significa eliminar del área de trabajo todos los elementos innecesarios y que no se requieren para realizar la labor diaria. Frecuentemente el área de trabajo se "llena" de cosas, herramientas, cajas con productos, carros, útiles y elementos personales y cuesta trabajo pensar en la posibilidad de realizar el trabajo sin estos elementos. Se busca tener alrededor elementos o componentes pensando que harán falta para el próximo trabajo. Con este pensamiento se crean verdaderos stocks reducidos en proceso que molestan, quitan espacio y estorban. Estos elementos perjudican el control visual del trabajo, impiden la circulación por las áreas de trabajo, inducen a cometer errores en el manejo de materias primas y en numerosas oportunidades pueden generar accidentes en el trabajo.
- **Seiton – Ordenar.-** Consiste en organizar los elementos que se han clasificado como necesarios de modo que se puedan encontrar con facilidad. Aplicar Seiton en mantenimiento tiene que ver con la mejora de la visualización de los elementos de las máquinas e instalaciones industriales. Una vez eliminados los elementos innecesarios, se define el lugar donde se deben ubicar aquellos elementos que se necesitan con frecuencia, identificándolos para eliminar el tiempo de búsqueda y facilitar su retorno al sitio una vez utilizados (es el caso de las herramientas).
- **Seiso – Limpiar .-** Significa eliminar el polvo y suciedad de todos los elementos de un equipo o área de trabajo. Desde el punto de vista del TPM, Seiso implica inspeccionar el equipo durante el proceso de limpieza. Se identifican problemas de escapes, averías, fallos o

cualquier tipo de defectos o problemas existente en el sistema productivo. Seiso implica un pensamiento superior a limpiar, exige que realicemos un trabajo creativo de identificación de las fuentes de suciedad y contaminación para tomar acciones correctivas para su eliminación, de lo contrario, sería imposible mantener limpio y en buen estado el área de trabajo. Se trata de evitar que la suciedad, el polvo, y las limaduras se acumulen en el lugar de trabajo.

- **Seiketsu – Estandarizar.-** Es la metodología que permite mantener los logros alcanzados con la aplicación de las tres primeras "S". Si no existe un proceso para conservar los logros, es posible que el lugar de trabajo nuevamente llegue a tener elementos innecesarios y se pierda la limpieza alcanzada con nuestras acciones.
- **Shitsuke – Disciplina.-** Significa convertir en hábito el empleo y utilización de los métodos establecidos y estandarizados para la limpieza en el lugar de trabajo. Podrá obtener los beneficios alcanzados con las primeras "S" por largo tiempo si se logra crear un ambiente de respeto a las normas y estándares establecidos. Las cuatro "S" anteriores se pueden implantar sin dificultad si en los lugares de trabajo se mantiene la disciplina. Su aplicación nos garantiza que la seguridad será permanente, que la productividad mejore progresivamente y la calidad de los productos sea excelente.

2.4.2. Cambios rápidos (SMED)

El sistema de cambios rápidos (SMED Single minute exchange of dies) fue desarrollado por Shigeo Shingo en 1969, para responder a la necesidad de minimizar el tiempo de cambio de matrices de una prensa de 1000 toneladas perteneciente a Toyota motor y que requería de cuatro horas para su cambio, luego de arduo trabajo y aplicando las técnicas del SMED el equipo de trabajo logró reducir este cambio a tan solo tres minutos. Debido al éxito logrado, el SMED posteriormente fue adoptado como uno de los elementos principales del sistema de producción Toyota. Su utilización se ha extendido ahora a compañías de Japón y el mundo. La aplicación del SMED se basa en dos conceptos fundamentales:

- Preparación interna (IED).- Entendido como el conjunto de operaciones que pueden realizarse sólo cuando la máquina está parada. Por ejemplo, desmontar y montar llantas, matrices, componentes etc.
- Preparación externa (OED).- Conjunto de operaciones que pueden realizarse mientras la máquina está en operación. Por ejemplo, preparar gatas hidráulicas, transportar las herramientas y accesorios, transportar componentes, etc.

Y consta de cuatro pasos o etapas principales :

- Etapa 0 .- No se diferencian las preparaciones internas y externas.
- Etapa 1 .- Separación de la preparación interna y externa.
- Etapa 2.- Convertir la preparación interna en externa.
- Etapa 3 .- Perfeccionar todas las actividades de preparación.

Etapla 0.- No se diferencian las preparaciones internas y externas.- En las operaciones de preparación tradicionales, se confunde la preparación interna con la externa y lo que puede realizarse externamente se hace internamente, como consecuencia, las máquinas paran durante largos periodos de tiempo. Al planificar como llevar a la práctica el sistema SMED, se deben estudiar cuidadosamente las condiciones reales de cada empresa, para ello es conveniente tener en cuenta los siguientes lineamientos:

- Realizar un análisis detallado del equipo o área de trabajo en estudio, que incluya las principales actividades, tiempos y movimientos.
- La filmación constituye una excelente herramienta de apoyo para el posterior análisis.
- También es útil las entrevistas personales con los trabajadores que tienen participación directa en el proceso estudiado.

Etapla 1.- Separación de la preparación interna y externa.- El paso más importante en la realización del sistema SMED, es la diferenciación entre la preparación interna y externa. La finalidad es que las operaciones de preparación no deben hacerse mientras la máquina esté parada, sin embargo esto ocurre frecuentemente. Los siguientes lineamientos son muy efectivos para la separación interna y externa:

- Desarrollar una lista de comprobación con todos los elementos y pasos necesarios para el cambio, incluyendo:
 - Participantes.
 - Especificaciones (dimensiones, presiones, temperaturas, etc).
 - Herramientas, repuestos, componentes a ser usados.
- Implementar el uso de la mesa de comprobación, que contiene todos los dibujos de todas las piezas necesarias que deben ser preparadas. Las piezas se colocan sobre los dibujos respectivos y es muy fácil distinguir la falta de alguna pieza.
- Comprobar si todos los elementos preparados se encuentran en perfecto estado de funcionamiento. Por lo tanto, será necesario, durante la preparación externa, realizar comprobaciones funcionales del caso.
- El transporte de materiales desde el almacén a la zona de trabajo, debe realizarse antes de que el equipo o máquina pare.

Etapa 2.- Convertir la preparación interna en externa.- Los períodos de preparación se pueden reducir entre un 30 y un 50% simplemente separando los procedimientos de preparación interna y externa. Esta enorme reducción no es, sin embargo, suficiente para alcanzar los objetivos SMED, por ello es necesario desarrollar dos conceptos importantes:

- Reevaluar las actividades para determinar si algunos pasos están erróneamente considerados como internos.
- Buscar alternativas para convertir esos pasos en externos.

Etapa 3.- Perfeccionar todas las actividades de preparación.- En esta tercera etapa los esfuerzos deben concentrarse en perfeccionar todas y cada una de las operaciones o actividades de preparación interna y externa, esto incluye:

- **Mejoras radicales en las operaciones de preparación externa.**

Para mejorar la preparación externa es importante poner especial atención en la mejora del transporte y almacenamiento de piezas y herramientas. Esto ayuda a reducir el número de horas hombre necesarias para la preparación externa.

- **Mejoras radicales en las operaciones de preparación interna**

Existe un conjunto de técnicas que permiten mejorar sustancialmente la preparación interna, como:

- **Implementación de operaciones en paralelo.**- La finalidad de estas operaciones es disminuir o eliminar las esperas innecesarias, y los desplazamientos excesivos.
- **Utilización de anclajes funcionales .-** Estos dispositivos de sujeción rápida que sirven para mantener objetos fijos en su sitio con un esfuerzo mínimo
- **Eliminación de ajustes.**- Los ajustes y operaciones de prueba suponen normalmente hasta un 50% del tiempo de preparación, por tanto su eliminación conduce a grandes ahorros de tiempo.

CAPITULO 3

3. Diagnóstico de la efectividad global de la flota

Dado que las operaciones mineras en Pierina se desarrollan durante las 24 horas del día y los 365 días del año, cualquier tipo de parada o interrupción genera automáticamente tiempos perdidos que afectan producción y por ende reducen la efectividad global de la flota (OEE). Los tiempos perdidos generados se clasifican según su naturaleza de la siguiente manera:

3.1. Pérdidas que afectan la disponibilidad mecánica

Para la evaluación de las pérdidas que afectan la disponibilidad, se pone especial atención en aquellas que pueden ser controlables o reducibles mediante acciones de mejora de los métodos o prácticas de trabajo, tales como:

- **Pérdidas por paradas programadas.**- Como parte del mantenimiento programado existen diversos tipos de paradas para realizar el mantenimiento de los equipos, estas paradas afectan de forma directa la disponibilidad mecánica de la flota. Las pérdidas se han clasificado de la siguiente manera:
 - **Paradas por mantenimiento preventivo.**- Son paradas programadas de los camiones mineros que se realizan cada 250 horas de operación y con una duración promedio de 9 a 10 horas por camión/parada, durante las paradas se realizan los siguientes trabajos importantes:
 - Cambio de filtros y lubricantes
 - Regulaciones y calibraciones

- Inspección general
- Reparaciones menores.
- **Paradas por cambio de componentes mayores.-** Según recomendación del fabricante y a efectos de mantener la operatividad de los equipos, después de que los componentes mayores (Motor, convertidor, transmisión, diferencial y mandos finales) han completado su vida útil deben ser reemplazados, este tipo de trabajo se denomina "Overhaul" que generan paradas de los equipos por periodos que pueden variar entre 48 a 100 horas por camión/parada. La vida útil aproximada de los componentes mayores en promedio son:
 - Motores = 20 000 horas.
 - Convertidores = 20 000 horas.
 - Transmisiones = 18 000 horas.
 - Diferencial = 22 000 horas.
 - Mandos finales = 22 000 horas.
- **Paradas por cambio o rotación de llantas.-** Para maximizar la duración de las llantas en la 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 4 horas.

- **Inspecciones mecánicas.-** Con el objetivo de mejorar la confiabilidad de los equipos, se tiene un programa de inspecciones con paradas entre 2 y 4 horas de duración, durante estas paradas se identifican los problemas del equipo y se realizan correcciones menores.

- **Pérdidas por fallas en los equipos.**- Durante la operación de los camiones mineros se generan paradas imprevistas que originan pérdidas considerables en la producción y afectan de forma significativa la efectividad global de la flota, la duración de las paradas son variables y se debe principalmente a fallas en los siguientes sistemas o componentes:
 - Sistemas de frenos
 - Fallas en el motor
 - Falla eléctrica
 - Sistema hidráulico
 - Mandos finales
 - Fallas mecánicas
 - Sistemas de dirección
 - Lubricación
 - Diversas paradas menores.

3.1.1. Cuantificación de las pérdidas que afectan la disponibilidad

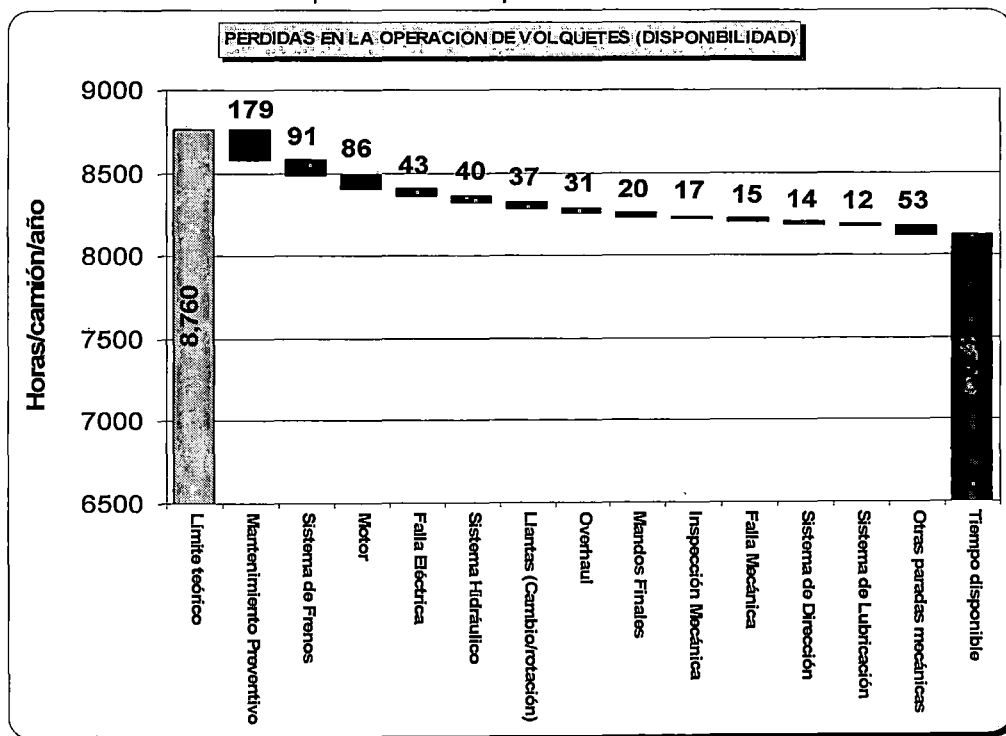
Tomando como referencia la fuente oficial de información de la mina Pierina (sistema "Dispatch"), para el periodo comprendido entre los meses de enero a junio del 2002 se han determinado tiempos perdidos que equivalen a un promedio a 636 horas/camión/año que representa aproximadamente el 7% del tiempo total disponible (8760 horas/camión/año). Esto significa que el área de mantenimiento entrega un tiempo neto de sólo 8124 horas para las labores de producción, los conceptos y su respectiva cuantificación en detalle se muestran en la siguiente tabla y gráfico:

Tabla 3.1. Pérdidas que afectan la disponibilidad de la flota de camiones

PERDIDAS QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD								
Tipo de pérdida	Jan-02	Feb-02	Mar-02	Apr-02	May-02	Jun-02	Promedio mensual	Promedio anual
	horas/camión/mes							horas/camión/año
Mantenimiento preventivo	17.3	14.6	14.5	14.9	15.2	12.4	14.8	179
Sistema de Frenos	11.0	2.2	16.0	4.3	1.3	10.2	7.5	91
Motor	0.0	0.0	0.3	36.5	2.7	3.0	7.1	86
Falla Eléctrica	1.8	1.4	5.2	6.0	3.7	2.9	3.5	43
Sistema Hidráulico	1.5	8.4	3.9	3.5	1.6	0.7	3.3	40
Llantas(cambio/rotación)	4.0	4.5	3.2	1.6	3.0	2.0	3.1	37
Componentes mayores	0.0	0.7	0.0	5.1	6.0	3.5	2.6	31
Mandos Finales	0.0	0.0	6.7	3.1	0.0	0.1	1.6	20
Inspección Mecánica	0.9	0.2	0.1	0.2	1.1	6.0	1.4	17
Falla Mecánica	1.7	5.4	0.0	0.0	0.3	0.0	1.2	15
Sistema de Dirección	0.2	0.2	2.4	3.9	0.2	0.0	1.1	14
Sistema Lubricación (Engrase)	0.8	0.3	0.6	1.2	2.6	0.3	1.0	12
Otras paradas mecánicas	1.4	6.0	5.5	3.7	8.0	1.6	4.4	53
Pérdidas totales	40.7	43.8	58.4	84.1	45.7	42.7	52.6	636.1

Fuente : Base de datos dispatch

Gráfico 3.1. Pérdidas que afectan la disponibilidad de la flota de camiones



Fuente : Base de datos dispatch

3.2. 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 mas la efectividad global de la flota, estas pérdidas se han identificado, cuantificado y clasificado de la siguiente forma:

- **Pérdidas por fallas en los procesos.-** Originado principalmente por factores externos a la gestión de producción:
 - **Factores climatológicos .-** Pierina tiene dos periodos típicos durante el año; lluvias con neblina durante 7 meses y sequía durante los 5 meses restantes; especialmente la neblina densa no permite la visibilidad y genera parada parcial o completa de la flota de producción y se constituye como la principal causante de las pérdidas.
 - **Fallas geológicas .-** Eventualmente se generan deslizamientos originados por fallas en el diseño de la mina o por fallas geológicas naturales que también originan paradas en la producción.
- **Pérdidas por ajustes y reinicio de producción.-** Se generan principalmente por las paradas operativas programadas y no programadas que requieren reinicio de las operaciones, típicamente son:
 - **Paradas por refrigerio.-** El sistema de trabajo continuado en la mina consta de 2 turnos de trabajo de 12 horas; el primer turno de 8a.m. a 8p.m. con un refrigerio de 30' entre las 12 y 2 p.m., el segundo turno de 8p.m. a 8a.m. con un refrigerio entre las 2 y 3 a.m. Estas paradas originan pérdidas en la producción como consecuencia de la parada de la flota de camiones en cada una de los refrigerios programados.
 - **Paradas por cambio de turno.-** Paradas similares se generan en la flota a las 8a.m. y 8p.m. como consecuencia del cambio de turno e inspección de los equipos. Cada una de estas paradas tienen una duración aproximada de 8' por cada equipo

- **Paradas por abastecimiento de combustible.-** Los motores de los camiones 785C consumen en promedio 25 galones/hora, y requieren abastecimiento del tanque de combustible de 2 veces por día con parada del equipo, cada una de las paradas es por un tiempo aproximado de 10' que se suman a las pérdidas que afectan la efectividad global de los equipos.
- **Esperas o colas .-** En este rubro consideraremos las colas que se generan cuando los camiones esperan para descargar el mineral en la boca de la chancadora y cuando esperan para ser llenados por la tolva de mineral chancado, el tiempo muerto que se genera en ambos casos es variable y puedes ir desde unos pocos segundos a varios minutos.

