

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO MINERO	3
1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	DEFINICIÓN Y FILOSOFÍA DEL MANTENIMIENTO	3
3.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO (MP).....	5
4.	MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREDICTIVO	7
5.	CLASES DE MANTENIMIENTO	8
II.	LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO MINERO	10
1.	ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO	10
2.	EFFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO.....	10
3.	DEFINICIÓN DE LOS ÍNDICES DE RENDIMIENTOS DE LOS EQUIPOS MINEROS.....	11
4.	LOS COSTES DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES (M Y R)	11
5.	PORCENTAJE DEL VALOR DE LA MAQUINA PARA CALCULAR EL COSTE DE MANTENIMIENTO	13
III.	LOS TALLERES MINEROS	19
1.	TALLERES MINEROS	19
2.	TALLER PRINCIPAL DE REPARACIONES	19
3.	TALLERES MÓVILES O ESPECIALIZADOS	22
4.	ESTACIÓN DE SERVICIO Y LAVADO.....	23

I. INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO MINERO

OBJETIVOS GENERALES

1. Comprender cual es el significado y las implicaciones del concepto de Disponibilidad.
2. Conocer cuales son los objetivos del mantenimiento minero.
3. Conocer cuales son las bases de un programa de mantenimiento.
4. Conocer cuales son los criterios básicos para un mantenimiento minero.
5. Conocer las tipologías de mantenimiento y comprender las diferencias y singularidades de cada una.
6. Conocer los elementos de un programa de mantenimiento preventivo.
7. Comprender como se articula la organización del mantenimiento.
8. Saber como se mide la efectividad del mantenimiento y cuales son los índices que se emplean.
9. Conocer en qué consiste el mantenimiento correctivo.
10. Conocer el papel que juegan las tecnologías de la información en el mantenimiento.
11. Conocer el significado y aplicación del intercambio de conjuntos.
12. Conocer las características y la tipología de los talleres mineros.
13. Comprender la relación que existe entre la envergadura del proyecto minero y las necesidades de inversión en los talleres de mantenimiento
14. Conocer los criterios que rigen el diseño de un taller minero.



Taller subterráneo de la mina de Palabora

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mantenimiento es una actividad que tiene no solamente un impacto directo sobre la capacidad productiva de un proyecto, sino que es un elemento clave para alcanzar unas condiciones de seguridad y de protección medioambiental acordes con las políticas de desarrollo sostenibles de la empresa. Es por tanto y desde todo punto de vista, una actividad que adquiere un papel preponderante en la viabilidad de un proyecto o de una empresa.

2. DEFINICIÓN Y FILOSOFÍA DEL MANTENIMIENTO

La tendencia creciente de la capacidad de la maquinaria hace que ésta represente un elevado costo de capital por su adquisición a la vez que



POLITECNICA

INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO MINERO I. PRINCIPIO GENERALES



aumenta la responsabilidad de cada unidad en la obtención de la producción. Por todo ello, se ha pasado a sustituir el criterio anterior de disponer de unidades de reserva por el de lograr un aumento de la disponibilidad mecánica de los equipos y por lo tanto de una utilización más saturada de ellos. Además, bien sabe quien ha dirigido una explotación, que tal criterio de reserva de unidades era bastante falso, ya que en cuanto se disponía de todos los equipos se empleaban todos y por tanto como reserva no quedaba ninguna máquina. Para aumentar el índice de disponibilidad mecánica que viene definido por la fórmula:

$$D.M. = \frac{\text{Horas posibles de trabajo} - \text{Horas de parada por reparación}}{\text{Horas posibles de trabajo}}$$

No existe otra solución, para un trabajo planificado como es el minero, que disminuir las horas de parada en el taller o en el campo y para conseguirlo la mejor solución es prevenir las averías mediante un sistema lo más perfecto de mantenimiento preventivo (MP), esto es, sacrificando unas horas programadas para evitar unas paradas incontroladas.

Un avanzado programa de mantenimiento de los equipos mineros para obtener la producción con las menores paradas y costos, así como para reducir los inmovilizados en el almacén, rentabilizar la gran inversión y alargar la vida útil de la maquinaria debe considerar los siguientes aspectos:

- Una selección adecuada de los equipos para obtener la producción programada.
- Un buen entrenamiento y motivación del personal.
- Una disponibilidad de talleres adecuados.
- Un buen programa de mantenimiento preventivo.
- Un gran apoyo y respaldo de un buen almacén y de la logística correspondiente.
- Una razonable cooperación entre los departamentos de operación y mantenimiento.
- Un sistema de comunicaciones efectivo.
- El apoyo del centro de documentación y recopilación de datos (computadoras, etc).

Durante la fase de planificación y diseño del proyecto tanto el departamento de operación, como el de mantenimiento e ingeniería, apoyados a su vez por el de compras, deben determinar el tipo, capacidad, número y marca de los equipos necesarios para la explotación. Como ya hemos indicado anteriormente, algunos de los criterios más importantes, que afectan al mantenimiento para la selección más adecuada de la maquinaria son:

- La standarización y homogeneización del parque, que ofrece diversas ventajas, tales como familiarización de los operadores con los equipos, reducción del personal de mantenimiento y almacén y necesidad de un número menor de piezas de repuesto y de cursillos de especialización.
- Apoyo de la compra por un buen servicio postventa del distribuidor en el país de la operación minera.
- Valoración de las condiciones financieras, además de los valores técnicos y de servicio.
- Posibilidad de adaptación en la máquina a los avances y cambios tecnológicos.
- Valoración del número de máquinas iguales y/o similares trabajando en zonas próximas.
- Estimar los mercados de origen, facilidad de llegada de las piezas de repuesto, acceso de factoría a mina, plazos de entrega, plazos de transporte y montaje, etc.

Un segundo aspecto que se debe observar en un avanzado programa de mantenimiento, debe ser la formación y el buen entrenamiento del personal de mantenimiento. Este punto suele estar cubierto a través de los cursillos que las propias casas vendedoras realizan, o bien por los propios de la empresa. A su vez se debe intentar motivar tanto a los operadores como a los oficiales para que sean conscientes de la importancia que tienen las labores a llevar a cabo, entre ellas las muy especiales características del mismo proyecto minero.

Pero todos estos aspectos deben estar respaldados por unos medios materiales, como son los talleres fijos o móviles y las estaciones de servicio, cuya ubicación debe ser tan próxima como se pueda a la mina, diseñados con unos criterios amplios y pensando en las posibles ampliaciones que puedan necesitarse por un aumento de la capacidad de producción futura.

Otro apoyo material indispensable lo constituye el



almacén de piezas y conjuntos de repuesto y del que, volvemos a insistir, es necesario conseguir el máximo de cooperación con el departamento de mantenimiento. A su vez, este departamento tiene que trabajar estrechamente ligado con el de operación, pues la filosofía de "producción a cualquier costo" tiene que ser abolida, ya que sólo conduce a medio plazo al cierre de la explotación o una situación crítica.

Otros dos pilares sobre los que se sostiene un buen programa de mantenimiento lo constituyen, por un lado un buen sistema de comunicaciones efectivo, teléfonos, télex, fax, etc., y por otro lado un sistema informático capaz de lograr un buen control e información correcta y en tiempo real de todos los datos necesarios para la planificación de los trabajos a llevar a cabo en cada máquina y en cada momento.

