

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGETICA EN
CAMIONES MINEROS KOMATSU 730E”.**

ALFREDO MENDOZA PILLCO

INGENIERO MECANICO

PROMOCIÓN 2005-II

LIMA-PERÚ

2010

INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO I	
INTRODUCCION	3
CAPITULO II	
CAMION MECANICO ELECTRICO KOMATSU 730E	5
2.1 MOTOR	6
2.1.1 EL TURBOCOMPRESOR	9
2.1.2 SISTEMA DE COMBUSTIBLE	10
2.1.3 SISTEMA DE ADMISION Y ESCAPE	14
2.1.4 SISTEMA DE LUBRICACION	15
2.1.5 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	17
2.2 SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA	22
2.3 CHASIS	24
2.4 SISTEMA DE FRENOS	25
2.5 CABINA	26
2.6 TOLVA	27
2.7 SISTEMA HIDRAULICO	29
2.8 DISTRIBUCION DE PESOS	33
CAPITULO III	
3 EXTRACCION DEL MINERAL	35
3.1 MINERIA	35
3.1.1 MINERIA SUPERFICIAL	36
3.1.1.1 DESCRIPCION DEL PROCESO DE CHANCADO Y CARGA DE CAMIONES	38
3.1.1.2 LIXIVIACION	43

3.1.1.3	ETAPAS DEL PROCESO DE MERRIL CROWE	48
3.1.2	MINERIA SUBTERRANEA	52
CAPITULO IV		
4	SALUD Y MEDIO AMBIENTE EN LA MINERIA	55
4.1	MEDIO AMBIENTE	55
4.1.1	IMPACTOS EN LA LITOSFERA	55
4.1.2	IMPACTOS EN LA HIDROSFERA	56
4.1.3	IMPACTOS EN LA ATMÓSFERA	56
4.2	SALUD	57
4.2.1	PELIGROS FÍSICOS	57
4.2.2	PELIGROS QUÍMICOS	57
4.2.3	PELIGROS BIOLÓGICOS	57
4.2.4	PELIGROS MENTALES	58
CAPITULO V		
5	CONSUMO DE COMBUSTIBLE	59
5.1	ESPECIFICACIONES DEL COMBUSTIBLE	59
5.2	PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE	60
5.2.1	VISCOCIDAD	60
5.2.2	NÚMERO DE CETANO	60
5.2.3	CONTENIDO DE SULFURO	61
5.2.4	SULFURO ACTIVO	61
5.2.5	AGUA Y SEDIMENTOS	61
5.2.6	RESIDUOS DE CARBON	61
5.2.7	DENSIDAD	62
5.2.8	PUNTO DE CONDENSACION	62

5.2.9	HOLLIN	62
5.2.10	DESTILACION	62
5.2.11	LUBRICACIÓN	62
5.3	DISPOSITIVO DE AHORRO DE COMBUSTIBLE	64
5.4	PRACTICAS PARA EL AHORRO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN MAQUINAS MINERAS	69
5.4.1	PRINCIPIOS DEL TRABAJO DE MANTENIMIENTO PARA EL AHORRO DE COMBUSTIBLE	69
5.4.2	PRINCIPIOS DE TRABAJO DEL MOTOR DIESEL PARA EL AHORRO DE COMBUSTIBLE	70
5.4.3	INSPECCIÓN DE NEUMÁTICOS	77
5.5	INFLUENCIAS DEL DISEÑO	81
5.5.1	FUERZA DE RESISTENCIA TOTAL (FR)	81
5.6	HISTORIAL DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE	85
5.7	CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN CAMIÓN 730E N°3	86
5.8	CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN CAMIÓN 730E N°6	90
CAPITULO VI		
6.	CALCULO DE REDUCCION DE COSTOS	94
6.1	COSTO PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS CAMIONES MINEROS 730E	95
6.1.1	COSTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	95
6.1.2	COSTO DE COMBUSTIBLE	101
6.1.3	COSTO DE NEUMÁTICOS	102
6.1.4	CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE	104
CAPITULO VII		
7.	CALCULO DE REDUCCION DE EMISION DE CO2	110

7.1	PROCESO TEÓRICO DE LA COMBUSTIÓN	112
7.2	CALCULO DEL VOLUMEN REDUCIDO	
	EN LA EMISIÓN DE CO₂	115
	CONCLUSIONES	118
	BIBLIOGRAFIA	121
	ANEXOS	

PROLOGO

Se realizó el estudio de la eficiencia energética en camiones mineros Komatsu 730E en una operación minera de tajo abierto; la capacidad nominal del camión es de 180 toneladas por ciclo de acarreo impulsado por un motor diesel de 2000 HP. El sistema eléctrico de potencia del camión esta compuesto por el alternador principal que transforma la energía mecánica proporcionada por el motor diesel en energía eléctrica que sirve para alimentar a los motores eléctricos de propulsión.