3.2.1. Cuantificación de las pérdidas que afectan la utilización operativa

Tomando la misma fuente oficial (sistema "Dispatch") y para el mismo periodo enero a junio del 2002, se ha procesado y determinado que las pérdidas que afectan la efectividad global de la flota equivalen a un total de 571 horas/camión/año, estas pérdidas representan aproximadamente el 7% del tiempo total disponible de 8124 horas/camión/año, el detalle se muestra en la siguiente tabla:

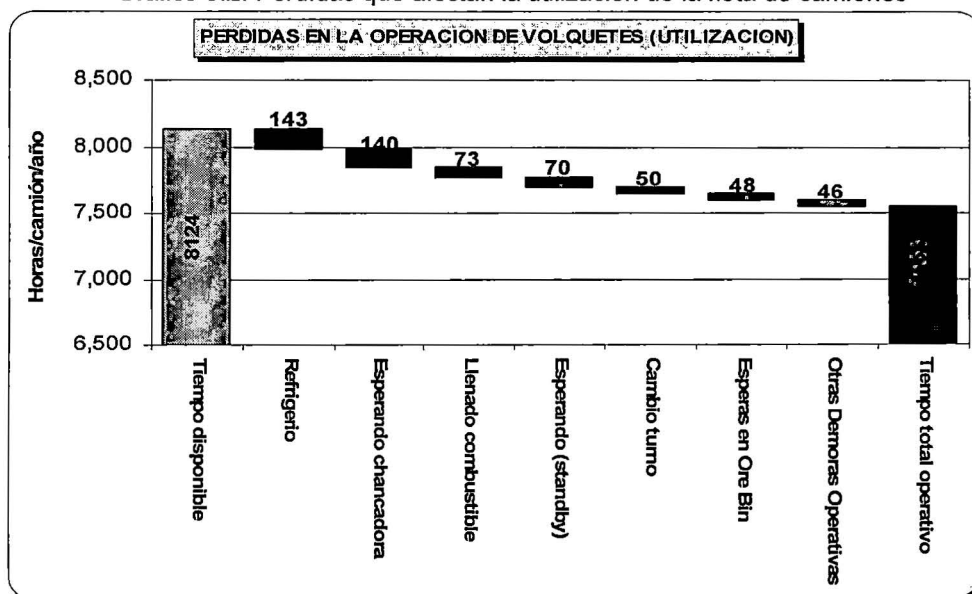
Tabla 3.2. Pérdidas que afectan la utilización de la flota de camiones

PERDIDAS QUE AFECTAN LA UTILIZACION								
Tipo de pérdida	Jan-02	Feb-02	Mar-02	Apr-02	May-02	Jun-02	Promedio mensual	Promedio annual
	horas/camión/mes							horas/camión/año
Refrigerio	16.67	10.41	7.76	.67	15.86	12.68	11.8	143
Esperando en chancadora	10.36	10.66	12.25	13.47	10.41	12.21	11.6	140
Esperas	12.45	1.04	.90	.64	9.60	9.29	5.8	73
Abastecimiento combustible	6.23	5.56	.36	.56	6.91	5.61	6.0	70
Cambio de turno	4.28	4.09	.09	.70	4.40	4.36	4.2	50
Esperando en ore bin	2.73	2.73	.75	.11	4.22	4.24	4.0	48
Otras demoras operativas	3.57	4.97	.04	.43	3.85	3.04	3.8	46
Perdidas totales	56.30	39.46	42.15	38.57	55.26	51.43	47.2	571

Fuente : Base de datos dispatch

Dichas pérdidas reducen la utilización de los equipos hasta un 93% (7553/8124) y sólo se cuenta con un total de 7553 horas útiles para la producción, tal como se muestra en el gráfico:

Gráfico 3.2. Pérdidas que afectan la utilización de la flota de camiones



Fuente : Base de datos dispatch

3.3. 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 muy grave porque estas pérdidas son las que más impactan de forma negativa en la efectividad global de los equipos, como veremos a continuación:

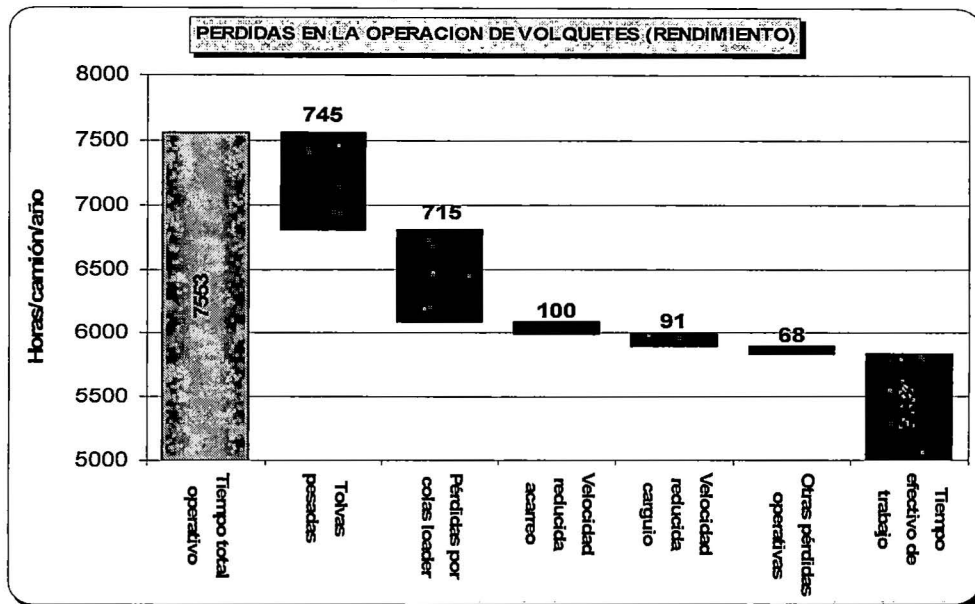
- **Pérdidas por velocidad reducida.**- La flota de camiones 785C durante su operación no alcanzan su máximo rendimiento porque se ven afectados por las siguientes pérdidas:
 - **Tolvas muy pesadas.**- Las tolvas estándares de los camiones mineros pesan aproximadamente 30 toneladas y se ha determinado 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 el cargador 994D debe cargar un camión 785C con 5 pasadas, pero por problemas en el método de carguío los camiones son llenados con 6 pasadas.
- **Velocidad reducida de acarreo.-** Los camiones se desplazan con velocidades reducidas principalmente por el mal estado de las vías de acarreo o mal estado de los equipos.
- **Pérdidas por operación en vacío o esperas.-** La operación en vacío se genera principalmente por una ineficiente 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 los cargadores frontales.

3.3.1. Cuantificación de las pérdidas que afectan el rendimiento

Debido a que las pérdidas por rendimiento en su mayoría no son cuantificadas por el sistema de control de la mina (dispatch), se tuvo que realizar un estudio de tiempos y movimientos para determinar que las pérdidas en el periodo de enero a junio del 2002 determinándose que estas equivalen a 1719 horas/camión/año que representan aproximadamente el 23% del tiempo total utilizado de 7553 horas. Debido a estas pérdidas el rendimiento de la flota de camiones se reduce hasta un 77% (5834/7553) quedando un tiempo efectivo de trabajo de sólo 5 834 horas por equipo por año, tal como se puede observar en el siguiente gráfico:

Gráfico 3.3. Pérdidas que afectan el rendimiento de la flota de camiones



Fuente : Base de datos dispatch

3.4. Evaluación de la efectividad global de la flota

Culminada la evaluación y cuantificación de las pérdidas que afectan a la disponibilidad global de la flota de camiones (OEE), el siguiente paso es determinar el valor numérico de este indicador, para dicho efecto se utiliza la siguiente fórmula matemática:

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

Donde:

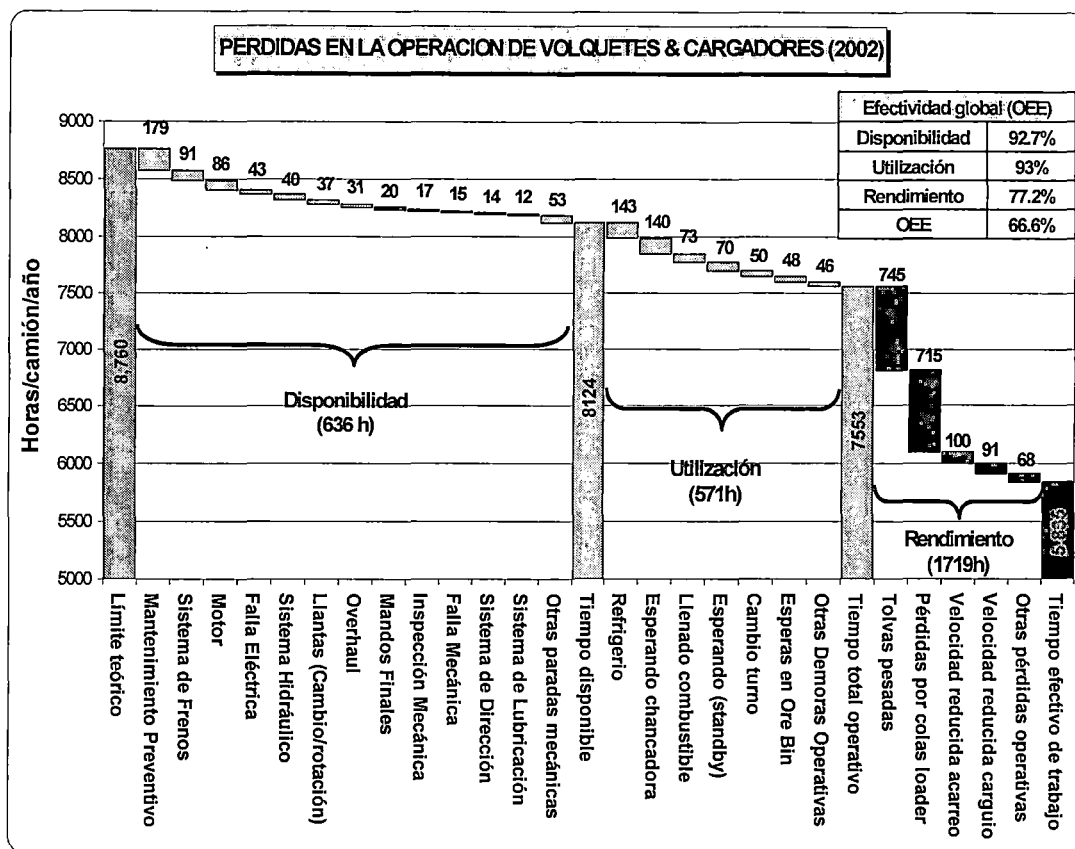
- Disponibilidad = $8\ 124\text{h} / 8\ 760\text{h}$ = 92.7 %
- Utilización = $7\ 553\text{h} / 8\ 124\text{h}$ = 93 %
- Rendimiento = $5\ 834\text{h} / 7\ 553\text{h}$ = 77.2 %

Por tanto la efectividad global de la flota de camiones mineros 785C será:

$$\text{OEE} = 92.7\% * 93\% * 77.2\% = 66.6\%$$

Este valor obtenido se puede representar gráficamente de la siguiente forma:

Gráfico 3.4. Pérdidas que afectan la efectividad global de la flota de camiones



Fuente : Base de datos dispatch

Podemos concluir que la flota de camiones mineros genera pérdidas por un total de 2926 horas/camión/año, que equivalen al 30% del tiempo teórico disponible de 8760 horas/año. Teniendo en cuenta que las empresas de clase mundial alcanzan valores de OEE \geq 85%, podemos decir que Pierina en la actualidad tiene un gran potencial de mejora que es necesario aprovechar.

3.5. Cuantificación de las pérdidas

La cuantificación de las pérdidas totales en términos de tonelaje y dinero se determinan sobre la base de los siguiente parámetros obtenidos del sistema dispatch y datos internos de costos:

- Producción horaria de los camiones = 350 toneladas / hora.
- Costo horario de los camiones = 250 \$ / hora.

- Flota de camiones = 13.
- Pérdida total por camión = 2926 horas/camión/año .

Por tanto la pérdida total en términos de toneladas y dinero serán:

- **Total de toneladas perdidas = $2\ 926 * 13 * 350 = 13\ 313\ 000$ toneladas/año.**
- **Total de dinero perdido = $2\ 926 * 13 * 250 = 9\ 509\ 500$ US\$/año.**

La reducción de las pérdidas en términos de tonelaje y dinero constituyen el objetivo principal de la presente tesis.

3.6. Determinación de las metas

Las metas se determinan tomando como referencia los valores obtenidos por empresas de clase mundial, es decir, una efectividad global (OEE) igual o mayor a 85%. Para que Pierina pueda alcanzar este valor necesita aumentar o reducir los siguientes indicadores que serán considerados como metas:

Indicador	Valor actual	Meta	Observaciones
Efectividad global de la flota (OEE)	66.6%	85%	Aumentar
Horas pérdidas totales (horas/camión/año)	2926	1314	Reducir a
Toneladas perdidas (toneladas/año)	13 313 000	5 978 700	Reducir a
Dinero perdido (US\$/año)	9 509 500	4 270 500	Reducir a

3.7. Identificación y análisis de las causas que originan las pérdidas

La identificación y análisis de las causas constituye el primer paso y la base para identificar las causas que generan las pérdidas que afectan la efectividad global de la flota, para lo cual se desarrollan los siguientes pasos:

- **Identificación de posibles causas** .- Con la ayuda de la herramienta denominada tormenta de ideas (brainstorming), se responde a la siguiente pregunta; ¿Por qué se generan los tiempos muertos en los camiones?. Luego de consolidar las respuestas de los integrantes del equipo de mejora y clasificarlas por categorías se obtienen la siguiente tabla:

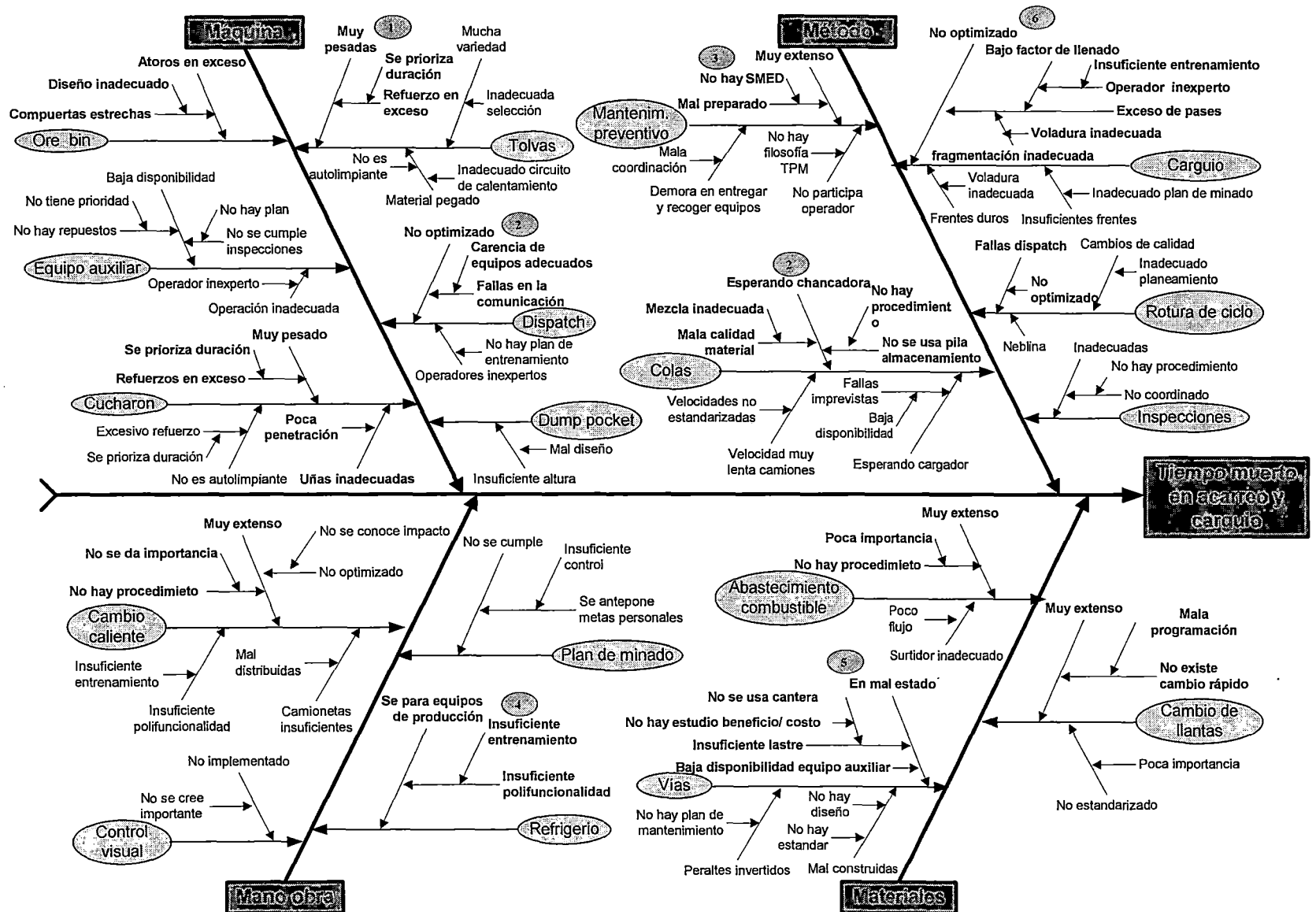
Tabla 3.3. Posibles causas que originan pérdidas en la flota de camiones