Dentro del mantenimiento programado caben distinguir actualmente dos criterios o filosofías de organización, de acuerdo con el hecho de corregir el fallo inevitable antes o después de que se produzca:

- 1) Mantenimiento preventivo planificado en sus dos variantes.
- 2) Mantenimiento correctivo mediante intercambio de conjuntos completos en:
 - Horas calculadas como límites de vida del conjunto.
 - Averías y/o reparaciones. Sustitución por muerte del conjunto o pieza.

3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO (MP)

La base de este sistema es la bien conocida frase de "más vale prevenir que curar" y es definido como un programa sistemático de revisiones al que cada unidad o cada parte de ella se somete periódicamente, antes de fallar; por ejemplo:

- a) Mantenimiento diario a horas fijas.
- b) Mantenimiento semanal en días fijos.
- c) Mantenimiento mensual en un día fijo coincidiendo con los anteriores.
- d) Mantenimiento anual en una semana fija.

Los programas del mantenimiento preventivo están

basados en las recomendaciones de los fabricantes y ajustados, en base a los rendimientos reales de los equipos en operación, a la propia organización del trabajo en la empresa minera.



Para llevar a cabo un correcto MP es preciso partir de una realidad: La información del maquinista-conductor debe ser lo más completa posible, de tal forma que, además de los controles dados por todos los medios que citaremos, la propia sensibilidad humana, adecuadamente formada, nos indique las anomalías, por pequeñas que sean, que, sin duda, son la mejor base de las posibles averías o futuras causas de paradas. El informe del conductor, tomado diariamente por el encargado, debe pasar revista a todos los puntos capaces de ser apreciados por los seis sentidos - precisamente el más importante, el común- y tras el parte realizado u orden de trabajo, procurar la más rápida corrección de todos los puntos citados en aquel por insignificantes que parezcan, previa la comprobación del experto mecánico responsable.

Un programa de mantenimiento preventivo debe incluir básicamente los siguientes partes o informes:

- Parte diario del conductor.
- Orden de reparación.
- Inspección de mantenimiento preventivo.
- Registro e historial de reparación y mantenimiento.
- Parte mensual progresivo.
- Parte anual acumulado.

Otra información complementaria está constituida por



las órdenes de reparación que deben reflejar parcialmente en el pedido, contenido en el parte diario, las razones de la denuncia, pero siempre con la supervisión del jefe mecánico o eléctrico.

Las inspecciones del mantenimiento preventivo, que a veces se denominan "Gamma", se pueden realizar periódicamente (cada 25, 50, 100, 200, 500, 1000, etc., horas de trabajo) y conforme los intervalos sean más largos y aumente el número de las horas de funcionamiento, se van abarcando más puntos de inspección o control, hasta que, para un número de horas establecido, es necesario llevar los equipos al taller y realizar una gran revisión general desmontándolos para poder examinar más detenidamente todas aquellas partes que no son visibles desde el exterior.

En algunas otras explotaciones en lugar de llevarlo a cabo en unos períodos horarios fijos se efectúa el MP a una hora fija de un día fijo de cada semana, de cada mes o año, que permite una mejor organización del trabajo de una flota grande de unidades o máquinas.

El registro de reparaciones y mantenimiento, debe dar una explicación de los trabajos realizados al equipo, el costo aproximado de cualquier pieza sustituida, y el tiempo real necesitado para completar la reparación. Debe de existir también, en el registro una columna adicional para escribir las observaciones y otra columna para los tiempos de "Espera por reparación".

A partir de los partes diarios y de los registros de (R) Reparaciones y (M) Mantenimiento, se confeccionan otros partes resúmenes mensuales en los que se puede deducir la eficiencia del programa de Mantenimiento y los costos relacionados con el mismo. Toda esta información debe de servir para calcular la disponibilidad real y final de las distintas unidades, y el adecuado funcionamiento del almacén por lo que se refiere a los suministros, todo ello complementado con los costos de la reparación por cada máquina o equipo.

El parte anual debe ser una recopilación o acumulación de toda la información contenida en los partes diarios y en los mensuales y constituir un claro reflejo del historial de la unidad desde su origen hasta la fecha.

En algunas explotaciones se puede llegar a dar la máxima importancia a todo lo estético y decorativo, como la pintura, los cristales y niquelados, etc, no por otra razón que por el efecto psicológico de atención que causa sobre el propio conductor y que le fuerza a descubrir cualquier otro deterioro que verdaderamente pueda llegar a ser importante para la máquina.



Una buena norma del MP es reducir al mínimo el plazo entre la denuncia-parte del conductor y su corrección por el taller; tan solo el tiempo preciso para que el mecánico disponga del material necesario para efectuar la reparación.

El control propiamente técnico que se realiza en el servicio de MP se lleva a cabo mediante:

- a) La utilización de aparatos indicadores y de relojes de comprobación tales como manómetros, termómetros, etc.
- b) El análisis periódico de los aceites, midiendo su grado de contaminación, dispersión, viscosidad, color,
- c) El estudio y análisis de los consumos de grasas, gasoil, líquidos, etc., mediante el empleo adecuado de un sistema de fichas - incluido el uso de ordenadores como control y memoria de datos históricos.
- d) Análisis de los humos de escape mediante el uso de rápidas técnicas de determinación de elementos, tales como espectrómetros. El color de los humos es un buen indicador de la combustión, un color azulado denota la presencia de aceite, mientras el color negro revela una deficiencia de aire.
- e) El control de los resultados de los ensayos con nuevos tipos de aceites o aditivos, así como de cualquier otra modificación efectuada al vehículo sobre las originales establecidas.
- f) La limpieza periódica, mediante el apropiado

lavado a temperatura y presión, que permitirá observar cualquier pérdida, grieta o fuga que pueda ocultar el barro o el polvo, así como poder medir o comparar los desgastes de ciertos elementos, como cables, chapas, deformaciones o puntas, etc.

- g) Las pruebas o ensayos de la capacidad de frenado o aceleración para deducir el estado de motores y transmisiones.
- h) Comprobación de la adecuada flecha de los trenes de rodaje y de la presión de inflado de neumáticos antes de empezar a trabajar la máquina por medio de calibres, manómetros, sensores u otros medidores, etc.
- i) El empleo de dinamómetros o bancos de ensayo, que permitan medir la potencia de cada eje, motor, transmisión o punto que interesa tras una reparación.
- j) Cualquier otro método o aparato que las propias características electromecánicas de la máquina nos requiera, como medida de vibraciones o deformaciones.

Otro importante aspecto del mantenimiento preventivo está constituido por la sustitución, modificación o bien la conservación de aquellos elementos o partes de la máquina que puedan o deban ser sustituidos o mejorados, bien por no ser los más adecuados a las especiales características de la explotación o bien por aquellos avances tecnológicos que desde la adquisición del equipo o vehículo han aparecido y que se pueden llegar a incorporar al equipo. Son las modificaciones con proyecto.

Tal como se ha indicado, además de esos controles, análisis y modificaciones, es función del MP el efectuar la comprobación de los niveles de aceite, agua y grasa, así como el repostado de los mismos a los niveles fijados, la adecuada sustitución de los mismos, cuando el análisis lo aconseje o el plazo de utilización lo requiera, la comprobación de los circuitos de lubricación y engrase de todos los puntos señalados en la ficha de control del mantenimiento.



4. MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREDICTIVO

Los modernos programas de mantenimiento correctivo se basan en el criterio de "intercambios de conjuntos completos" que supone la sustitución de un órgano o parte del equipo por otro debidamente arreglado y comprobado y que se lleva a cabo:

- Cuando se alcanzan las horas estimadas como límites de vida del conjunto o parte del equipo. **PREDICTIVO**
- Cuando se produce alguna avería. En este caso estamos en el clásico mantenimiento **CORRECTIVO** o por avería.

Por "conjuntos completos" se deben de entender entre otros los siguientes componentes o partes de una maquina:

- Motores Diesel o eléctricos completos
- Transmisiones o transformadores
- Convertidores o reducciones. Mandos finales
- Bombas y motores hidráulicas
- Compresores
- Palas o cubas completas
- Trenes de rodaje, barras o bocas de perforación, etc.
- Cubiertas montadas en sus llantas.
- Paneles de control eléctrico o electrónico
- Subestaciones de transformación
- Cables eléctricos en longitudes standard (1000')
- Cajas de volquetes completas
- Cabinas de operadores o puertas con cristales
- Rodetes o cangilones.

Esta forma de proceder permite reducir al máximo el tiempo invertido en los diagnósticos y reparaciones, y la posibilidad de mandar los conjuntos averiados a los talleres especiales o de la casa fabricante, consiguiendo así reducirse el número de los especialistas necesarios en la plantilla minera y con ello los costes de reparación.



Un moderno avance, dentro de las técnicas actuales de mantenimiento, es el llamado Mantenimiento Predictivo, que supone un elevado y preciso conocimiento de las duraciones de cada parte o conjunto de la máquina para lograr una programación de las sustituciones, justamente poco antes de que vayan a morir por desgaste o rotura. El empleo de la memoria histórica disponible en las bases de datos reunidas por los departamentos de mantenimiento, permite llegar a establecer en cada operación cual es la probabilidad de vida de cada elemento en función de aquellos conjuntos o piezas similares que anteriormente han caído. Es especialmente importante este mantenimiento predictivo para aquellas reconstrucciones, regeneraciones o revisiones programadas de carácter anual o hiperanual a que se someten las grandes plantas de concentración, trituración o las enormes palas o excavadoras de desmonte o rotopalas.

5. CLASES DE MANTENIMIENTO

La terminología que se utiliza para describir los distintos procedimientos de mantenimiento ha resultado un poco confusa por la ambigüedad de los términos. Vamos a dar aquí las definiciones más utilizadas, describiendo al mismo tiempo las distintas clases y los partes de control más habituales en el mantenimiento minero más frecuentes e importantes.

- A) **Mantenimiento por corrección de avería o correctivo.** La máquina está en servicio hasta que no pueda desempeñar su trabajo normal. Una vez corregida la avería que produjo su parada no se la volverá a prestar atención hasta que no se produzca otro fallo. Existen algunos casos en los que este procedimiento puede estar justificado, como es el caso

de las pequeñas canteras y obras públicas de corta duración, pero en general resulta caro y comprometido por no poder garantizarse, a medio plazo, ni las producciones ni los costos horarios por tonelada de una mina mediana o grande.

- B) **Mantenimiento programado.** Consiste en la vigilancia e inspección de los puntos más débiles en unos períodos de tiempo predefinidos y que si no se realizan pueden dar lugar a una avería. Entre los diferentes tipos de mantenimientos programados destacan el preventivo y el predictivo.
- C) **Mantenimiento preventivo.** Por medio de unas inspecciones periódicas se conoce el estado de la máquina y se programan las correcciones necesarias para ser realizadas en los momentos más oportunos y antes de que se lleguen a producir las averías.
- D) **Mantenimiento predictivo** Es esencialmente un refinamiento del mantenimiento preventivo. Está basado en unas técnicas de inspección o de reconocimiento no destructivo que miden el progreso de los



desgastes a lo largo del tiempo y, a través de extrapolaciones realizadas automáticamente por los ordenadores, predice el punto y momento del fallo de una forma más precisa y correcta que una fijación estadística del momento de sustitución, como ocurre en los programas normales de mantenimiento preventivo. Básicamente se realizan por el control con grandes programas de ordenador que no solo prevén los momentos y los elementos necesarios, sino que también coordinan con los almacenes y suministradores de piezas para lograr una perfecta coincidencia en tiempo de las operaciones de sustitución de conjuntos.

- E) **Mantenimiento con proyecto o ingeniería preventiva.** También llamado D.O.M. (Designing Out Maintenance). Consiste en trabajar y estudiar sobre aquellos puntos o zonas de las máquinas o sistemas que originan las anomalías más frecuentes con objeto de diseñarlos de una nueva forma o con un material que reducen éstas y por tanto el tiempo y volumen del mantenimiento y su costo. Es el proceso más ingenieril y empieza por el croquizado de todas las piezas del equipo y su posible nacionalización o construcción de las partes en el país de la operación minera o en el propio taller.

En general en las minas es siempre necesario reforzar el diseño de algunas de las partes de las máquinas con mayor uso o desgaste, de acuerdo con las especiales características de la roca que tiene cada mina.

- F) **Mantenimiento de reacondicionamiento sistemático.** Se ocupa de remozar o recomponer aquellas máquinas o componentes que por su elevada utilización u horas de trabajo están en tales condiciones que hacen muy difícil poder conseguir un adecuado funcionamiento correcto de los mismos. Es también denominado Mantenimiento General, Reconstrucción Hiperanual o "Rebumping" para volver a reacondicionar las máquinas de muy larga vida, como en el caso de las grandes perforadoras, excavadoras o Dragalinas. Es muy utilizado en el mantenimiento de la aviación comercial y en los barcos de guerra.

II. LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO MINERO

1. ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Dentro del organigrama general de una mina, el mantenimiento puede estar relacionado con la operación de diversas formas, pero, el propio mantenimiento tiene su propia organización. El criterio de organización de las funciones más extendido en las grandes explotaciones mineras es el de la subdivisión de las funciones basada en la especialización del personal.

Este tipo de organización se caracteriza por una alta flexibilidad, facilitando la rapidez de acción y definiendo claramente la autoridad y la responsabilidad en cada nivel. La plana mayor o staff suele estar constituida por un ingeniero jefe de mantenimiento, el jefe de ingeniería y el jefe de planificación y control. El jefe de ingeniería proporciona la asistencia técnica necesaria en todas las facetas del programa de mantenimiento y para las reparaciones y sustituciones de los elementos, estudios de las eficiencias, detalles del mantenimiento preventivo, así como controla los programas de existencias en almacén, etc. Por otra parte, el ingeniero de planificación y control satisface los aspectos referentes a la asignación de trabajos al personal y de preparación de los equipos para obtener una gran eficiencia y utilización, así como para realizar los proyectos de sustitución, los cambios o modificaciones a introducir en el equipo o en las máquinas para su mejora y puesta al día y sobretodo el control informático de las horas y costes de las averías y reparaciones.

Semanalmente los ingenieros de planificación, de operación y del mantenimiento de la mina, se deben reunir para fijar aquellas directrices a seguir en la semana siguiente, dando la prioridad a los puntos que son claves para obtener unos ritmos elevados, y los rendimientos y productividad deseados, y coordinando los tiempos de trabajo y de parada programados siempre con la decisión final del Director de la mina.



2. EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO

Para medir el rendimiento y la eficacia del departamento de Mantenimiento, se deben controlar diversos índices de un modo sencillo, entre los que se destacan los siguientes:

- Coste de mantenimiento y reparaciones (M y R) por tonelada o metro cúbico de material.
- Costo de M y R por hora de operación.
- Porcentaje del costo total operativo que corresponde al coste de M y R.
- Número de mecánicos-hora por cada hora de operación del equipo.
- Número de mecánicos-hora por cada 1000



toneladas o metros cúbicos de material.

- Relación entre las horas de MP y las horas de reparaciones o de los tiempos de parada imprevistos.
- Disponibilidad (global, efectiva, etc).
- Influencia del mantenimiento indirecto realizado por el personal de operación o por talleres exteriores.

La disponibilidad es el factor o el índice clave del mantenimiento, pero es preciso aclarar que no sólo depende de él, pues tanto las actividades de la operación, las decisiones de los directivos y sobre todo la organización de las horas de trabajo y los repuestos disponibles en el almacén, etc, pueden influir grandemente y deben ser bien considerados a la hora de hacer un análisis de la real disponibilidad de los equipos. Es muy importante y básico para hablar de disponibilidades haber definido claramente el propio concepto de disponibilidad ya que varía mucho entre unas y otras explotaciones, dependiendo de la organización general del trabajo en la Empresa, de los convenios colectivos, sindicatos, etc. Existen muy frecuentemente confusiones entre las denominaciones de los distintos rendimientos horarios de la maquinaria como la disponibilidad, el ritmo, la eficiencia y la utilización por lo que consideramos oportuno aclarar tales conceptos en unas definiciones de las fórmulas más comúnmente aceptadas.

3. DEFINICIÓN DE LOS ÍNDICES DE RENDIMIENTOS DE LOS EQUIPOS MINEROS

- $H_E = \text{HORAS EXISTENTES} = \text{RECURSOS} = 365 \times 24 = 8760 \text{ Horas /año}$
- $H_P = \text{HORAS PROGRAMADAS} = n^{\circ} \text{ días} \times \text{relevos/día} \times \text{horas/relevo}$
- $H_T = \text{HORAS TRABAJADAS}$ por el equipo o la flota
- $H_{TC} = \text{HORAS DE TACOMETRO}$
- $H_{PEM} = \text{HORAS PARADAS}$ por reparación y mantenimiento
- $\text{HORAS TRABAJADAS} = H_T = H_P - H_{PEM} =$

Horas programadas-Horas paradas por reparación y mantenimiento

$$\% \cdot \text{Utilización} = \frac{H_P}{H_E} \times 100$$

$$\% \cdot \text{Disponibilidad} = \frac{H_T}{H_P} \times 100$$

$$\% \cdot \text{Ritmo} = \frac{H_{TC}}{H_T} \times 100$$

$$\% \cdot \text{Eficiencia} = \text{Utilización} \times \text{Disponibilidad} \times \text{Ritmo}$$

4. LOS COSTES DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES (M Y R)

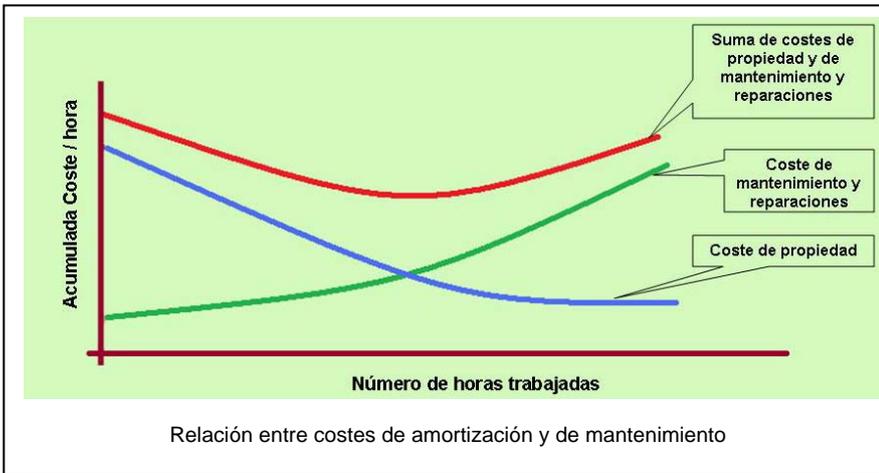
Los costes de M y R quedan tan sólo justificados por la disponibilidad obtenida así como por la vida de los equipos. Como premisa fundamental, hay que señalar que los costes de M y R aumentan con la vida de la unidad, al contrario de lo que ocurre con los costes de propiedad. La combinación de ambos puede servir para calcular la vida económica del equipo y el momento de sustitución óptima del mismo.

La determinación precisa de los costes horarios no es nunca fácil realizarla, debido al gran número de parámetros que entran en juego, por lo que se hace necesario el empleo de unos sistemas informatizados en tiempo real que tienen en cuenta las entradas instantáneas de los conceptos base del coste como:

- Horas de personal: propio o contratado
- Asistencia técnica exterior.
- Materiales de almacén
- Aceites y grasas
- Otros consumos.

A lo que se debe añadir una parte de azar, ya que la aparición de una avería grande puede tener lugar en cualquier momento.

Si se representan gráficamente los costes reales acumulados de M y R en función del número de horas trabajadas, veremos que el resultado es, en la



A título orientativo indicaremos las horas de vida estimadas para los diferentes equipos mineros convencionales, que pueden usarse para un cálculo aproximado del coste horario del mantenimiento en un proyecto minero y no tan validas para las obras públicas, en las que la vida de la maquinaria suele ser menor y las condiciones de mantenimiento más precarias:

mayoría de los casos, una línea quebrada y ascendente.

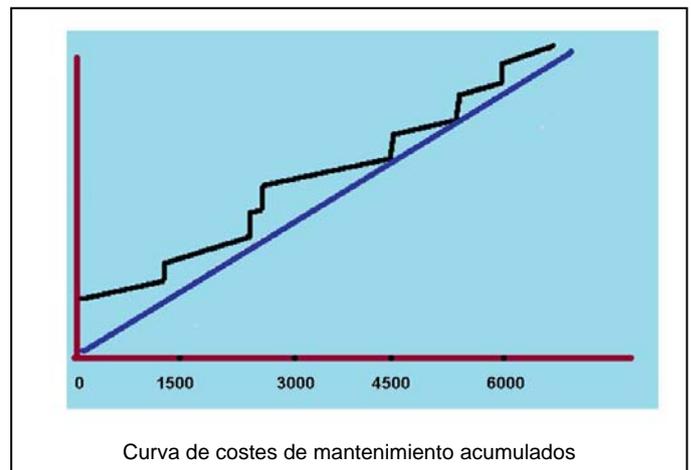
No obstante, algunos autores se han atrevido a dar unas fórmulas para estimar los costes horarios del mantenimiento en la realización de un proyecto minero. Una de estas fórmulas, que más suele emplearse para la maquinaria convencional minera sobre neumáticos, como los volquetes o las palas, viene dada por la expresión:

$$CHMR = \frac{PA - PN}{HV \times 100} \times FR$$

en donde:

- CHMR = Coste horario de M y R
- PA = Precio de adquisición
- PN = Precio de neumáticos
- HV = Horas de vida
- FR = Coeficiente que está tabulado en función de las condiciones de trabajo, especialmente por la dureza de la roca y del tipo de equipo, así como por el grado de calidad del mantenimiento programado y establecido.

Es frecuente y habitual hacer coincidir, en las grandes minas, el coste de la amortización con el coste de mantenimiento horario, lo que equivale a establecer un factor FR igual a 100. Sin embargo, deben realizarse las provisiones o los escalonamientos de caja ya que los costes de mantenimiento no son tan regulares como los del capital.



Curva de costes de mantenimiento acumulados

VIDA DEL EQUIPO EN HORAS		TIPO DE MANTENIMIENTO		
TIPO DE MAQUINARIA	TIPO DE ENERGÍA	Alto	Medio	Bajo
Perforadora	Diesel	20.000	17.500	15.000
Perforadora	Eléctrica	50.000	40.000	30.000
Tractor orugas	Diesel	25.000	20.000	15.000
Tractor neumáticos	Diesel	30.000	25.000	20.000
Excavadora	Diesel	40.000	30.000	25.000
Excavadora	Eléctrica	50.000	40.000	30.000
Dragalina	Diesel	40.000	30.000	25.000
Dragalina	Eléctrica	50.000	40.000	30.000
Volquete minero	Diesel	35.000	30.000	25.000
Volquete minero	Diesel-eléctrico	40.000	35.000	30.000
Camión convencional	Diesel	20.000	17.500	15.000
Pala cargadora	Diesel-hidráulica	25.000	20.000	15.000



5. PORCENTAJE DEL VALOR DE LA MAQUINA PARA CALCULAR EL COSTE DE MANTENIMIENTO.

La determinación del factor FR en la fórmula señalada para la determinación del coste por hora de mantenimiento puede llevarse a cabo a partir del cuadro siguiente:

Condiciones del trabajo	Porcentaje FR
Favorables	80
Medias o normales	100

Desfavorables	125
Muy desfavorables	150

Se adjuntan a continuación ejemplos de algunos partes del control del mantenimiento habituales en las operaciones mineras, si bien en el momento actual el proceso es completamente informatizado y controlado en tiempo real por programas estándares de ordenadores sin necesidad de rellenar tan tedioso sistema anticuado.

PIEZAS REEMPLAZADAS			
Número	Descripción de la pieza	Conjunto Nº	Nº de Serie

PARTE DE COMPROBACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO				
FECHA	Reparación o inspección del M.P. realizado	Horas Tacómetro	Coste piezas	Observaciones



PARTE DIARIO					
Día		Mes		Año	
Num. Vehículo		Modelo		Nº Serie	
Relevo		Operario			
Horas de funcionamiento	Rendimiento estimado en T ó m ³				
	Trabajo		Servicio		
A. Tiempo perdido		B. Reparación			
Causas de A.					
Causas de B.					
Combustibles y lubricantes añadidos					
Combustible		Litros			
Lubricante		Litros			
Piezas reemplazadas					
Observaciones					
Firma					



FICHA DE INSPECCIÓN DE M.P. 50 HORAS				A	B	C
Equipo nº		Fecha de Inscripción				
Horas del Equipo		Inspector				
CABINA, MANDOS E INDICADORES						
Parabrisas / Retrovisor						
Comprobar funcionamiento de panel de instrumentos, indicadores y mandos						
PLATAFORMA SUPERIOR						
Radiador						
A. Comprobar nivel del refrigerante						
B. Comprobar si hay fugas						
Tanque de aceite y sistema de lubricación automática						
A. Nivel de aceite						
B.						
C. Reglaje del sistema de inyección						
Depósito de aire						
A. Eliminación de humedad						
Grupo servofreno						
A. Comprobar nivel de fluido y ajuste						
MOTOR						
1.						
A. Comprobación visual						
B. Ajuste adecuado de correas						
2.						
A. Comprobar su lubricación						
3. Turbocompresor						
A. comprobación de fugas						
B. Comprobación de manguitos y empalmes						
4. Filtros de aceite y gas-oil						
A. Drenaje y limpieza de filtros						
5. Batería						
A. Comprobar cables y conexiones						
B. Comprobar estado y nivel del electrolito						
6. Cáster						
A. Comprobar nivel de aceite						
NEUMÁTICOS Y BASTIDOR						
1. Tanque hidráulico						
A. Comprobar nivel de aceite y fugas						
2. Bastidor y caja						
A. Comprobar presencia de fisuras y roturas						
3. Depósito de combustible						



A. Comprobar existencia de fugas			
B. Llenar el depósito y comprobar indicador de combustible			
4. Neumáticos			
A. Comprobar el estado de las llantas			
B. Comprobar el estado de los neumáticos			
C. Comprobar pérdida de inflado			
5. Suspensión oleoneumática			
A. Comprobar presión del pistón de cada amortiguador			
B. Comprobar fugas de aceite			
6. Bomba hidráulica del eje de transmisión			
A. Con pistola de engrase lubricar con grasa			
7.			
A. Comprobar carga de dinamo y alternador			
VARIOS			
1. Frenos			
A. Comprobar nivel de líquido de frenos			
B. Comprobar ajustes y accionamiento de frenos			
2. Otros			



POLITECNICA

II. INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO MINERO
LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO MINERO



PARTE MENSUAL

Unidad nº

Principio del mes

Final del mes

Mes

Horas operadas

Año

Horas acumuladas

DIA	HORAS POSIBLES	HORAS REALES RELEVO			TOTAL HORAS	HORAS DE REPARACIÓN DE AVERÍA			COMBUSTIBLES		ACEITES Y LUBRICANTES			COSTE PIEZAS	DISPONIBILIDAD
		1º	2º	3º		TIPO REPARACIÓN	INSPECCIÓN	ESPERA POR AVERÍA	UNIDAD AUXILIAR	GAS OIL	ACEITE MOTOR	SISTEMA HIDRÁULICO	FLUIDO TRANSMISIÓN		
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															

En ciertos casos se añade en el programa el día 32 como espacio reservado para los ajustes de desviaciones o retrasos de datos



POLITECNICA

II. INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO MINERO
LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO MINERO



PARTE ANUAL															
Unidad nº												Principio del mes			
Año												Final del mes			
												Horas operadas / año			
												Horas acumuladas			
DIA	HORAS POSIBLES	HORAS RELEVO			TOTAL HORAS	HORAS DE REPARACIÓN DE AVERÍA			COMBUSTIBLES		ACEITES Y LUBRICANTES			COSTE PIEZAS	DISPONIBILIDAD
		1º	2º	3º		TIPO REPARACIÓN	INSPECCIÓN	ESPERA POR AVERÍA	UNIDAD AUXILIAR	GAS OIL	ACEITE MOTOR	SISTEMA HIDRÁULICO	FLUIDO TRANSMISIÓN		
Enero															
Febrero															
Marzo															
Abril															
Mayo															
Junio															
Julio															
Agosto															
Septiembre															
Octube															
Noviembre															
Diciembre															
Mes trece															

En ciertos casos se añade en el programa el mes trece como espacio reservado para los ajustes de desviaciones o ciertos retrasos en datos a incorporar

III. LOS TALLERES MINEROS

1. TALLERES MINEROS

El diseño de un taller de reparaciones minero desde los puntos de vista de su capacidad y las prestaciones para lograr la eficaz atención a un equipo de maquinaria minera requiere la evaluación de los siguientes factores:

- a) Tamaño y naturaleza de la flota o de los equipos .
- b) Tipo de trabajo que se deberá realizar.
- c) Rendimiento y productividad del personal.
- d) Espacio y capital disponible.