No.	Posibles causas	Clave	Categoría
1	Equipos parados durante el refrigerio	Refrigerio	Mano de obra
2	Jefes de guardia no cumplen plan de minado	Plan minado	Mano de obra
3	Cambio caliente muy extenso	Cambio caliente	Mano de obra
4	Insuficientes camionetas para cambio caliente	Cambio caliente	Mano de obra
5	Insuficiente polifuncionalidad de los operadores	Operadores	Mano de obra
6	Insuficiente control visual de indicadores	Control visual	Mano de obra
7	Sistema dispatch sub utilizado	Dispatch	Maquinaria
8	Insuficiente capacidad de recepción de chancado(Dump Pocket)	Dump pocket	Maquinaria
9	Equipo inadecuado de limpieza (Dump Pocket)	Dump pocket	Maquinaria
10	Tolvas de muy pesadas que originan sobrecarga	Tolvas	Maquinaria
11	Material pegado en tolvas	Tolvas	Maquinaria
12	Mucha variedad de tolvas	Tolvas	Maquinaria
13	Cucharon inadecuado y muy pesados	Cucharon	Maquinaria
14	Cucharon no es autolimpiante	Cucharon	Maquinaria
15	Uñas del cucharon inadecuadas	Cucharon	Maquinaria
16	Baja disponibilidad del equipo auxiliar	Equipo auxiliar	Maquinaria
17	Operación inadecuada del equipo auxiliar	Equipo auxiliar	Maquinaria
18	Atoros en silo de mineral (ore bin)	Ore Bin	Materiales
19	Vías en mal estado	Vías	Materiales
20	Vías mal construidas	Vías	Materiales
21	Peraltes invertidos	Vías	Materiales
22	Abastecimiento de combustible muy extenso	Combustible	Materiales
23	Surtidor de combustible inadecuado	Combustible	Materiales
24	Mantenim. Preventivo muy extenso	Mantenim. Preventivo	Método
25	Insuficiente confiabilidad del equipo luego de manten. Preventivo	Mantenim. Preventivo	Método
26	Operador no participa en mantenimiento preventivo	Mantenim. Preventivo	Método
27	Demora en entregar y recoger el equipo	Mantenim. Preventivo	Método
28	Inspecciones inadecuadas y descoordinados	Inspecciones	Método
29	No hay plan de inspecciones	Inspecciones	Método
30	Operador de cargador inexperto	Carguio	Método
31	Frentes de carguio duro o mal fragmentado	Carguio	Método
32	Insuficientes frentes de carguio	Carguio	Método
33	Carguio no optimizado	Carguio	Método
34	Paradas por condiciones climáticas (neblina)	Rotura de ciclo	Método
35	Fallas imprevistas de los equipos	Rotura de ciclo	Método
36	Fallas del sistema dispatch	Rotura de ciclo	Método
37	Cambio de calidad de material	Rotura de ciclo	Método
38	Colas esperando chancadora	Colas	Método
39	Colas esperando cargador	Colas	Método
40	Velocidad muy lenta de camiones	Colas	Método

Fuente : Elaboración propia

- **Análisis de posibles causas** .- Con el apoyo de la espina de pez o diagrama de Ishikawa, se despliegan cada una de las posibles causas, preguntando por lo menos tres veces; ¿por qué?, ¿por qué? y ¿por qué?, para finalmente generar el siguiente diagrama de causa y efecto:

Gráfico 3.5. Análisis de las causas que originan pérdidas en la flota de camiones

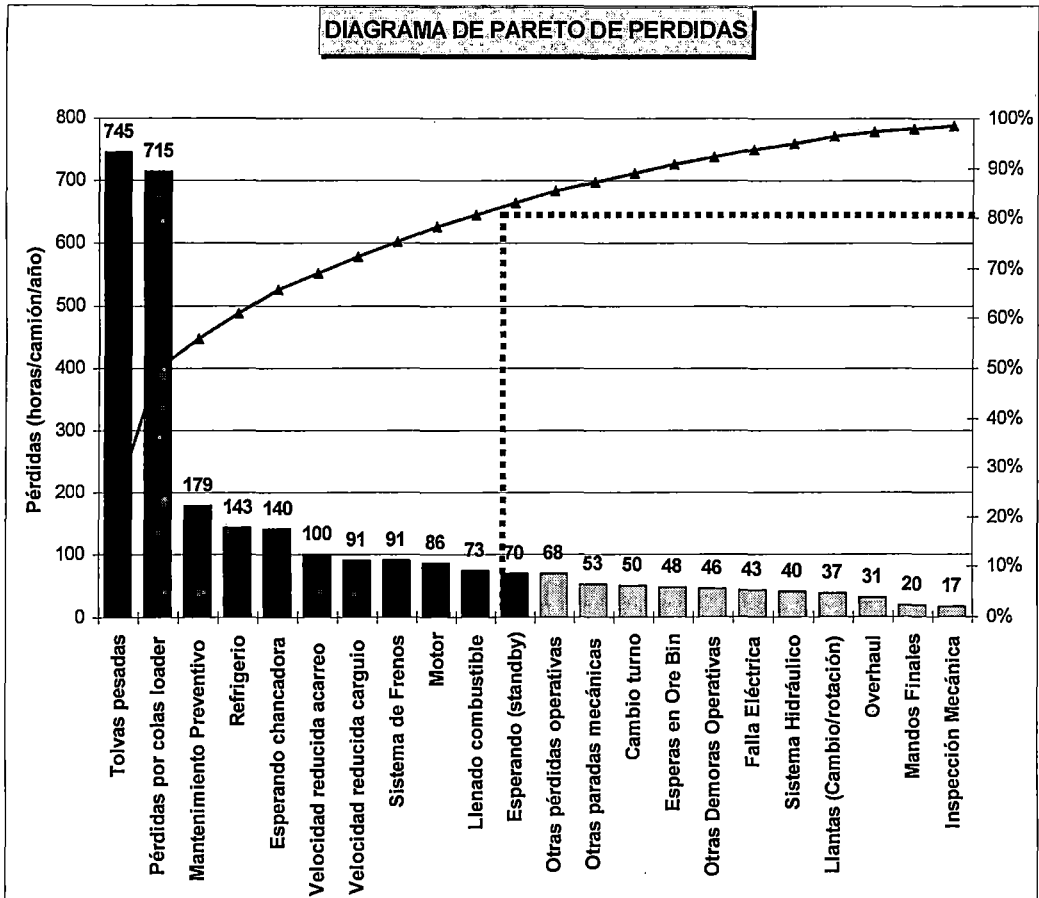


Fuente : Elaboración propia

- **Determinación de las causas raíces .-** Para la determinación de las causas raíces, se usa el famoso "Diagrama de Pareto", el cual nos indica que el 20% de las causas son responsables del 80% de las pérdidas, bajo este concepto se priorizan las siguientes causas raíces:

- Tolvas de los camiones muy pesadas
- Exceso de colas / Sistema de despacho no optimizado
- Mantenimiento preventivo muy extenso
- Equipos de producción parando durante el refrigerio
- Vías o rutas de acarreo en mal estado
- Carguío no optimizado

Gráfico 3.6. Diagrama de Pareto para priorizar pérdidas en la flota de camiones



Fuente : Base de datos dispatch

CAPITULO 4

4. Acciones para maximizar la efectividad global de la flota

Culminado el proceso de identificación de las causas raíces que afectan a la efectividad global de la flota (OEE), se desarrollan las acciones o estrategias que atacan las causas raíces para eliminarlas o minimizarlas.

4.1. Identificación y evaluación de las posibles soluciones para minimizar pérdidas

La identificación y evaluación de las posibles soluciones generadas, tienen como objetivo seleccionar la mejor o las mejores alternativas que serán implementadas por el equipo de trabajo tendientes a eliminar las causas raíces identificadas. El proceso comprende los siguientes pasos:

- Listar las causas raíces identificadas.
- Generar varias posibles soluciones para cada una de las causas raíces usando nuevamente la técnica denominada tormenta de ideas.
- 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 acumula el mayor puntaje ponderado, tal como se muestra en la tabla:

Tabla 4.1. Evaluación de posibles soluciones

Causa raíz	Posibles soluciones	Evaluación y decisión					
		Efectividad	Factibilidad	Facilidad	Costo	Puntaje (*)	Decisión
Tolvas de los camiones muy pesadas	Comprar tolvas livianas a fabricante o proveedor	5	4	3	1	13	No
	Modificar y aligerar las tolvas actuales	5	3	4	5	17	Si
Exceso de colas / Sistema de despacho no optimizado	Mejorar el sistema de comunicación de antenas	5	4	4	3	16	Si
	Implementar sistema de amortiguación (stock pile)	5	4	3	4	16	Si
	Aumentar el número de cargadores	5	2	4	1	12	No
	Ampliar la capacidad de chancado	5	2	2	1	10	No
Mantenimiento preventivo muy extenso	Reducir tiempo de PM aplicando SMED	5	4	3	5	17	Si
	Reducir el número de PMs	5	4	4	5	18	Si
	Implementar un camión en espera (spare)	5	4	5	1	15	No
Equipos de producción parados durante el refrigerio	Contratar personal para relevos durante refrigerio	5	4	3	2	14	No
	Pagar sobretiempo y no usar refrigerio	5	3	4	3	15	No
	Cambiar sistema de horarios de medio tiempo	5	2	3	2	12	No
	Parar equipo auxiliar y efectuar relevos con dicho personal	5	4	4	4	17	Si
Vías o rutas de acarreo en mal estado	Mejorar la disponibilidad y utilización del equipo auxiliar	5	4	3	3	15	Si
	Subcontratar el mantenimiento de vías	4	4	3	2	13	No
	Implementar plan de mantenimiento y mejora de las vías	5	4	4	3	16	Si
Carguío no optimizado	Reentrenar a los operadores	5	4	4	4	17	Si
	Contratar nuevos operadores	4	4	3	2	13	No
	Reducir peso de cucharones	5	4	4	4	17	Si
	Comprar nuevos cucharones	5	4	4	1	14	No
	Mejorar la fragmentación del material	5	4	4	4	17	Si

(*)Puntaje: 1 = Altamente desfavorable—> 5= Altamente favorable

Fuente : Elaboración propia

4.2. Implementación de las soluciones priorizadas

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

4.2.1. Causa: Tolva de camiones muy pesada.- Cuando se inicia las operaciones en la mina Pierina erróneamente se buscaba maximizar la vida útil de las tolvas, para lo cual se adicionaron refuerzos en todos los posibles puntos de desgaste hasta lograr una tolva robusta de larga duración pero con sobrepeso que llegó a las 30 toneladas. Estas acciones resultaron perjudiciales en la productividad de Pierina porque se transportaba innecesariamente metal en lugar de mineral o desmonte. Luego de las evaluaciones de beneficio versus el costo el

resultado fue de que éste era un enfoque erróneo y por tanto se debía priorizar la productividad antes que la duración, y se propuso las acciones de mejora que se describen a continuación:

- **Determinación de la capacidad de carga actual y propuesta.-** De la información y colaboración proporcionada por el fabricante, se ha determinado 2 escenarios; el primer escenario indica que la capacidad de carga de nuestra flota con la tolva actual (pesada) es de 143 toneladas/camión y esta capacidad de carga se puede incrementar en el segundo escenario a 153 toneladas si logramos una tolva liviana de 20 toneladas de peso, tal como se muestra en la tabla 4.2:

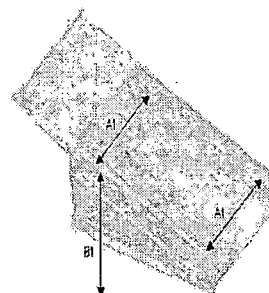
Tabla 4.2. Evaluación de la capacidad de carga de camiones 785

Descripción	Con tolva actual (Pesada)	Con tolva propuesta (Liviana)	Unidad
Peso del chasis	75955	75955	Kg
Peso de material adherido al camión	700	700	
Peso de la tolva	30000	20000	
Peso total del camión vacío	106,655	96,655	
Peso bruto de operación del camión	249,475	249,475	
Capacidad de carga	143,000	153,000	

Fuente : Elaboración propia

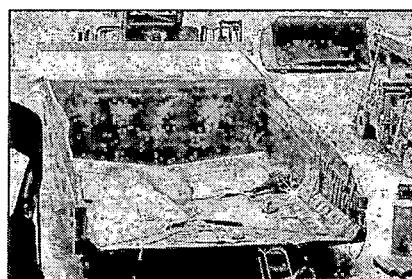
- **Definición de las características de la tolva aligerada.-** Para lograr una capacidad de carga de 153 toneladas es necesario ampliar y aligerar la tolva actual, para dicho efecto se determinó los siguientes parámetros de modificación de la tolva:

Característica	Tolva original	Tolva ampliada
Ancho (A1)	5.45 m	6.40 m
Altura (B1)	5.45 m	5.45 m
Peso	30 t.	20 t.
Volumen de la tolva	66 m ³	74 m ³
Distribución de carga en los ejes.	1/3 (adelante) y 2/3 (atrás)	Igual

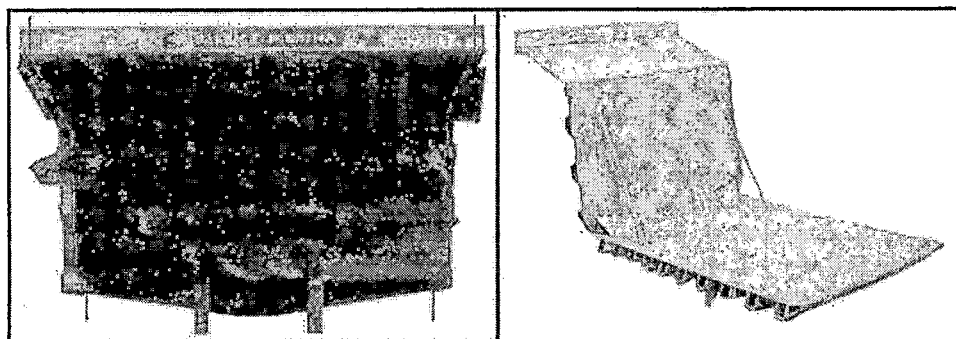


- **Proceso de ampliación y aligerado de la tolva.-** El proceso de modificación de las tolvas, comprendió los siguientes pasos:

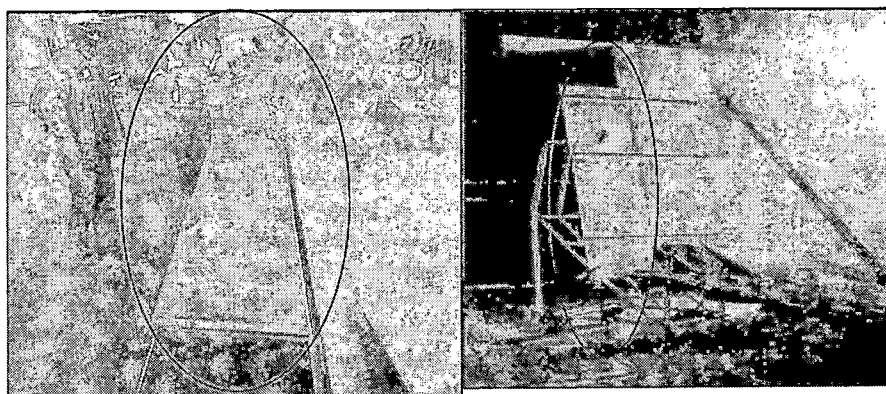
- **Retiro de revestimientos .-** Las tolvas con el objetivo de prolongar su duración, originalmente tenían doble revestimiento de planchas de acero de 450 y 500 Brinell de dureza, la modificación consiste en retirar el revestimiento superior de la tolva.