El planeamiento y el diseño del taller afectan tanto a la inversión en el edificio, herramental y utillaje como a la misma productividad o eficiencia. Por esto, es muy necesario estudiar los factores anteriores tanto si es para la puesta en marcha de un proyecto minero, como si se trata de un taller en funcionamiento en una mina que desea sustituir su flota de maquinaria. También es recomendable estudiar periódicamente, con el taller en normal funcionamiento, dichos factores porque la marcha del mantenimiento puede hacer reconsiderar algunos parámetros de partida en el primitivo diseño.

No se debe olvidar, en este análisis, que lo que se pretende obtener de un correcto planteamiento y diseño del taller es:

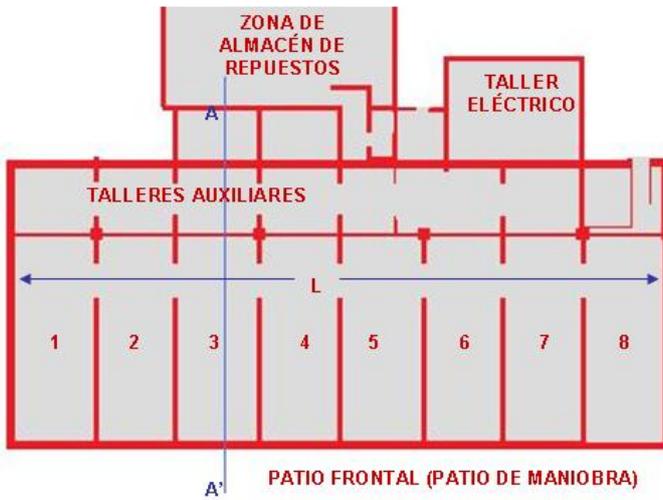
- Un bajo costo de las reparaciones
- Reducir al mínimo el tiempo empleado en ellas
- Y obtener la máxima productividad o eficacia de la mano de obra, así como su mejor formación práctica.



Por supuesto que puede variar la importancia de estos tres parámetros según la maquinaria que consideremos, sin embargo, en la mayoría de los casos el tiempo de parada tiene una gran importancia económica. El lugar donde se lleva a cabo el mantenimiento es denominado Taller y pueden ser de cuatro tipos. El principal o fijo, el móvil, la estación de servicio y los talleres exteriores o contratados.

2. TALLER PRINCIPAL DE REPARACIONES

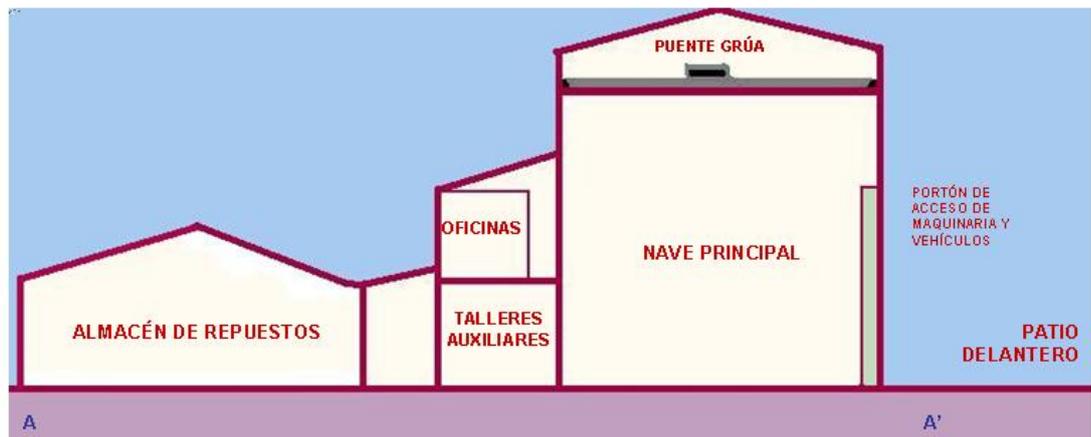
Independientemente de que la empresa minera, por su antigüedad, disponga ya de unos talleres principales adecuadamente montados y servidos, la explotación a cielo abierto requiere, por la maquinaria que tiene y el ritmo con que trabaja, un taller propio moderno, ágil y proyectado convenientemente para dicha maquinaria. No es, pues, muy aconsejable, utilizar los antiguos talleres y el personal de la mina subterránea para la explotación a cielo abierto, por su esencial diferencia de estilos y de ritmo, ni tampoco lo contrario. Otra cosa es ayudarse y cooperar entre ambos para utilizar ciertos servicios en común.



Vista en planta y sección transversal del taller principal de una mina grande

1. Área de tractores de orugas
2. Área de perforadoras
3. Área de volquetes
4. Área de volquetes
5. Área de volquetes
6. Área de excavadoras
7. Área de máquinas herramientas
8. Área de soldaduras

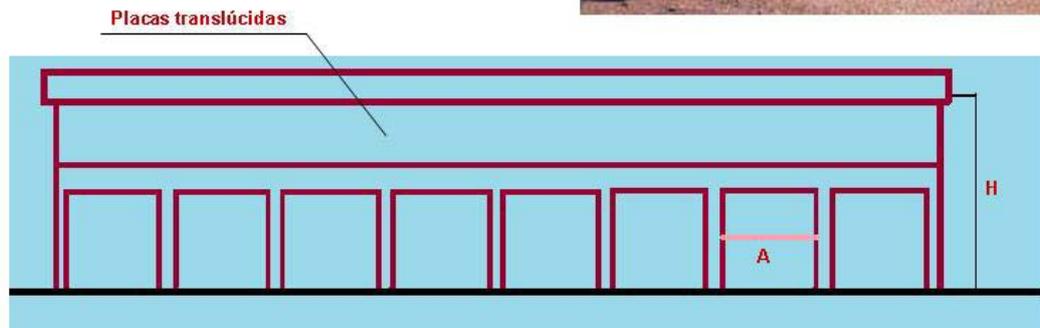
L = Número de módulos por ancho de cada uno

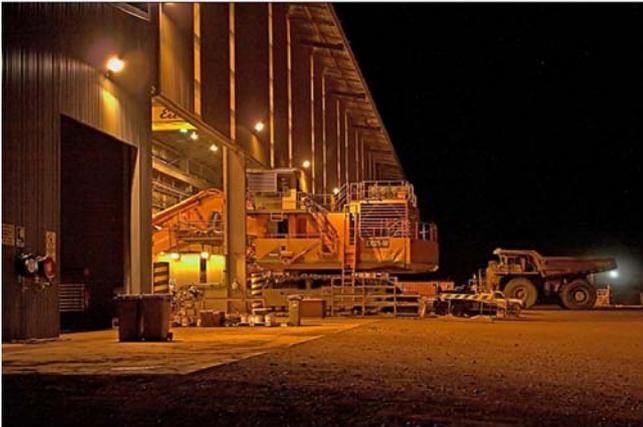


Vista en alzado frontal del taller principal de una mina grande

A = Ancho de un módulo de trabajo

H = Altura de la nave, libre del gancho de la grúa





El criterio base para el proyecto del taller es tratar de evitar en todo lo posible cualquier diagnóstico e incluso la reparación sobre la máquina. La parte afectada de la máquina debe ser sustituida por otra igual que existe en el almacén o reparada en el taller. (Intercambio de conjuntos). De ello se deduce, primero, que las máquinas al adquirirse deben ser muy bien elegidas para que el intercambio de cualquiera de los elementos esenciales sea tan sencillo como un mecano y segundo, que los elementos fundamentales del taller deben ser las máquinas de manipulación y elevación, tales como grúas, los puentes-grúa, gatos, carretillas elevadoras, apoyos, etc. No obstante, no deben olvidarse las clásicas herramientas o áreas tan imprescindibles en un taller como:

- Compresores y distribución del aire comprimido.
- Distribución eléctrica y potencia instalada adecuada.
- Equipos de iluminación. Buena iluminación cenital.
- Equipos de soldadura eléctrica y autógena apropiados.
- Bancos de trabajo con sus adecuadas herramientas por especialidades.
- Tornos y fresas. Maquinaria herramienta mínima y básica.
- Taladros. Cortadoras de chapas gruesas.
- Prensas hidráulicas de alta capacidad.
- Cortadoras de flejes o tochos de acero y tuberías.