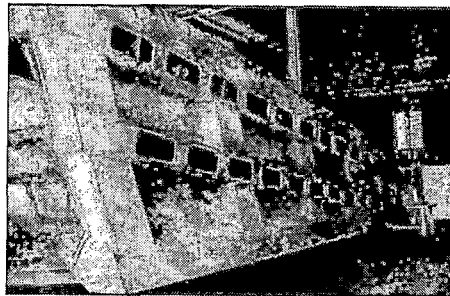
- **Corte lateral de las tolvas .-** Las tolvas se cortan longitudinalmente por las costuras laterales, como se muestra en los gráficos siguientes:



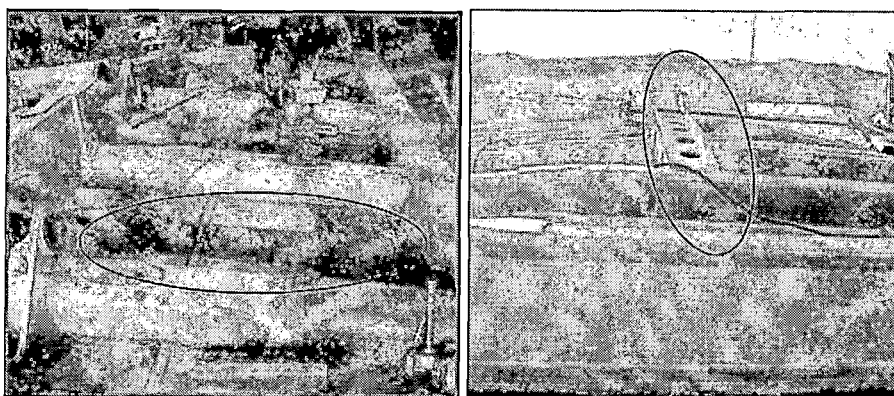
- **Ampliación de las tolvas .-** Posteriormente se adiciona plachas en el piso y la pared frontal de la tolva (47.5 cm / lado) hasta lograr un ancho total de 6.40 m.



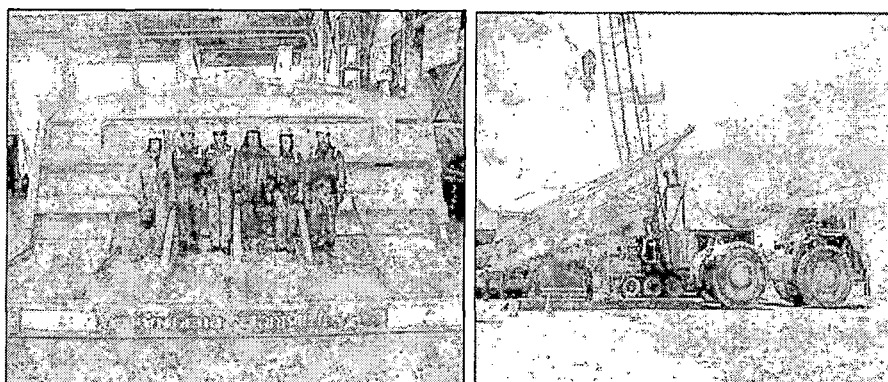
- **Aligerado de las paredes laterales.-** Se perfora los refuerzos longitudinales y se reemplaza planchas de 1/2" por 3/8". Igualmente se elimina algunos de los refuerzos transversales.



- **Aligerado del piso de la tolva.-** Los refuerzos transversales se retiran en forma intercalada y se perforan las vigas longitudinales.

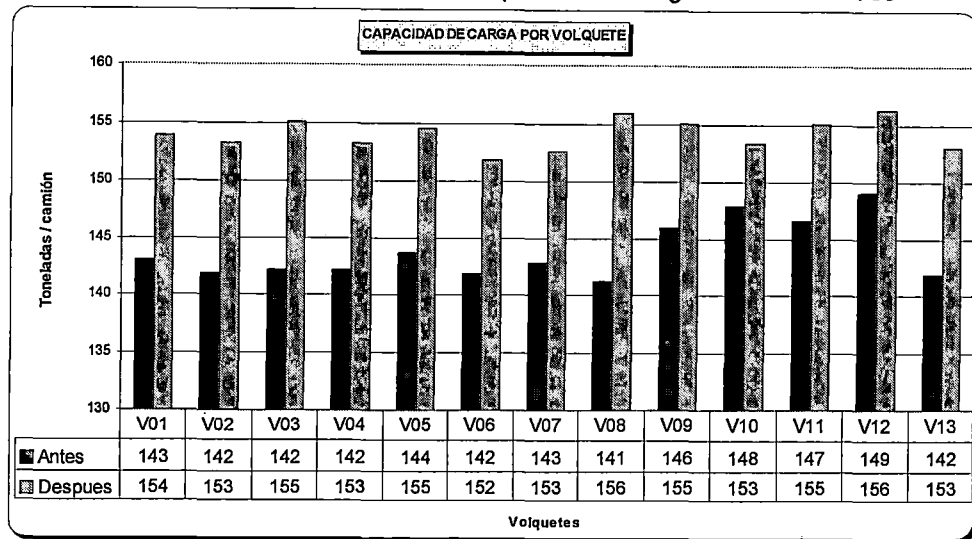


- **Acabado de la tolva y montaje.-** Finalmente las tolvas son pintadas y montadas al camión 785C.



Como resultado de las modificaciones realizadas, se logró incrementar la capacidad de carga de 143 a 154 toneladas por camión, tal como se muestra en el siguiente gráfico:

Gráfico 4.1. Incremento de la capacidad de carga de camiones 785



Fuente : Base de datos dispatch

- **Evaluación económica de la mejora.-** La mejora en la capacidad de carga de las tolvas, evitó la adquisición de nuevos camiones que tienen un costo de 1.5 millones de dólares y un costo de operación adicional de 90 \$/hora. La evaluación económica que se muestra a continuación, confirma que el enfoque de priorizar la productividad antes que la duración es el correcto.

Tabla 4.3. Evaluación económica del proyecto de tolvas livianas para camiones 785

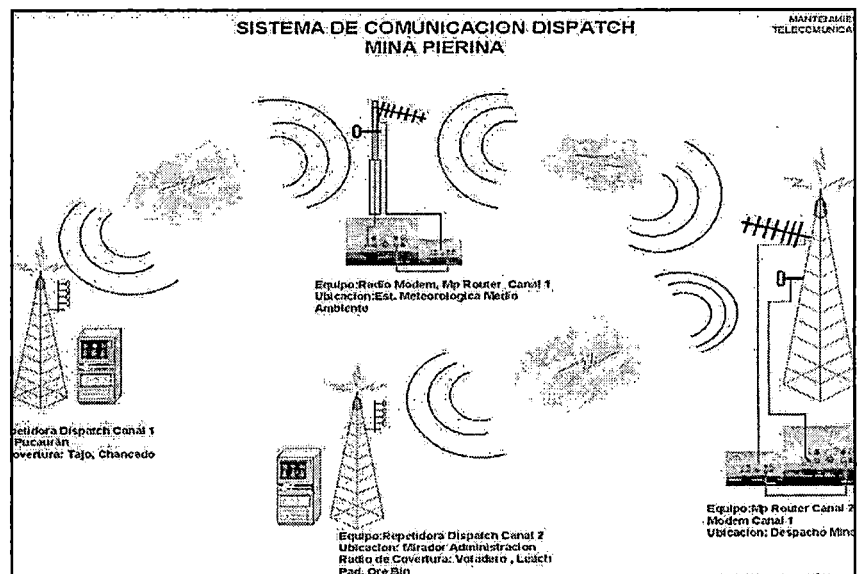
Evaluación Económica					
Concepto	2003	2004	2005	2006	2007
Toneladas a ser movidas por año (miles)	35170	42000	42002	41044	30782
Camiones requeridos (Con tolva liviana - 153t)	13	16	16	16	14
Toneladas movidas con tolva liviana / año (153 t)	2705	2625	2625	2565	2199
Toneladas movidas con tolva pesada/año (143 t)	2529	2453	2454	2398	2055
Camiones requeridos (Con tolva pesada - 142 t)	13.9	17.1	17.1	17.1	15.0
Ahorro en camiones	0.91	0.91	0.91	0.91	0.77
Flujo de caja en US\$					
Capital (Costo camión nuevo ahorrado)	1,500,000				
Costo Operativo adicional que se evita	616,565	616,565	616,565	616,565	521,709
Costo de mantenimiento adicional de tolva liviana		(44,000)	(52,000)	(52,000)	(44,000)
Inversion para modificar tolvas	(380,000)	(40,000)			
Flujo neto	1,736,565	532,565	564,565	564,565	477,709
Valor actual neto del proyecto (tasa 10%)	3,437,744				

Fuente : Elaboración propia

4.2.2. Causa: Exceso de colas.- Se denomina colas al tiempo perdido por los camiones cuando esperan para ser llenados por el cargador frontal o para descargar el mineral en la chancadora, por ser un originador importante de pérdidas en la productividad global, se desarrollaron las siguientes acciones correctivas para minimizarlas:

4.2.2.1. Mejorar el sistema de comunicación dispatch .- El sistema de despacho de camiones (dispatch) constituye la herramienta fundamental para la asignación optimizada de los camiones en los diferentes puntos de carga y descarga, un mal funcionamiento del sistema origina colas con pérdidas en la producción. El sistema dispatch funciona con ondas de radio que se transmiten entre antenas fijas instaladas en puntos estratégicos de la mina, antenas móviles instalados en los camiones y antena fija instalada en el centro de control. Por las condiciones del terreno e inadecuado mantenimiento de los equipos de comunicación, la señal de radio se vio afectada considerablemente originando pérdidas de señal, mal funcionamiento del sistema y por consiguiente descontrol de los camiones mineros y colas en los cargadores. Para corregir este problema se implementaron las siguientes mejoras:

- **Implementación de radio modem.-** Luego de estudiar experiencias similares en otras operaciones mineras, se determinó que la mejor solución para mejorar el sistema de comunicación era implementar un radio modem, el mismo tiene la característica principal de replicar la señal desde puntos difíciles hacia el



centro de control. Esto evita la pérdida de señal y por lo tanto optimiza el despacho de los camiones y reduce las colas.

- **Recuperación de la operatividad del sistema dispatch.**- Equivocadamente el sistema de mantenimiento de la mina Pierina, otorgaba baja prioridad para el mantenimiento y operatividad de los componentes del sistema, esto originó el deterioro progresivo de los equipos y afectó seriamente la eficacia del sistema de asignación de camiones, para mejorar esta situación se puso en marcha las siguientes acciones:

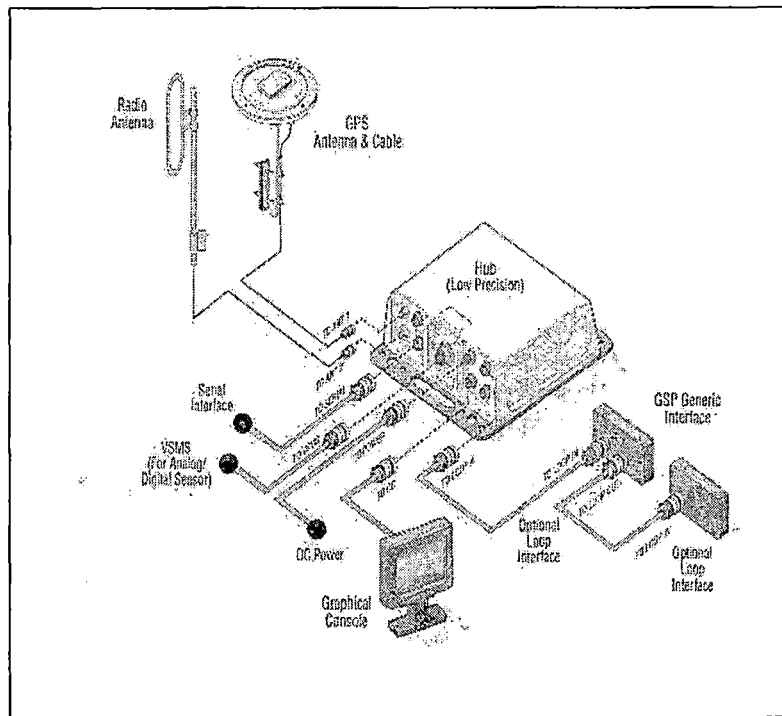
- Recableado general de todo el sistema en el camión y centro de control.

- Recuperación de HUB, GPS y antenas

deterioradas

- Instrucción a los operadores para la inspección autónoma del sistema y limpieza general.

- Implementación de un plan de mantenimiento

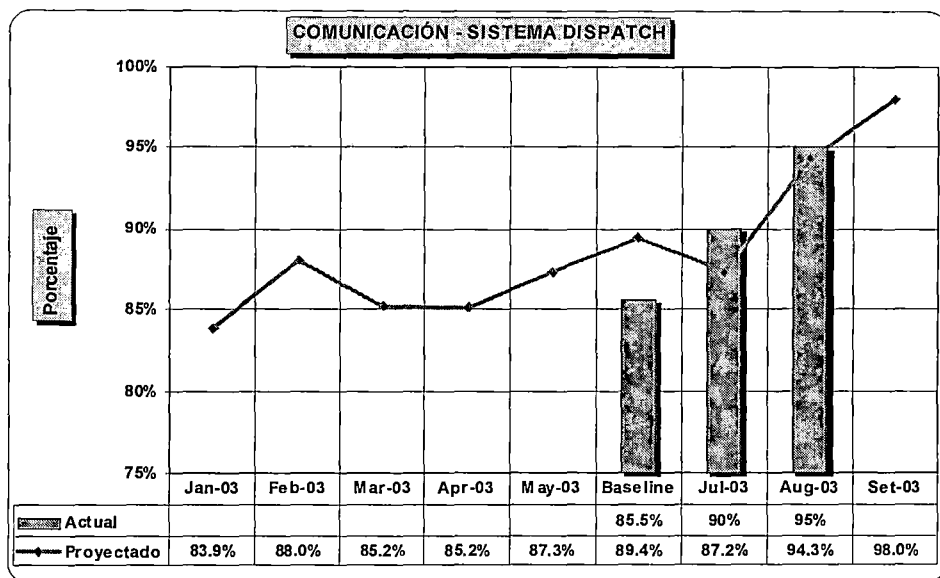


preventivo de los elementos que componen el sistema dispatch.

Estas acciones de mejora simples y muy fáciles de implementar, permitieron recuperar la operatividad del sistema dispatch hasta un 95%, nivel suficiente para minimizar las colas y

recuperar la efectividad en la asignación de la flota de camiones 785C, tal como se muestra en el siguiente gráfico.

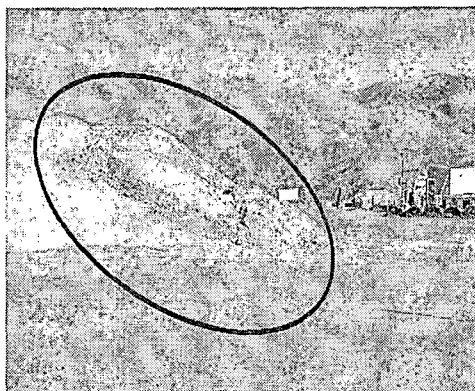
Gráfico 4.2. Incremento de la operatividad del sistema dispatch



Fuente : Base de datos dispatch

4.2.2.2. Implementar un sistema de amortiguación de mineral (stock pile)

.- El diseño original de la planta de chancado no consideró un sistema de amortiguación con una pila de almacenamiento (stock pile), esto origina que los camiones hagan cola para descargar el mineral generando tiempos muertos de los camiones. Para minimizar este efecto se acondicionó un sistema de almacenamiento (stock pile) que permite la descarga del mineral cuando la chancadora presenta problemas o baja velocidad de procesamiento. El material almacenado es alimentado a la chancadora luego con la ayuda de un cargador 992 y un camión 785. Esta pila de almacenamiento permitió los siguientes beneficios:



- Minimizar las colas porque los camiones pueden descargar en la pila de amortiguación y volver al tajo para cargar nuevamente.
- Permite una mejor mezcla del mineral que evita atoros en la chancadora por material muy húmedo, muy duro, muy fino o muy grande.
- Permite que la chancadora trabaje a un ritmo casi constante y se evita picos de producción hacia arriba o abajo.
- Evita que los camiones retornen a la mina con su carga, cuando se producen paradas imprevistas en la chancadora.
- Optimiza el despacho dinámico de camiones.

Con todas las mejoras implementadas, se lograron reducir las colas de la siguiente forma:

- Colas en cargadores de 1.5 a 1.15 minutos/camión/ciclo
- Colas en chancadora de 6.65 a 2,36 minutos/camión/ciclo

Esto representa aproximadamente 2500 horas adicionales por año de disponibilidad para la flota de camiones 785.

4.2.3. Causa: Mantenimiento preventivo (PM) muy extenso.- El sistema de mantenimiento preventivo de la flota de camiones mineros inicialmente se estableció con las siguientes parámetros:

- Paradas programadas cada 250 horas.
- Duración de cada PM igual a 10 horas.
- Inspecciones cada 125 horas.

Este sistema representaba un aproximado de 2350 horas/flota/año perdidas, para minimizar este tiempo muerto se desarrollaron estrategias orientadas a reducir el tiempo de PMs y extender la frecuencia entre PMs, tal como se explica a continuación:

4.2.3.1. Reducir el tiempo de PM aplicando SMED (cambios rápidos).- Siguiendo el método recomendado por el sistema SMED se implementaron las siguientes acciones para optimizar las actividades durante el PM y minimizar el tiempo muerto:

- **Identificación de actividades durante el PM.**- En esta primera etapa se observó cuidadosamente el proceso completo del PM, como soporte se realizó un registro fílmico y la toma de tiempos y movimientos, del análisis posterior se determinó los siguientes factores que originaban excesivos tiempos muertos:
 - No existía una distinción entre actividades internas (con equipo parado) y externas (con equipo operando).
 - Inadecuada planificación de las actividades de mantenimiento que generaba:
 - Demora en la entrega de los equipos antes del PM y después del PM.
 - Trabajos imprevistos durante el PM por falta de inspección anticipada.
 - Insuficiente preparación de materiales, repuestos y herramientas para ejecutar los trabajos.
 - Desplazamientos excesivos e innecesarios de los técnicos encargados del PM.
 - No se distinguen los trabajos con mayor duración, criticidad o importancia.
 - Inició tardío de los trabajos más extensos como los de soldadura de tolvas, cambio de llantas, componentes mayores, etc.
 - Resultados de análisis de aceite e información vital de las computadoras tardías.
 - Inadecuada distribución del personal técnico.
 - No se organiza ni se distribuye los trabajos, se ejecutan por rutina y costumbre.
 - Uso de métodos y herramientas tradicionales y no se explotaba la capacidad de herramientas neumáticas o inalámbricas, trabajos en paralelo, etc.

- **Separación de actividades internas y externas.-** Tomando como base el registro fílmico y análisis de la información recopilada, se reestructuró la secuencia de actividades de la siguiente forma:

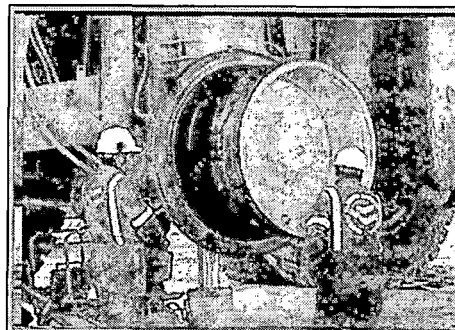
Actividades externas (48 horas antes del PM)	Actividades Externas (24 horas antes del PM)	Actividades internas (durante el PM)
<ul style="list-style-type: none"> • Toma de muestras de aceite y descarga de información del sistema VIMS • Inspección rápida del equipo. • Generación del listado de trabajos pendientes del equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar y emitir resultados del análisis de aceites y VIMS. • Realizar reunión de coordinación para afinar el plan del día siguiente. • Preparación y traslado de materiales, repuestos y herramientas al lugar de trabajo. • Definir los trabajos críticos y secuencia de actividades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Parar el equipo. • Ejecutar el PMs. • Involucrar el operador del equipo antes de la entrega del equipo. • Entregar el equipo. • Emitir los reportes a planeamiento.

Estos cambios permitieron reducir el tiempo de PMs de 10 a 8 horas.

- **Optimización de actividades internas.-** El paso final del proceso de mejora fue optimizar las actividades internas (con equipo parado), sobre la base de las siguientes estrategias:
 - **Implementación de actividades en paralelo.-** Del análisis de la información se determinó que varias de las actividades que extendían la duración del PM se realizaban en serie por supuestas limitaciones de personal, es decir, se terminaba un trabajo y luego se iniciaba otro. Ante esta situación se redistribuyó el personal y se rediseñaron

las siguientes actividades con el fin de transformarlas de una secuencia en serie a paralelo :

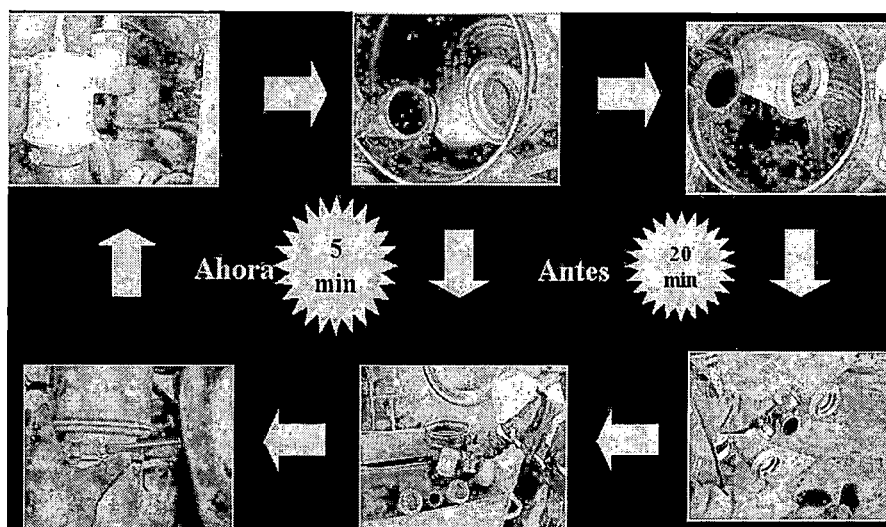
- Cambio o rotación de llantas (ver foto).
- Calibración de válvulas del motor.
- Reparaciones de tolva y chasis.
- Cambio de componentes mayores.
- Trabajos con el sistema dispatch.



- **Uso intensivo de componentes pre armados.**- La práctica usual era desmontar componentes, desarmarlos, limpiarlos, revisarlos, repararlos, armarlos y montarlos nuevamente, evidentemente este proceso consumía mucho tiempo y era necesario un cambio. La alternativa implementada fue la adquisición de componentes adicionales que se usan como reemplazo para los componentes desmontados con un ahorro significativo de tiempo, posteriormente y cuando el equipo sale del PM los mecánicos realizan todas las tareas de limpieza, inspección y reparación del componente para dejarlo listo para el siguiente PM, un ejemplo de esto se muestra a continuación:

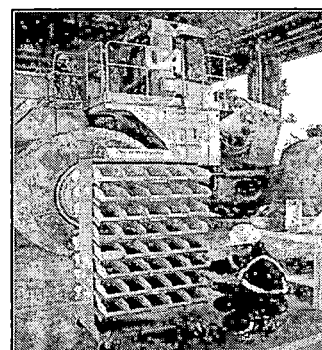
Ejemplo: El desmontaje, limpieza y montaje de los respiradores del motor.

Operaciones	Situación inicial	Situación mejorada
Retiro de soportes del respirador	Si	Si
Desmontaje del respirador	Si	No
Limpieza del respirador	Si	No
Armado del respirado	Si	No
Montaje del respirador	Si	Si
Tiempo total	20 min.	5 min.

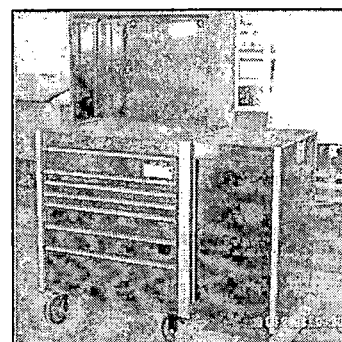


- **Implementación de facilidades y herramientas para reducir tiempos muertos.-** Con el mismo objetivo de optimizar las labores durante le PM se implementaron mejoras muy sencillas pero de gran impacto en la reducción de tiempos muertos, tales como:

- Armario para abastecer pernos, arandelas, dados, retenes y otros cerca al equipo. Este armario se encuentra debidamente ordenado, clasificado con identificación clara para facilitar el trabajo de los mantenedores. Se evitan recorridos innecesarios desde el lugar de mantenimiento al almacén de repuestos.

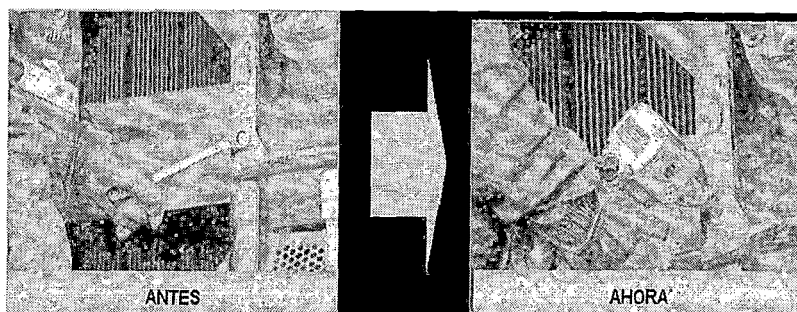


- Caja especial con todas las herramientas normales y especiales, repuestos de alta rotación, piezas de recambio constante, etc. La caja se ubica al pie del equipo que se encuentra en PM y se minimiza el



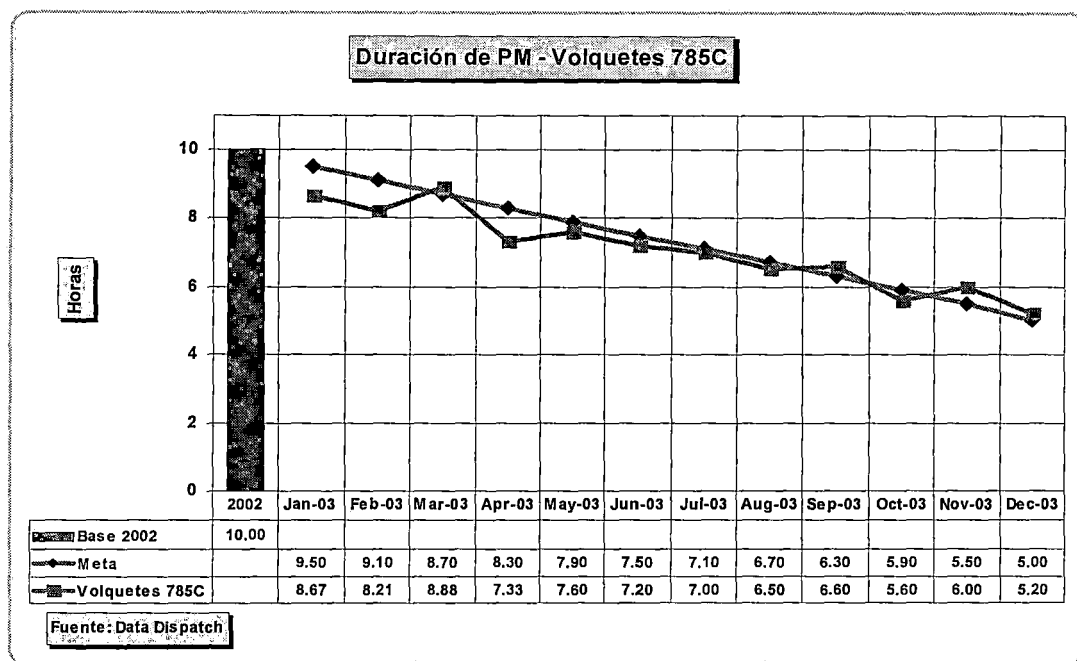
tiempo muerto de los mantenedores por desplazamientos innecesarios

- Se implementó herramientas neumáticas e inalámbricas en lugar de las herramientas tradicionales, esto permite maximizar el tiempo efectivo de los mantenedores.



Las mejoras descritas tuvieron un gran impacto en la reducción de tiempos muertos y la duración de los PMs reduciéndolas desde 10 a 6 horas en promedio, es decir, una mejora de 40%.

Gráfico 4.3. Duración del PM de la flota de camiones 785C



4.2.3.2. Reducir el número de paradas por mantenimiento preventivos (PMs).- El plan de mantenimiento preventivo con paradas programadas cada 250 horas como lo indicaba el fabricante generaba un total de 30 paradas programadas por camión/año, con el objetivo extender el periodo entre paradas se implementaron las siguientes acciones:

- **PMs situación inicial.**- El mantenimiento preventivo básico estuvo programado para realizarse en función a tiempo calendario cada 250 horas y sin importar la condición de los lubricantes, esto generaba el siguiente plan de PMs:

Compartimiento	Frecuencia (h)	Cantidad (g)	Observaciones
Motor	250	250	El motor define la parada del equipo, que en este caso era cada 250 horas
Sistema hidráulico	2000	120	
Dirección hidráulica	2000	28	
Transmisión	1000	48	
Ruedas delanteras	500	7	
Diferencial/mandos	2000	140	

- **PMs situación mejorada.**- Se pasó a un sistema de cambio de componentes basado en la condición de los lubricantes, para lo cual:
 - Se potenció y mejoró el uso del laboratorio de lubricantes.
 - Se realizaron pruebas con extensión de la vida de los lubricantes (principalmente motor) en forma progresiva cada 300, 350, 400, 450 y 500 horas, quedando finalmente establecido que la frecuencia de los PMs se ejecutarán cada 500 horas.
 - En cada una de las pruebas se controlan las siguientes propiedades en los lubricantes:
 - Viscosidad y oxidación.
 - Contenido de combustible, refrigerante y agua.

- Contenido de fierro, cromo, plomo, cobre, estaño, aluminio y otros.
- Como resultado de las pruebas se estableció la siguiente tabla maestra para determinar los límites para extender los lubricantes:

Tabla 4.4. Evaluación económica del proyecto de tolvas livianas para camiones 785

Tipos de Análisis	Compartimientos		Motor			
	Niveles de Alerta		Elem	Precaución	Crítico	Alarmante
ppm Espectrofotómetro de Chispa	Metal	Cu		30	45	70
		Fe		25	35	60
		Cr		4	8	11
		Al		8	12	15
		Pb		15	20	25
		Sn		5	7	10
	No metal	Si		15	25	30
		Na		25	35	50
		Mo		3	5	10
Infrarojo	Hollín (Abs/0.1mm)			0.40	0.65	0.70
	Oxidación (Abs/0.1mm)			0.08	0.14	0.20
	Nitración (Abs/0.1mm)			0.10	0.16	0.22
	Sulfatación (Abs/0.1mm)			0.08	0.14	0.20
	Diesel (%)			1.00	2.50	5.00
	agua (%)			0.10	0.50	1.00
	Glycol (%)			0.10	0.50	1.00
Viscosidad a 100°C en cSt	Tipo Aceite			Mínimo		Máximo
	RS 15w40			12.20		15.80

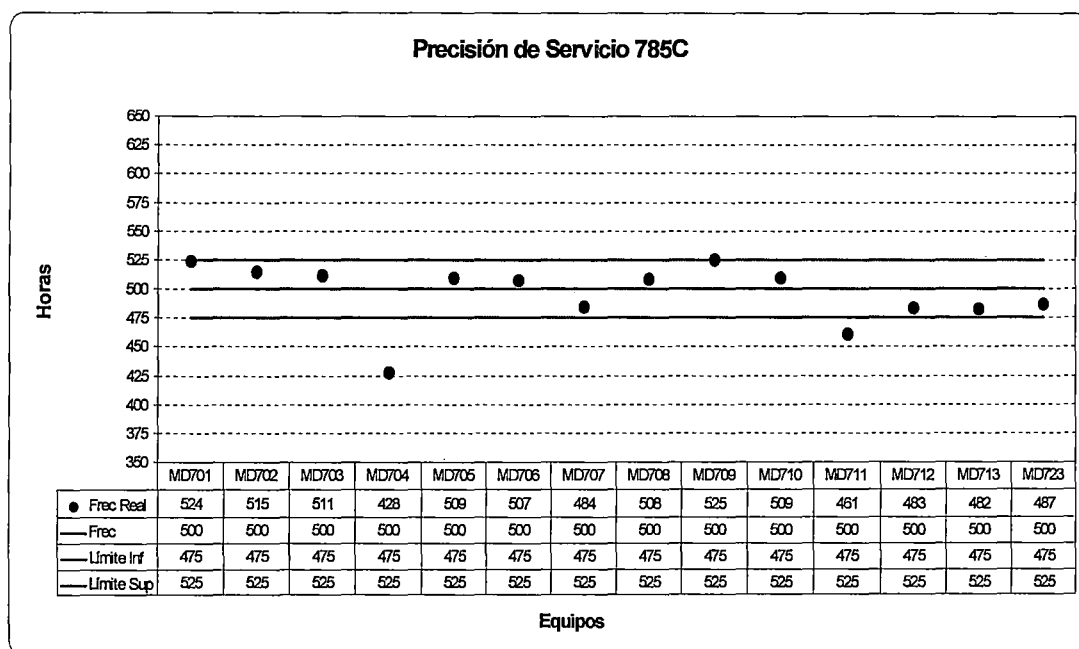
Fuente: Elaboración interna del laboratorio de lubricantes shell de MBM

- Los resultados de las muestras con más de 500 horas de trabajo en todos los casos arrojaron valores por debajo de los especificado en la tabla maestra.
- Con los resultados logrados se estableció un nuevo plan de mantenimientos como se muestra en la siguiente tabla:

Compartimiento	Frecuencia (h)	Cantidad (gl)	Observaciones
Motor	500	250	El motor define la parada del equipos, que en este caso es cada 500 horas
Sistema hidráulico	4000	120	
Dirección hidráulica	4000	28	
Transmisión	2000	48	
Ruedas delanteras	1000	7	
Diferencial/mandos	4000	140	

Con las acciones de mejora implementadas, las paradas de los camiones por PMs se redujó de 30 a 15 paradas por camión al año. Esto significó un incremento en la disponibilidad mecánica de 1300 horas por año y por flota. En la siguiente gráfica se muestra la precisión de servicio de la flota de camiones 785C:

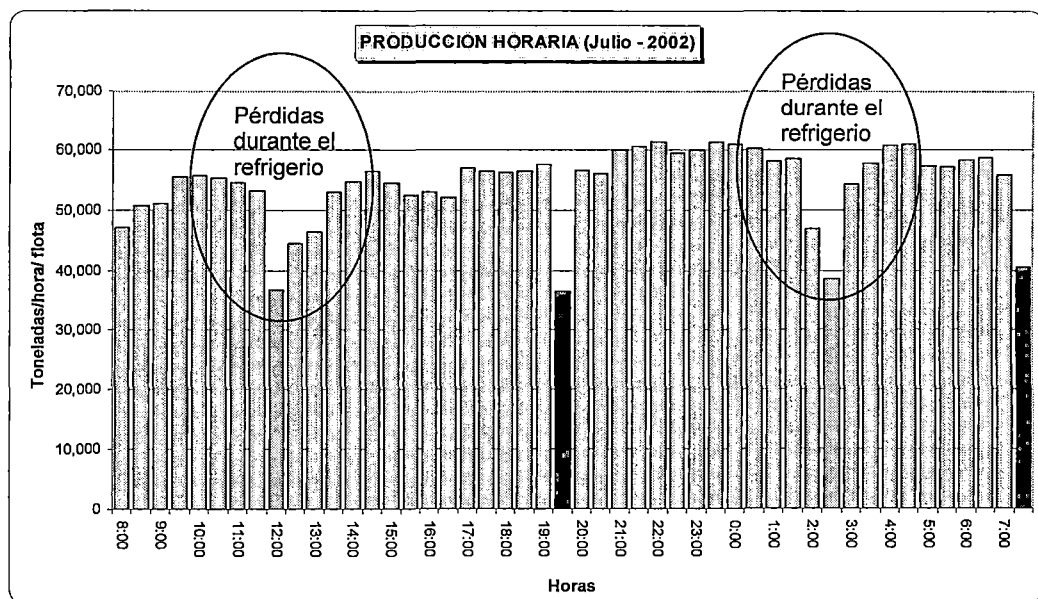
Gráfico 4.4. Precisión de PMs de la flota de camiones 785C



Fuente : Elaboración propia de Planeamiento mina MBM

4.2.4. Causa: Equipos de producción paran durante el refrigerio.- El sistema de trabajo en turnos de 12 horas tiene refrigerios programados de 30', durante el día entre las 12a.m. y 2 p.m. y en la amanecida entre las 2 a.m. y 3 a.m., estas paradas originan pérdidas significativas en la producción debido a que los camiones dejan de operar.