- Afiladoras, etc.

Así mismo, el diseño de la planta del taller debe ser bien estudiado para que la entrada y salida de las máquinas, por muy grande que sean o vayan a ser, no puedan producir interferencias o pérdidas de tiempo, tanto en el momento actual como en el futuro parque de maquinaria. La iluminación y ventilación y el confort son otros factores que igualmente deben tenerse muy en cuenta para obtener un mayor rendimiento del futuro trabajo de las personas.

Una característica interesante en los talleres de las grandes explotaciones aisladas en áreas remotas, debe ser la instalación de algunos modernos bancos de ensayo – generalmente suministrados por los propios fabricantes de los equipos - en los que sea posible controlar correctamente las potencias y los rendimientos de los motores, convertidores, engranajes, pares, transmisiones, inyectores, etc., tras las reparaciones. En aquellas explotaciones más próximas a zonas desarrolladas es más recomendable utilizar los servicios de los talleres especializados exteriores o el servicio postventa de los distribuidores de la marca.

La complejidad de la maquinaria moderna exige, hoy, la más completa especialización del personal del taller, para lo que, generalmente, los distribuidores de la misma, deben impartir los adecuados cursillos de formación, bien durante el montaje de la maquinaria en la mina o bien en sus casas centrales. Al ser muy difícil para las compañías retener a los especialistas en las zonas mineras, habrá que programar cursos iterativos e intensivos todos los años.

Los criterios de organización del taller pueden ser muy variados, pero el más extendido en las grandes explotaciones es el de la subdivisión de funciones, basado, sin duda, en la especialización de que hemos hablado en el punto anterior.

Las inversiones en los talleres principales pueden alcanzar cifras muy altas; a continuación citamos un cuadro del Surface Mining. (Precios actualizados) para tres tipos de explotaciones, según su tamaño o capacidad de producción según:

- Ritmo de trabajo en millones de t/año
- Superficie del área del taller en m²
- Coste del taller equipado en Euros

CUADRO DE TAMAÑO Y COSTE DE CAPITAL DE UN TALLER			
TAMAÑO	RITMO (tpa)	SUPERFICIE (m ²)	COSTO (\$)
Pequeño	2 - 8	2.500	1 000 000
Medio	10 - 25	15.000	8 000 000
Grande	30 - 50	25.000	15 000 000

Estos costos están calculados teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Temperaturas del norte de EE.UU. Lluvias moderadas y grandes precipitaciones de nieve.
- 95 % de mantenimiento propio por la empresa minera.
- Los equipos de herramientas, exceptuando los instrumentos de precisión especiales, que puede estimarse en unos 20 \$ por Kilogramo de peso de las herramientas.

La cantidad de mecánicos y eléctricos que muchas veces y ojalá muchas más podrán no tener un trabajo suficientemente justificado, ascenderá con grandes máquinas a un número igual o parecido al de operadores. Una regla de dedo muy útil es suponer 1,5 hombres por máquina y por cada tres relevos. Esto nos dará la formula de 0,25-0,30 horas de hombre de mantenimiento por cada hora de máquina trabajada, para un equipo convencional minero, y para lograr una disponibilidad del orden de un 85%.

3. TALLERES MÓVILES O ESPECIALIZADOS

Tanto las máquinas pesadas semiestáticas, como las que sufrirán las averías, grandes o pequeñas, en plena explotación sin poder llegar por sus medios hasta el taller principal, requerirán, hoy, la existencia en las minas de unos especiales talleres móviles bien preparados y con todos los útiles previsibles para las emergencias que se podrán presentar. Será normal tener unidades especializadas y diferenciadas para cada caso o flota de máquinas, como por ejemplo:

- Unidad móvil de engrase y reposición de aceites accionadas por compresores y con medidores de caudales.

- Unidad móvil cisterna para abastecimiento de combustible con equipo moto-bomba y contador.
- Unidades móviles electro-mecánicas para las excavadoras, dragalinas, perforadoras, así como para las mismas subestaciones de transformación eléctricas, con los siguientes suplementos:
 - Grúas de tipo hidráulico.
 - Cajas de herramientas normales y neumáticas.
 - Equipos de oxicorte.
 - Tornillos y mesas de trabajo, etc.
- Unidad móvil de soldadura eléctrica con los grupos generadores diesel de capacidad adecuada.
- Unidades móviles con compresores y motogeneradores diesel para poder emplear energía eléctrica en campo.
- Unidad móvil para el recambio de los cables, dientes, las cubas, cantoneras, etc., de las excavadoras, dragalinas y de los mismos tractores.
- Unidad móvil para la reposición de cubiertas e inflado de los neumáticos.
- Grúas móviles diesel-eléctricas para elevación y arrastre de hasta 75 Toneladas y gran radio, según las piezas de las máquinas principales.
- Unidad móvil para el control y reparación del



equipo eléctrico con su correspondiente utillaje normal y electrónico, comprobadores, avometros, etc.

Además y aparte de estas unidades móviles, es conveniente tener el adecuado taller, herramental o planta fija en el taller principal, para cada uno de los problemas específicos, en donde las piezas o conjuntos sustituidos son reparados y almacenados. Como se indica al citar los medios de comunicación, debe de existir un enlace inmediato y claro entre los talleres, las unidades móviles y las máquinas.

- a) Equipos móviles
 - Volquetes
 - Tractores de neumáticos
 - Tractores de orugas
 - Palas cargadoras
 - Mototrallas
 - Vehículos auxiliares (motoniveladora, camión de riego, compactador, berlina, etc.)
- b) Equipos pesados semiestáticos
 - Excavadoras
 - Dragalinas
 - Perforadoras
 - Subestaciones, etc.
 - Rotopalas