Gráfico 4.5. Pérdidas de producción durante los refrigerios

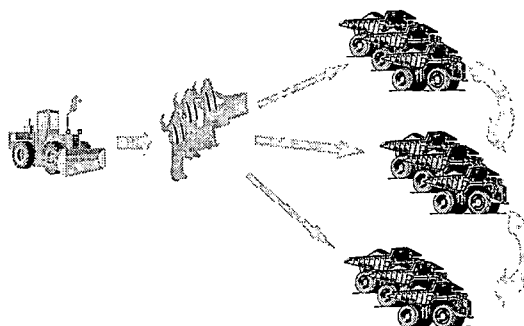


Fuente : Base de datos dispatch

4.2.4.1. Implementar relevos con operadores de equipo auxiliar.-

Para evitar las pérdidas de producción durante el refrigerio, se implementó un sistema de relevos progresivos que minimizan las paradas de los equipos, el sistema funciona de la siguiente forma:

- El refrigerio se otorga progresivamente durante un periodo de 2 horas en el día y la madrugada.
- Se paran los equipos auxiliares durante dicho periodo y los operadores pasan a relevar a los operadores de la flota principal de camiones y cargadores.



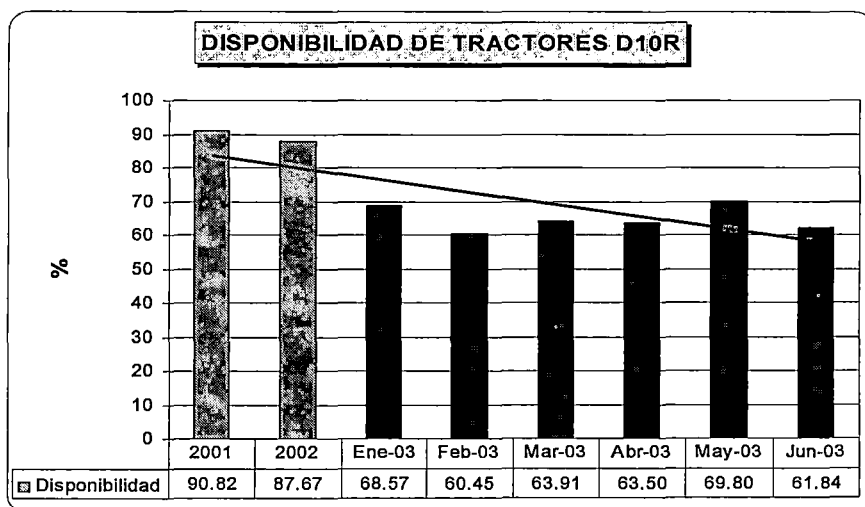
- El relevo se ejecuta normalmente con un equipo de 3 o 4 operadores.
- La parada se reduce al tiempo que toma el operador en estacionar y bajar del equipo. Normalmente el tiempo de parada por el relevo es de aproximadamente 5 minutos por camión.

4.2.5. Causa: Vías o rutas de acarreo en mal estado.- El estado de las vías constituye uno de los principales factores que afectan la disponibilidad, utilización y rendimiento de los equipos. Su mal estado origina daños prematuros del equipo, reduce la velocidad de acarreo y obliga a reducir la carga transportado por los equipos. Para mejorar esta situación se implementaron las siguientes mejoras:

4.2.5.1. Mejorar la disponibilidad y utilización de equipo auxiliar.-

Los equipos auxiliares (especialmente tractores) equivocadamente tenían baja prioridad dentro del mantenimiento y operación de los equipos, debido a esta situación en el tiempo los equipo se fueron deteriorando y su disponibilidad fue bajando progresivamente hasta los límites mostrados en el siguiente gráfico:

Gráfico 4.6. Disponibilidad inicial de la flota de tractores D10R

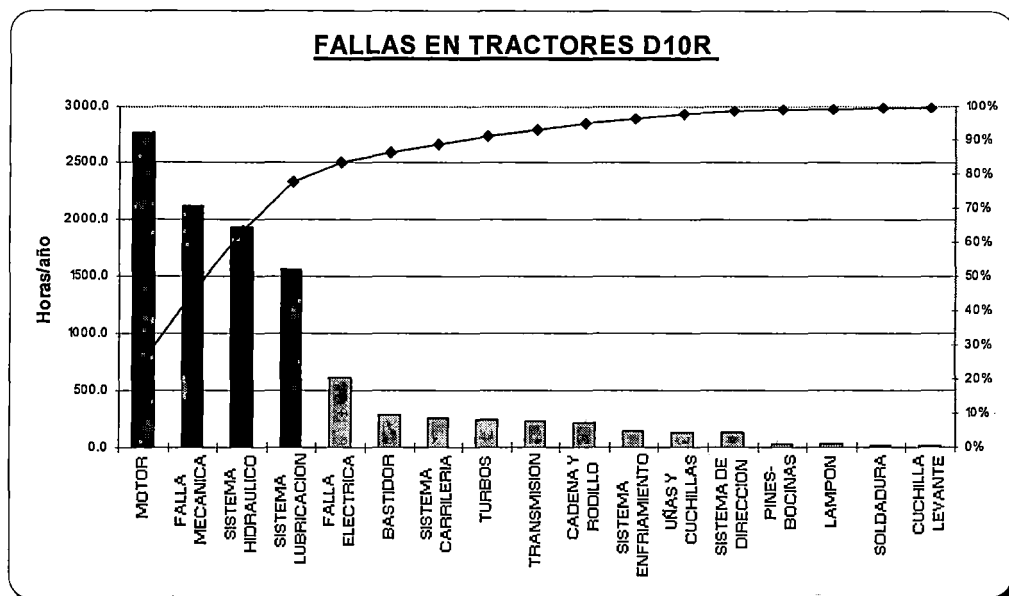


Fuente : Base de datos dispatch

Para revertir esta situación, se aplicaron las siguientes acciones de mejora:

- **Identificación y priorización de los problemas.-** Se recopiló y analizó la información para determinar las principales fuentes de pérdidas, que se plasma en el siguiente gráfico:

Gráfico 4.7. Pareto de fallas de la flota de tractores D10R



Fuente : Base de datos dispatch

- **Mejorar la disponibilidad de componentes mayores.-** Para una flota de 4 tractores que trabajan como mínimo 20 horas por día, no se contaba con repuestos para los componentes del tren de fuerza (motor, bastidores, transmisión y mandos finales), por lo que la falla de cualquiera de dichos componentes generaba paradas prolongadas del equipo hasta que se culminara la reparación del componente fallado (como mínimo 15 días). Para mejorar esta situación, se compró motor y bastidores como componentes de respaldo y se redujo considerablemente estas paradas prolongadas.
- **Reducir las fallas en los equipos.-** El mantenimiento inadecuado de los tractores originó el deterioro prematuro del equipo, por lo que era indispensable recuperar las condiciones

normales de operación del equipo. Se desarrollaron las siguientes acciones para dicho efecto:

- **Identificación de no conformidades y oportunidades en el equipo.-** Se conformó un equipo multidisciplinario de operadores, mecánicos, proveedores y supervisión para

identificar todas

las no

conformidades

en el equipo.

Producto de

este proceso de

inspección

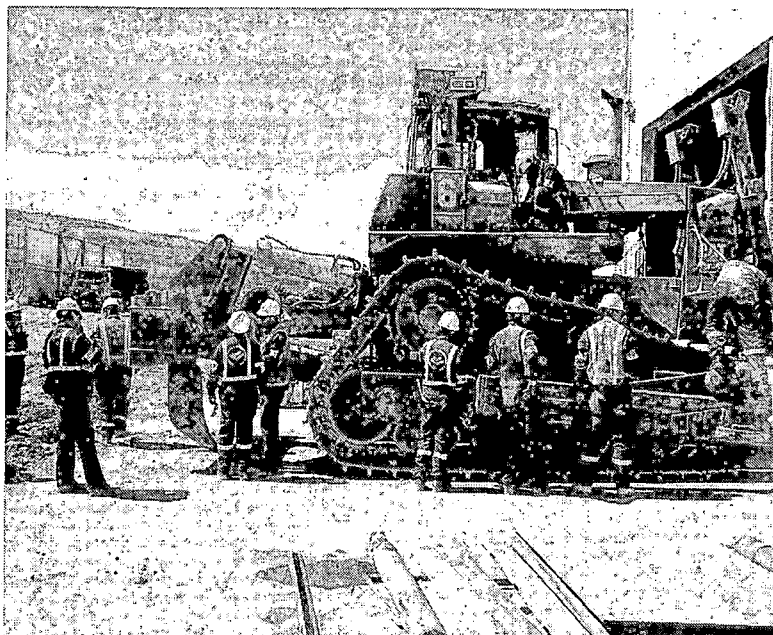
minuciosa se

identificaron un

total de 99

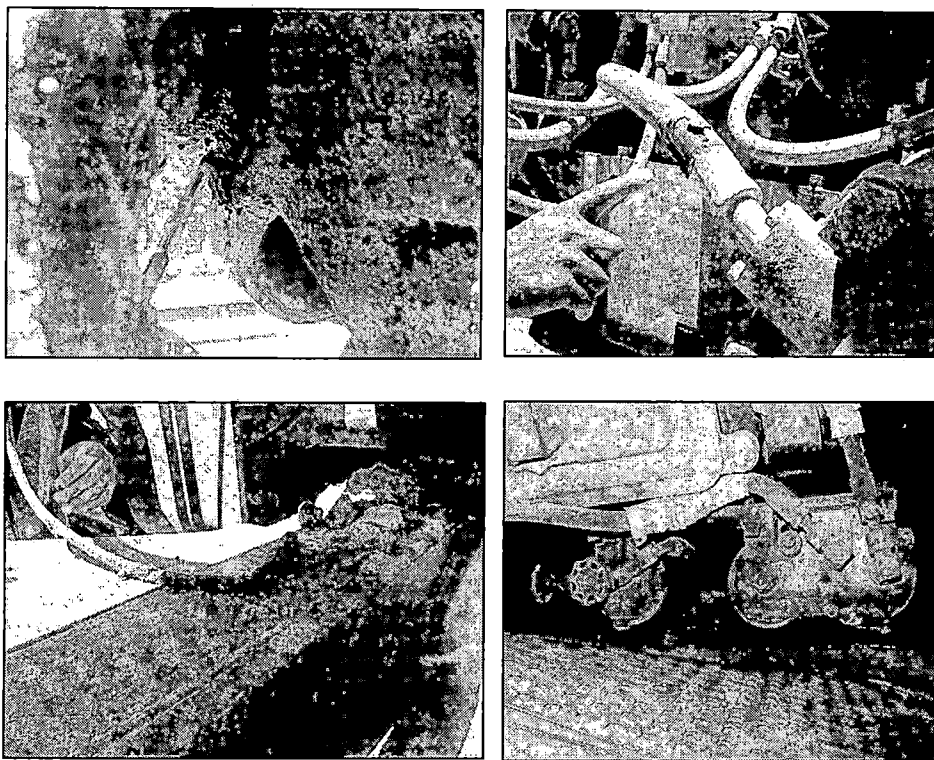
fallas o no

conformidades



en el equipo y 47 oportunidades de mejora.

- **Implementación de acciones correctivas.-** Con el inventario de fallas y oportunidades de mejora, se desarrolló un plan de acción orientado a corregir las fallas e implementar las acciones de mejora. Como ejemplo citaremos los sistemas de lubricación y las mangueras hidráulicas, sistemas a los cuales no se les daba importancia ni seguimiento tal como se muestra en las siguientes fotos:



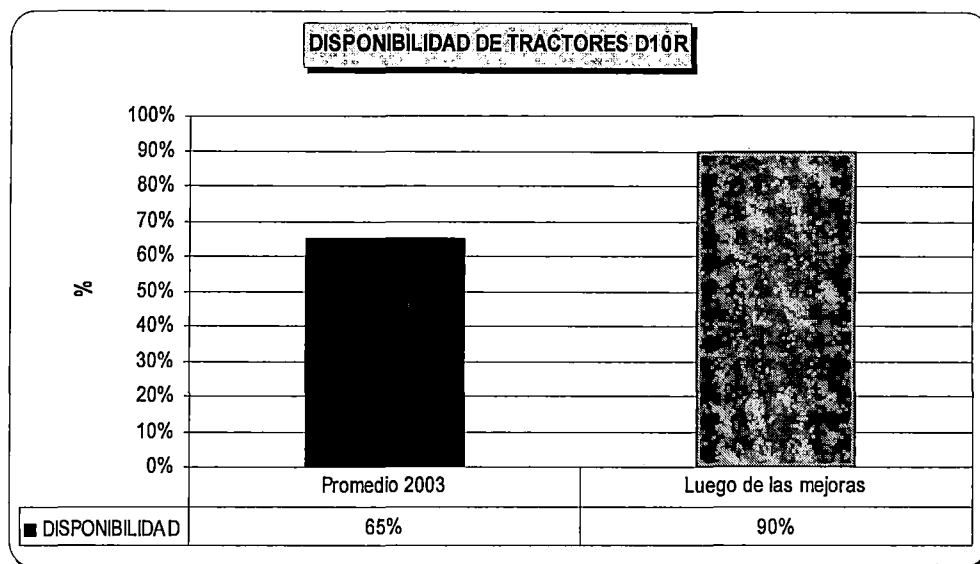
En el caso particular de estos sistemas, se desarrollaron planes de lubricación y reemplazo de mangueras a cargo del operador del equipo como parte de sus funciones, adicionalmente se le encargó funciones de limpieza, inspección y ajustes menores. Con estas acciones simples pero importantes, se mejoró sustancialmente las condiciones del equipo y se minimizó las fallas imprevistas por estos sistemas.

- **Acciones complementarias.-** Adicionalmente se implementaron las siguientes acciones de mejora que ayudaron a mejorar la condición del equipo:
 - Reentrenamiento de los operadores a cargo de Ferreyros
 - Rotar a los operadores al área de mantenimiento para que mejoren sus conocimientos técnicos sobre el equipo.
 - Se limitó la velocidad de traslado de los equipos a un máximo de 2.5 Km/h.

- Se asignó un Supervisor responsable de la flota de tractores.

Como resultado de las acciones de mejora desarrolladas, la disponibilidad de los tractores se elevó desde 65% a un promedio de 90%.

Gráfico 4.8. Disponibilidad final de la flota de tractores D10R



Fuente : Base de datos dispatch

4.2.5.2. Implementar plan de mantenimiento y mejora de las vías.-

El plan de mantenimiento y mejora de las vías supuso la implementación de las siguientes acciones:

- Se estandarizó los criterios de diseño y construcción de las vías, estableciendo los siguientes parámetros:
 - Pendientes y peraltes con un máximo de 10%.
 - Inclinación de las vías para drenaje 2%.
 - Mantener el ancho de las vías en 21m (3 veces el ancho del camión).
- Se desarrolló un plan semanal de mantenimiento de las vías.
- Se designó un supervisor responsable para el mantenimiento de las vías.

Luego de obtener un buen estado de las vías, se elevó la velocidad máxima de desplazamiento de los camiones de 45 a 60 Km/h., se extendió la vida de los componentes mayores (Diferencial, mandos finales, cilindros de suspensión) en más de 20%, tal como se muestra en el siguiente gráfico:

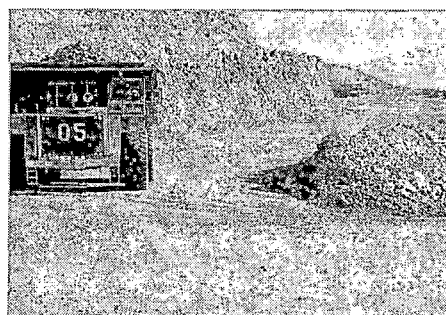
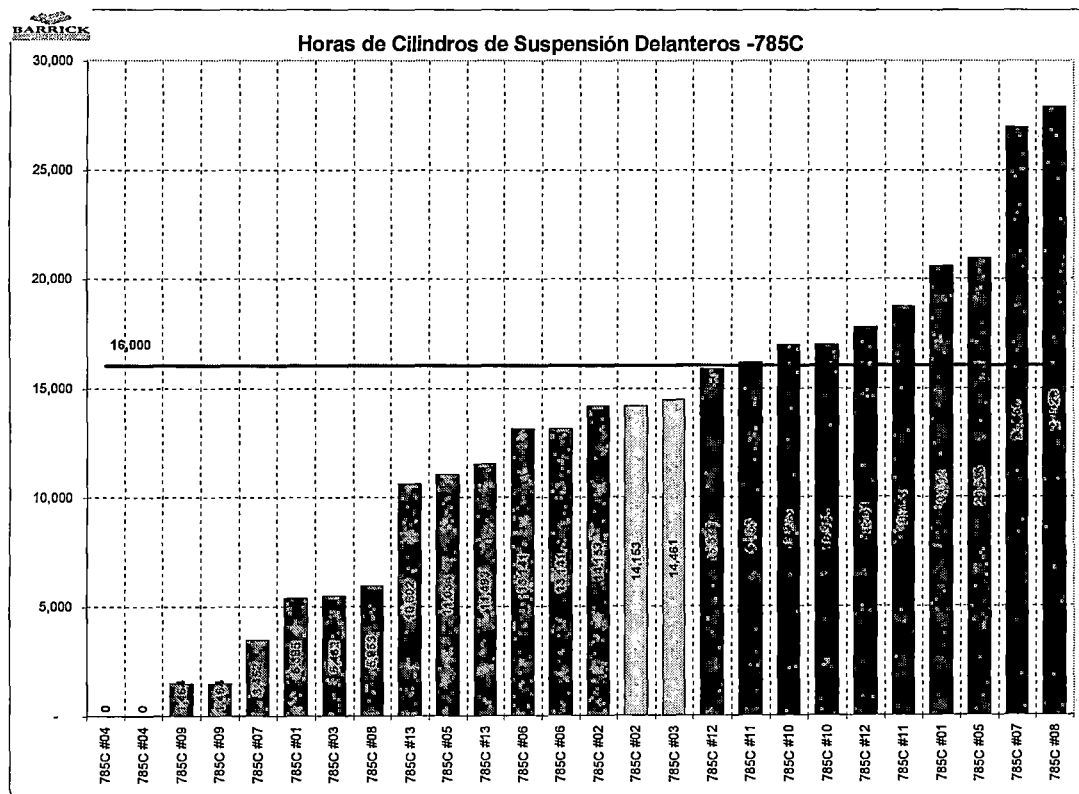


Gráfico 4.9. Duración de los cilindros de suspensión de camiones 785.

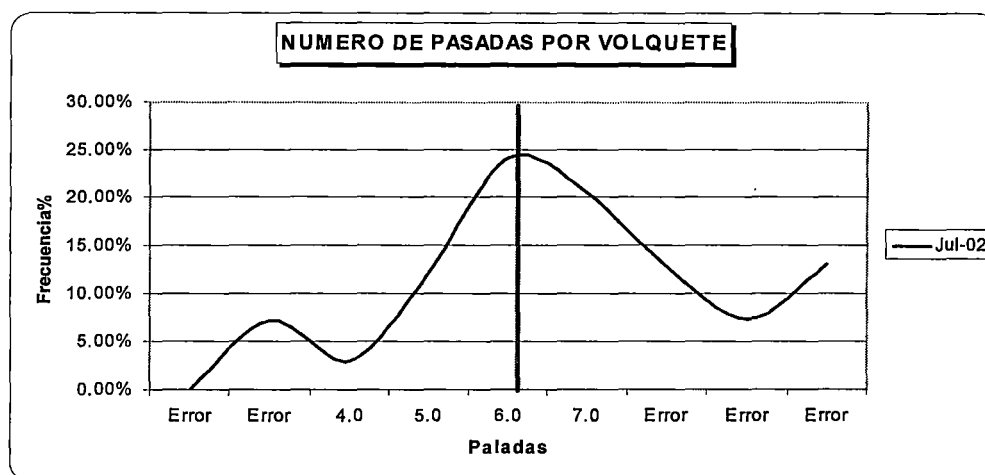


Fuente : Planeamiento mantenimiento

4.2.6. Causa: 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 se llenaba en 6 pasadas, es decir, a un ritmo de 22.5 toneladas por pasada y un factor de llenado del cucharón de 75% (ver gráfico).

Gráfico 4.10. Número de pasadas por camión 785 (inicial).



Fuente : Base de datos dispatch

La meta del equipo fue fijada para cargar los camiones con sólo 5 pasadas y con un factor de llenado mayor al 90%, para lograr esta meta se implementaron las siguientes acciones:

4.2.6.1. Re entrenar a los operadores de equipo pesado.- De las observaciones realizadas en campo con la participación directa del proveedor y expertos, se determinó que las técnicas de carguío empleada por los operadores era inadecuada y por tanto era necesario un reentrenamiento general de todos. Se desarrollaron los siguientes cursos de entrenamiento con el apoyo del representante de Caterpillar:

- Técnicas de carguío de cargadores 994.
- Mantenimiento básico de cargadores 994.

Producto del entrenamiento se estandarizó las siguientes prácticas:

- Forma de ataque del cargador al frente de carguío (siempre perpendicular)

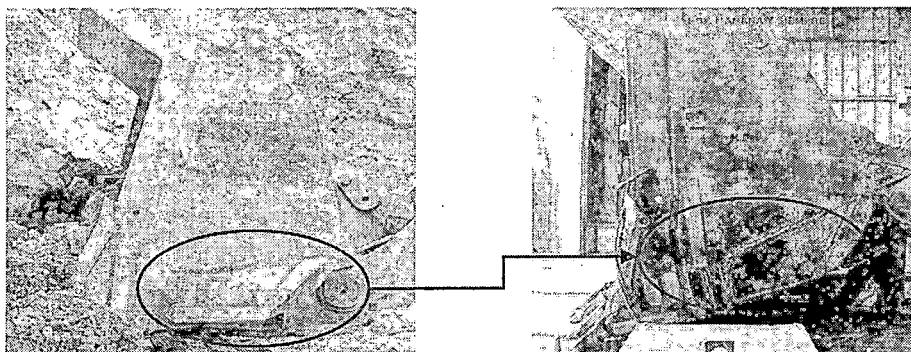
- Técnicas para mejorar el factor de llenado del cucharon
- Optimización del cuadrado camión y cargador (siempre a 45 grados)
- Minimización del desplazamiento del cargador (1.5 vueltas de la llanta máximo)

4.2.6.2. Reducir peso de los cucharones.- Luego de una evaluación minuciosa de los cucharones instalados en los cargadores, se encontró los siguiente factores que originan pérdidas en el cucharon:

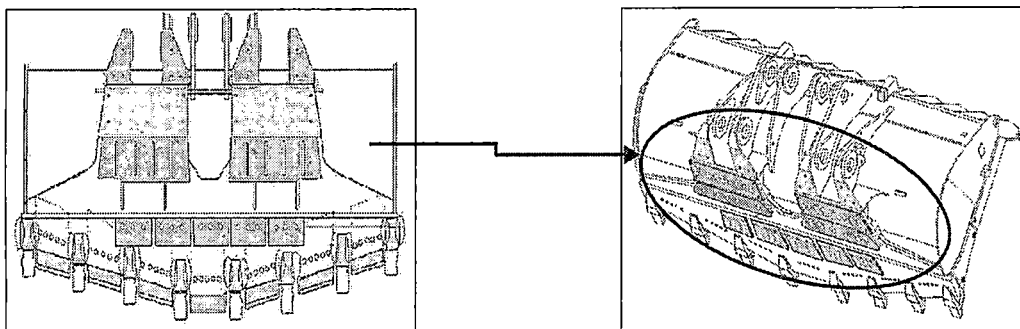
- Excesivos refuerzos externos e internos que incrementan el peso
- Salientes en los extremos del cucharon que dificultan la penetración
- Puntas inadecuadas, diseñadas para alta duración pero insuficiente penetración.

Para revertir esta situación se implementaron las siguientes mejoras:

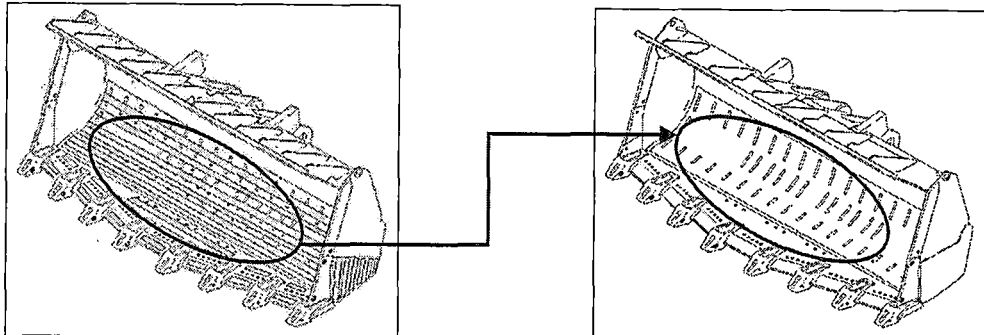
- Se eliminaron las puntas salientes en los laterales que dificultan la penetración



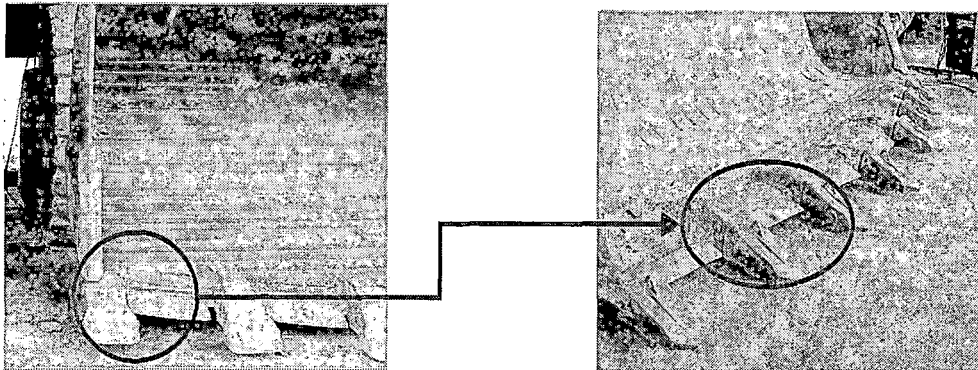
- Perforación y reducción de peso en la parte inferior .



- Retiro de los refuerzos internos del cucharón que impiden el flujo de material



- Cambio del diseño de puntas para el cucharón, priorizando la penetración antes que la duración.



4.2.6.3. Mejorar la fragmentación del material- Otro de los factores que determina la productividad de carguío, es la calidad de la fragmentación del material que era ineficiente para los cargadores frontales, por lo tanto era necesario mejorar la fragmentación con las siguientes acciones:

- Reducción del diámetro de perforación de 9 7/8" a 7 7/8".
- Distribución del explosivo en forma uniforme dentro de los agujeros perforados.
- Uso de emulsión en las zonas con agua.

Con dichas acciones se mejoró la fragmentación como se muestra en las siguientes fotografías:

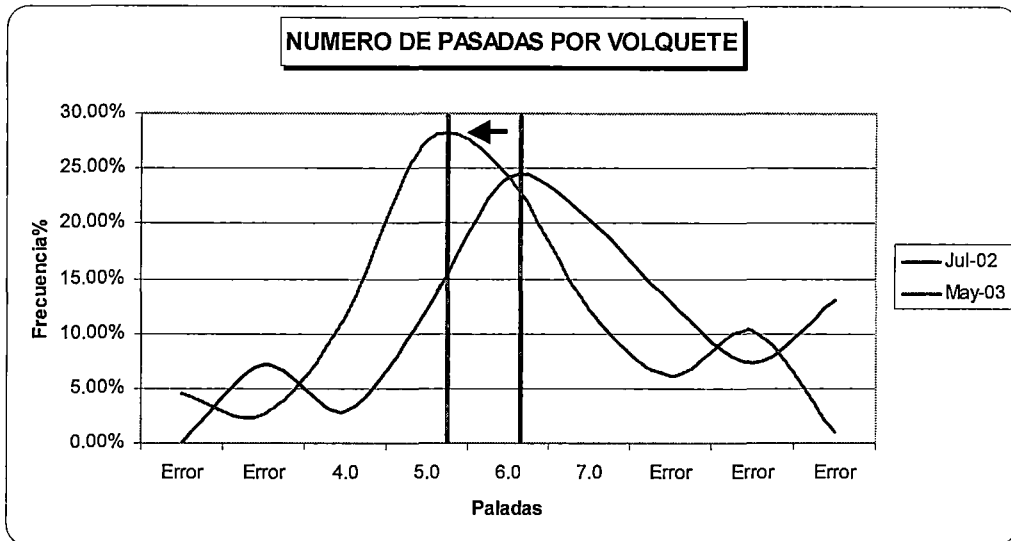
Con brocas 20 cm. (después)

Con brocas 25 cm. (antes)



Completada la implementación y evaluación de las mejoras, se logró reducir el número de pasadas de 6 a 5 por camión con un factor de llenado mayor al 90%, tal como se muestra en el siguiente gráfico:

Gráfico 4.11. Número de pasadas por camión 785 (final).



Fuente : Base de datos dispatch

Producto de las mejoras, se lograron los siguientes resultados:

- Producción horaria inicial = 1,706 ton/hora
- Producción horaria luego de la mejoras = 1,842 ton/hora (8% de mejora)
- Toneladas adicionales por año = 1,800,000 toneladas adicionales por flota.

CAPITULO 5

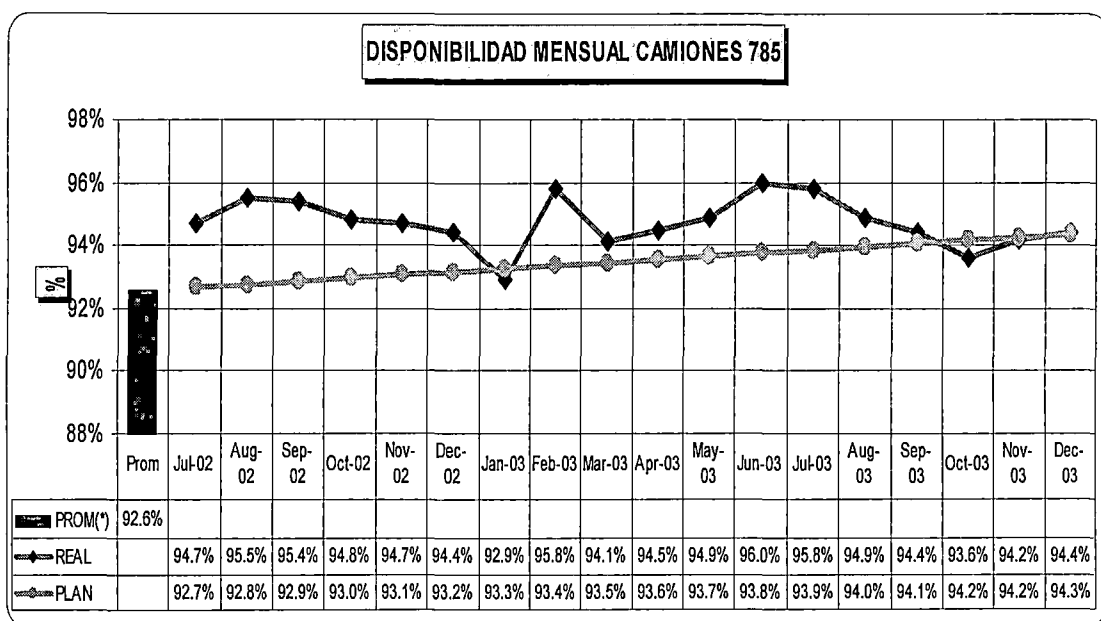
5. Evaluación de resultados

Culminada la implementación de las acciones de mejora descritas en el capítulo anterior, a continuación se analizará la evolución de los principales indicadores que impactan directamente en la efectividad global de la flota de camiones.

5.1. Disponibilidad mecánica

La eliminación o reducción de las pérdidas que afectaban la disponibilidad mecánica, ha permitido incrementar este indicador desde un promedio de 92.6% en el primer semestre del 2002 a un promedio de 94.7% durante los siguientes 18 meses, esto representa 2% de mejora.

Gráfico 5.1. Disponibilidad final de la flota de camiones 785.