4. ESTACIÓN DE SERVICIO Y LAVADO

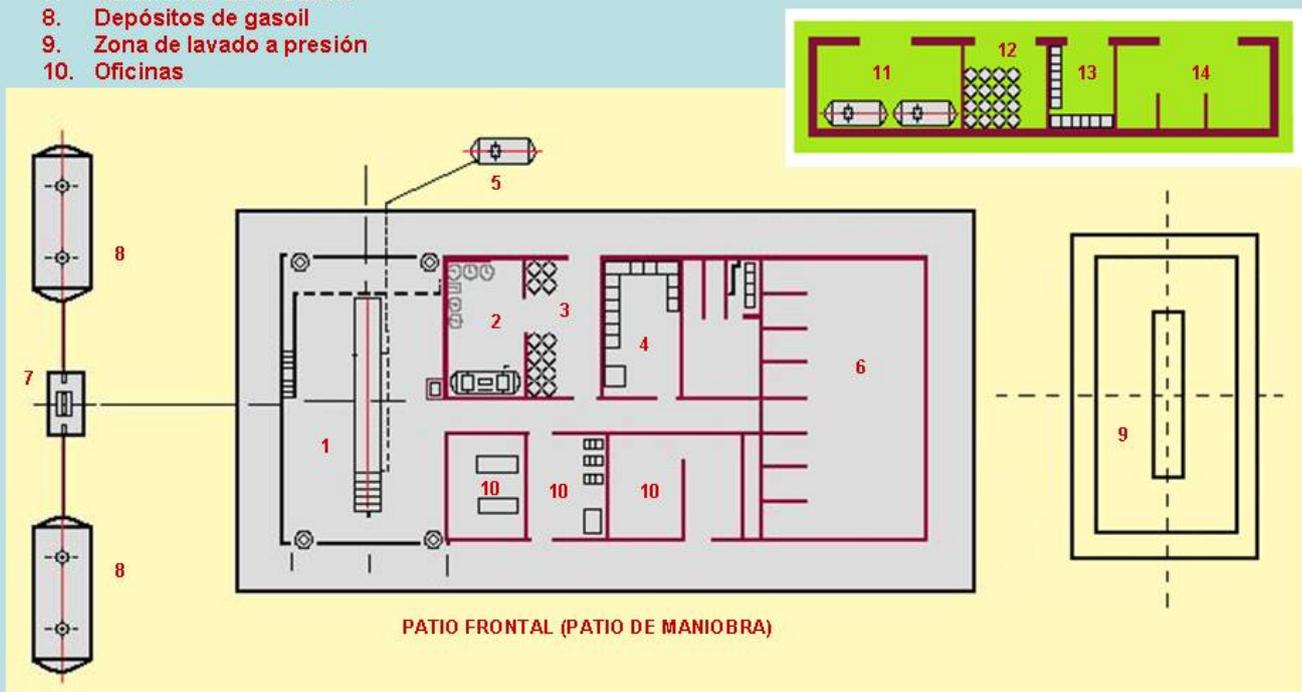
Para efectuar un adecuado mantenimiento preventivo, es preciso dividir el parque de maquinaria en dos grupos:

Para la asistencia y atención de los equipos más móviles, será necesario y lógico disponer de una estación de servicio y de lavado que permitirá, especialmente a los volquetes, repostar de combustible, aire, aceite y grasas, en el menor tiempo posible. Por el contrario, para el segundo

Vista en planta de la estación de servicio de una mina grande

1. Foso
2. Almacén de grasas
3. Almacén de líquidos hidráulicos
4. Almacén de filtros
5. Tanques de aceite
6. Almacén de neumáticos
7. Surtidor de combustible
8. Depósitos de gasoil
9. Zona de lavado a presión
10. Oficinas

11. Almacén de aceites usados
12. Almacén de líquidos hidráulicos usados
13. Almacén de filtros usados
14. Almacén de neumáticos usados





grupo de los equipos pesados semiestáticos será preciso diseñar los correspondientes vehículos de engrase y revisión que llevarán hasta ellos los elementos humanos, los elementos de consumo rutinario y los materiales precisos.

La estación de servicio, cuyas funciones son las propias de un mantenimiento preventivo, debe disponer de:

- Tanques independientes y de capacidad suficiente para el repostado diario de gas-oil y gasolina.
- Estación de despacho de combustible. Con el preciso control de caudales.
- Naves de aceites y grasas sin fosos de engrase.
- Naves o stocks de neumáticos. Maquinaria de montaje.
- Tanques de aceites y grasas.
- Almacén suficiente para varias semanas y previsión de recogida de los excedentes.
- Cisternas de aceites usados.
- Compresores de aire y bombonas de nitrógeno.
- Instalación de distribución de aire comprimido.
- Equipos de soldadura. Pequeños y mínimos.
- Naves de carga de baterías y equipos eléctricos.
- Planta de lavado con diseño para evacuar las aguas sucias y el barro, que pasará a ser un fuerte problema en ciertas épocas del año.
- Equipos de lavado a presión y temperatura.

Dos tendencias coexisten actualmente, respecto a la forma de organización del sistema de realización del mantenimiento, en las grandes explotaciones.

- 1) Durante las horas de luz, coincidiendo con las horas de trabajo y organizado de tal modo que el tiempo preciso para las inspecciones sea el menor posible. Esta será

la forma más conveniente en las explotaciones que trabajan todos los días del año y durante tres relevos por día.

- 2) Cuando se trabaja a uno o dos relevos, se podrá organizar un tercer relevo, vespertino nocturno, que permitirá revisar y controlar todos los equipos. Este sistema provocará un real y aparente aumento de la disponibilidad.



Se debe insistir en la gran importancia del lavado o de la limpieza de la maquinaria. Quienes hayan trabajado en una gran explotación a cielo abierto conocen perfectamente la situación extrema en que las máquinas se ven obligadas a trabajar por el polvo o el barro. Y ambos suponen unos elementos que ocultarán las imperfecciones o principios de todas las averías, así como que llegan a ocasionar pérdidas de rendimiento o potencia. Si con un simple turismo utilitario, ningún propietario permite que vaya sucio o poco presentable, puede suponerse lo que debe realizarse con estos vehículos aún más necesarios, caros y útiles.



Los modernos equipos de limpieza operan con agua a vapor y presiones superiores a los 140 kg/cm² a



través de monitores o de unas lanzas con boquillas de alta presión para quitar todo el material adherido a la chapa de la máquina.

Igual que en los talleres principales las dimensiones de las naves de la estación de servicio deben ser lo suficientemente amplias para permitir la entrada de las unidades de una mayor anchura y con una altura más que suficiente para que se puedan elevar las cajas de los volquetes. Es normal que sean abiertas por los dos lados. Existen en el mercado modelos de estaciones de servicio y lavado móviles para las grandes máquinas semi-estáticas, que permiten realizar todas las operaciones en un tiempo mínimo y con la menor cantidad de mano de obra posible. Una de las funciones más específicas de estas estaciones es el control, mediante unas fichas, de los consumos de cada máquina, y no sólo del combustible, que en principio es el dato de mayor interés económico, sino también del consumo de los aceites, recogida de grasas y humos, que pueden permitir establecer un diagnóstico del estado de desgaste de los órganos internos de la máquina. De las fichas, que se han detallado en el capítulo anterior y que son la base del mantenimiento preventivo, parten los datos para un control efectivo del rendimiento, de la utilización y el ritmo de trabajo de la maquinaria, como un "feed-back" que modifica o ratifica el plan vigente del Mantenimiento Preventivo.



Especial importancia debe dársele a la planta de los neumáticos o de las orugas en el caso de ser estas el medio de transporte, pues no en vano implican, en la mayoría de los casos, un elevado porcentaje del costo del transporte, lo que a su vez es de gran importancia en el costo general.

La principal función de estas plantas debe ser el control minucioso de las horas de trabajo de las diferentes marcas existentes, así como las posibilidades de recauchutado o reparación. Los neumáticos, en el stock de la estación de servicio, deberán mantenerse muy apartados de los aceites, grasas y combustibles, pues el caucho en contacto con dichos elementos se hinchará, volviéndose blando y débil, produciéndose daños irreparables. Es muy conveniente mantener un cierto número de neumáticos de cada uno de los tipos montados en sus llantas para lograr una sustitución inmediata.