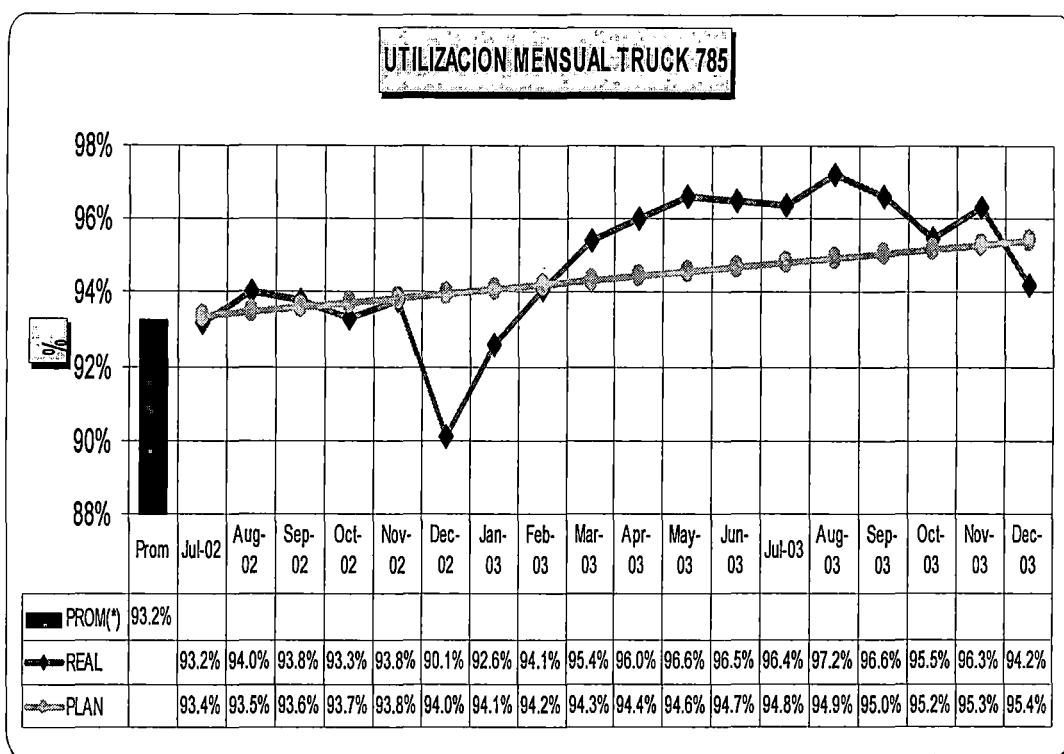
(*) Promedio enero – julio 2002;

Fuente: Base de datos Dispatch

5.2. Utilización operativa

De manera similar, la eliminación o reducción de las pérdidas que afectaban la utilización operativa, ha incrementado la utilización desde un promedio de 93.2% en el primer semestre del 2002 a un promedio de 94.8% durante los siguientes 18 meses, que representa igualmente 2% de mejora.

Gráfico 5.2. Utilización final de la flota de camiones 785.



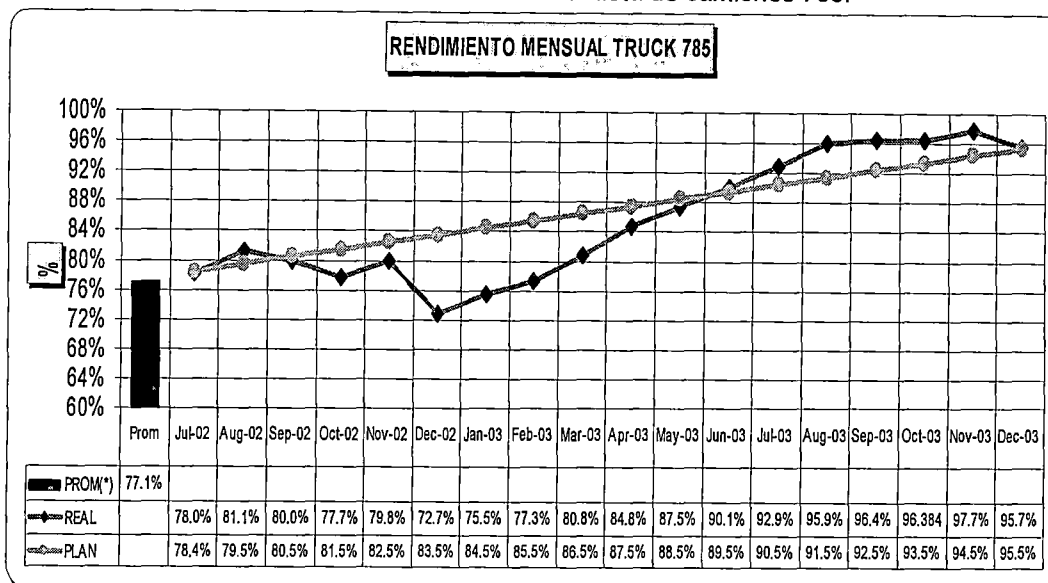
(*) Promedio enero – julio 2002;

Fuente: Base de datos Dispatch

5.3. Rendimiento de los equipos

En el caso del rendimiento, las acciones de mejora permitieron aumentar el valor desde un promedio de 77.1% en el primer semestre del 2002 a un promedio de 87% durante los siguientes 18 meses, que equivale a una mejora de 13%.

Gráfico 5.3. Rendimiento final de la flota de camiones 785.



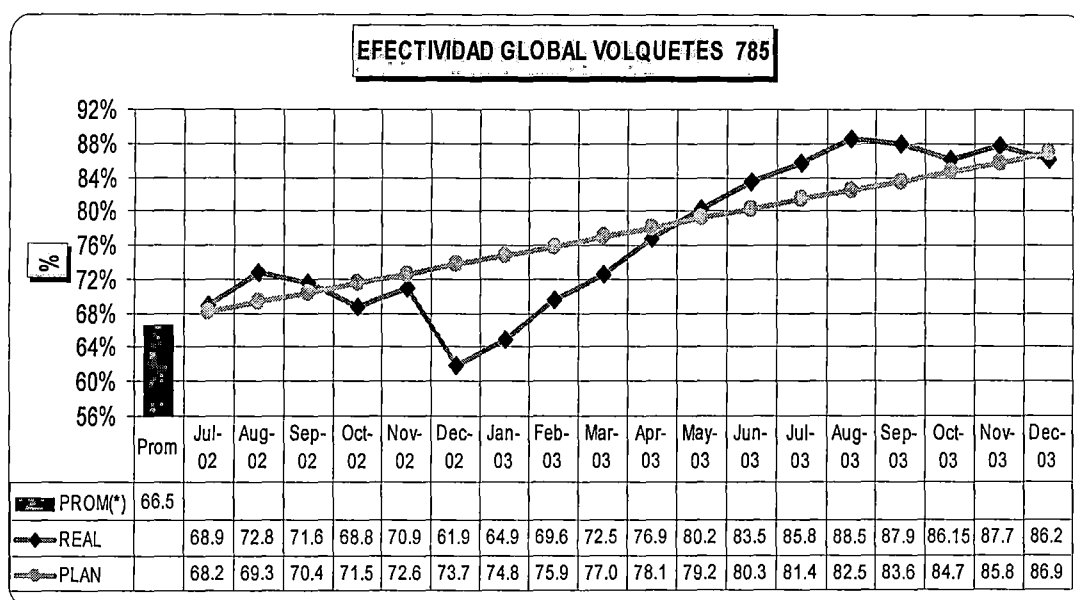
(*) Promedio enero – julio 2002;

Fuente: Base de datos Dispatch

5.4. Efectividad global de la flota

Con la mejora de los indicadores de disponibilidad, utilización y rendimiento, la efectividad global de la flota se incrementó desde un promedio de 66.6% en el primer semestre del 2002, a un promedio de 77.5% durante los siguientes 18 meses, mejora sustancial de 17%.

Gráfico 5.4. Efectividad global final de la flota de camiones 785.



(*) Promedio enero – julio 2002;

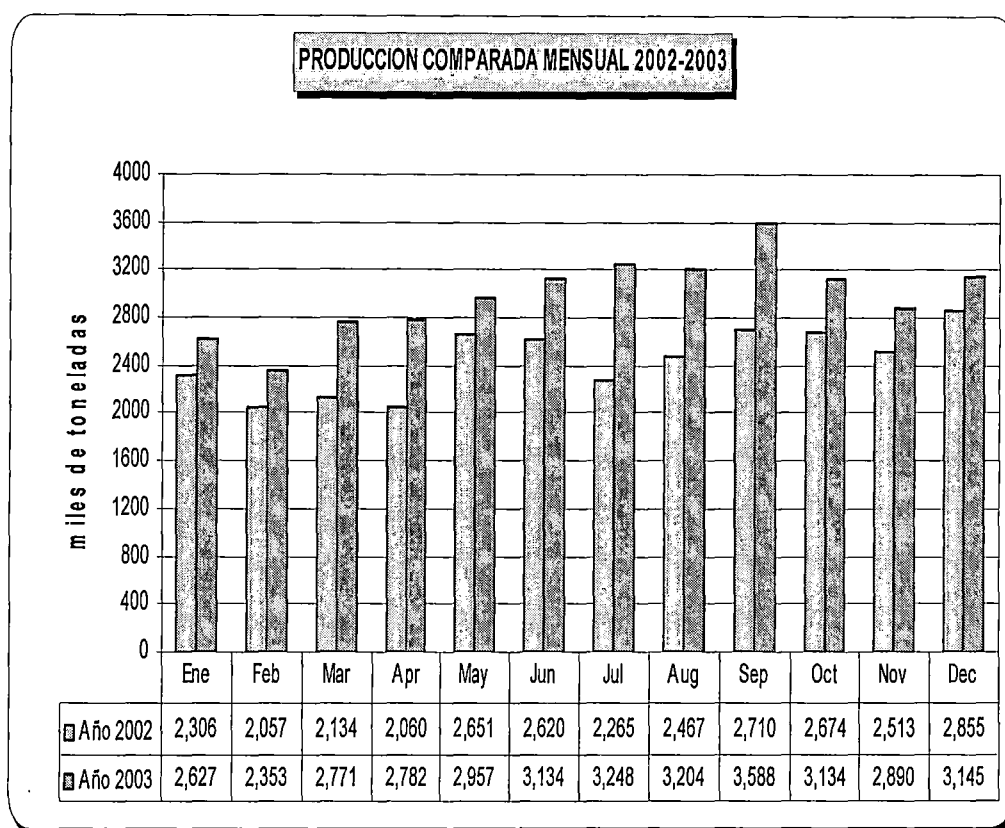
Fuente: Base de datos Dispatch

Con los resultados obtenidos, podemos indicar que la operación de la mina Pierina ha logrado posicionarse como una operación clase mundial, a la vez se ha logrado cumplir con la metas inicialmente establecidas.

5.5. Producción total de la mina

La mejora de la efectividad global de la flota se refleja directamente en la producción total de la mina, la misma que se vio incrementada desde un total de 29.3 a 35.8 millones de toneladas, es decir, un incremento total de 22%. Este incremento importante ha hecho que la mina Pierina sea calificada como la mejor en productividad dentro de la corporación Barrick.

Gráfico 5.5. Producción mensual total de la mina 2002-2003.



Fuente : Base de datos dispatch

5.6. Evaluación de los beneficios cuantitativos

Tomando el promedio de los últimos 18 meses, los beneficios cuantitativos logrados como producto de la implementación de las diferentes acciones de mejora anteriormente descritas, son los siguientes:

- **Horas adicionales para la producción.-** Las horas ganadas para la producción son:

Por mayor:	Horas/flota/año
Disponibilidad	$8760 \cdot (0.947 - 0.926) \cdot 13 = 2392$
Utilización	$8760 \cdot 0.947 \cdot (0.948 - 0.932) \cdot 13 = 1725$
Rendimiento	$8760 \cdot 0.947 \cdot 0.948 \cdot (0.87 - 0.771) \cdot 13 = 10121$
Total	14 232 horas

- **Toneladas adicionales de material acarreado.-** Las toneladas que se ganan por mejor efectividad global de la flota es:

- Flota de camiones = 13 camiones
- Producción horaria = 350 toneladas/hora/camión
- Horas adicionales = 14 232 horas/flota/año
- **Producción adicional = $13 \cdot 35 \cdot 14232 = 6\,475\,560$ toneladas/año.**

- **Dinero ahorrado.-** Los ahorros monetarios que se generan por una mayor efectividad global de la flota es:

- Costo horario de los camiones = 250 US\$/hora
- Horas adicionales (ahorradas) = 14 232 horas/flota/año
- **Ahorro total = $250 \cdot 14\,232 = 3\,558\,000$ US\$/año**

CONCLUSIONES

1. La minería es el sector más importante del país y contribuye con más del 50% de nuestras divisas, por tanto la implementación de las filosofías de mejora continua para aumentar la productividad de este sector, tiene un efecto multiplicador muy importante para nuestro país.
2. Se ha demostrado que la base del éxito para lograr resultados sorprendentes con la aplicación de la filosofía de mejora continua, es la aplicación sistemática y disciplina del método de solución de problemas y las herramientas de manufactura esbelta.
3. 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 del equipo. Lamentablemente este indicador no es usado en el sector minero ni en el sector industrial, principalmente por desconocimiento. El presente trabajo pretende cubrir en parte este desconocimiento existente.
4. La principal ventaja de enfocarse en eliminar o minimizar las pérdidas que afectan la efectividad global de la flota, es que la mayoría de acciones están orientadas a mejorar o modificar los métodos de trabajo; y, por lo tanto, con mínima inversión se obtienen grandes beneficios para las empresas.

5. El sector minero tradicionalmente ha apostado a mejorar su productividad recurriendo a las grandes inversiones en activos y uso intensivo de consultoría externa, mientras que el enfoque de las técnicas de mejoramiento continuo se concentra en maximizar los recursos existentes con mínima inversión y con resultados espectaculares como se demuestra en la presente tesis.

6. Ningún proyecto de mejora continua tendrá éxito sin el apoyo decidido de la alta gerencia de la empresa, si no se cuenta con el apoyo es mejor no iniciar un proyecto de esta naturaleza.

BIBLIOGRAFIA

- SUZUKI, Tokuro. "TPM en industrias de proceso"
Japan Institute of Plant Maintenance. Madrid 1995
- NAKAJIMA, Seiichi. "Implantación del mantenimiento productivo total"
Japan Institute of Plant Maintenance. Madrid 1991
- SHINGO, Shigeo. "Una revolución en el sistema de producción: El sistema SMED"
Productive Press, Inc . Madrid 1990.
- EVANS, James. "Administración y Control de la Calidad"
Grupo Editorial Iberoamericana S.A. de C.V. Mexico 1995
- ASAKA, Tetsuichi. "Manual de herramientas de calidad: El enfoque japonés"
Productive Press, Inc . Madrid 1992.
- Ohno, Taiichi. "Toyota Production Systems"
Productive Press, Inc . USA 1990.
- Caterpillar. "Caterpillar Performance Handbook"
Caterpillar, USA 2003.

Barrick Gold.

"Barrick Operating System"

Toronto 2002.

ANEXOS

Anexo 1: Tablas y gráficos

Tablas

Tabla 3.1. Pérdidas que afectan la disponibilidad de la flota de camiones

Tabla 3.2. Pérdidas que afectan la utilización de la flota de camiones

Tabla 3.3. Posibles causas que originan pérdidas en la flota de camiones

Tabla 4.1. Evaluación de posibles soluciones

Tabla 4.2. Evaluación de la capacidad de carga de camiones 785

Tabla 4.3. Evaluación económica del proyecto de tolvas livianas para camiones 785

Tabla 4.4. Evaluación económica del proyecto de tolvas livianas para camiones 785

Gráficos

Gráfico 1.1. Organigrama general de Minera Barrick Misquichilca

Gráfico 3.1. Pérdidas que afectan la disponibilidad de la flota de camiones

Gráfico 3.2. Pérdidas que afectan la utilización de la flota de camiones

Gráfico 3.3. Pérdidas que afectan el rendimiento de la flota de camiones

Gráfico 3.4. Pérdidas que afectan la efectividad global de la flota de camiones

Gráfico 3.5. Análisis de las causas que originan pérdidas en la flota de camiones

Gráfico 3.6. Diagrama de Pareto para priorizar pérdidas en la flota de camiones

Gráfico 4.1. Incremento de la capacidad de carga de camiones 785

Gráfico 4.2. Incremento de la operatividad del sistema dispatch

Gráfico 4.3. Duración del PM de la flota de camiones 785C

Gráfico 4.4. Precisión de PMs de la flota de camiones 785C

Gráfico 4.5. Pérdidas de producción durante los refrigerios

Gráfico 4.6. Disponibilidad inicial de la flota de tractores D10R

Gráfico 4.7. Pareto de fallas de la flota de tractores D10R

Gráfico 4.8. Disponibilidad final de la flota de tractores D10R

Gráfico 4.9. Duración de los cilindros de suspensión de camiones 785.

Gráfico 4.10. Número de pasadas por camión 785.

Gráfico 4.11. Número de pasadas por camión 785 (final).

Gráfico 5.1. Disponibilidad final de la flota de camiones 785

Gráfico 5.2. Utilización final de la flota de camiones 785.

Gráfico 5.3. Rendimiento final de la flota de camiones 785.

Gráfico 5.4. Efectividad global final de la flota de camiones 785.

Gráfico 5.5. Producción mensual total de la mina 2002-2003.