La explotación del mineral se realiza bajo el esquema de cielo abierto por lixiviación con cianuro, para lograr disolver el oro es preciso tratar el mineral previamente por un proceso de chancado, para nuestro caso se tiene el circuito de chancado primario y el de chancado secundario para obtener en promedio un tamaño final de la roca de 1 ½” que permita la lixiviación.

Es preciso mencionar que toda explotación minera impacta negativamente al medio en el cual se desarrolla la extracción del mineral, se distinguen principalmente cambios en la topografía natural, cambios hidrogeológicos y cambios en las condiciones geotécnicas de la roca. Por otro lado; la minería es una de las industrias más peligrosas y el impacto en las personas que laboran en esta industria se clasifica

en dos grandes grupos, los accidentes y los impactos acumulativos como el estrés, la radiación, enfermedades pulmonares, etc.

El estudio busca cuantificar la disminución del consumo de combustible en el camión minero al aplicar un dispositivo magnético en la línea de alimentación de combustible, el principal objetivo es obtener la combustión más completa y por lo tanto mejorar el rendimiento del motor.

Se logro demostrar que la reducción en el consumo de combustible fue en promedio de 4% en el primer año de aplicación y de 5% en el segundo año, esta reducción definitivamente tiene impacto positivo en el ámbito económico y sobre el medio ambiente.

Con respecto al medio ambiente, los camiones mineros son desde todo punto vista los equipos que tienen el mayor consumo de combustible, por esta razón impactar el consumo de combustible también representa disminuir la emisión de gases al medio ambiente en la misma proporción que el consumo de combustible.

CAPITULO I

INTRODUCCION

En las últimas dos o tres décadas el medio ambiente ha sido de mucho interés para el mundo en el que vivimos y nuestra preocupación crece día a día, por esta razón; todos los gases que se emiten al ambiente (motores, maquinas, industria, etc.) se están controlando; es por ello que la tecnología trata de reducir estas emisiones sin desmedro de los rangos de velocidad y potencia necesarios para el trabajo normal de los equipos.

El objetivo del presente informe es realizar el estudio de la eficiencia energética en los camiones mineros Komatsu 730E en una operación minera de tajo abierto o también llamada minería superficial; el producto final que se obtiene en esta operación es el DORE, este metal es una mezcla de oro y plata.

Con la reducción del consumo de combustible, la operación minera no solo disminuirá los costos operativos sino que también reducirá su impacto al medio ambiente. El estudio esta orientado a La flota de camiones conformada por diez unidades Komatsu 730E de 180 toneladas aproximadamente de capacidad nominal

por ciclo de acarreo. Para poder realizar la comparación del consumo de combustible es necesario monitorear el consumo de las unidades en un mismo ciclo de acarreo bajo condiciones similares de operación. El dispositivo para reducir el consumo de combustible permite obtener una mayor separación de las impurezas presentes en el combustible e induce una mejor ionización del mismo.

La información necesaria para el presente estudio es almacenada por el sistema MINECARE que monitorea en tiempo real los equipos móviles principales, también es necesario analizar información histórica del consumo de combustible para determinar el porcentaje real de ahorro del consumo de combustible. Otro aspecto importante para el presente estudio es determinar la carga neta para cada ciclo de operación en los camiones, estos valores son registrados con el PLM (Payload Meter) por cada unidad en las distintas rutas de trabajo de los camiones.

La reducción en el consumo de combustible significa ahorro de recursos económicos y mucho más importante es que se ayuda al medio ambiente. Los vehículos mineros por el elevado consumo de combustible representan un impacto significativo al medio ambiente y a la salud de las personas.

CAPITULO II

CAMION MECANICO ELECTRICO KOMATSU 730E

La mayoría de los camiones pueden operarse sobre cualquier camino con una superficie suficientemente firme y suave, siempre y cuando las pendientes no sean excesivas. Algunas unidades están diseñadas como camiones fuera de carretera, estos camiones se usan para transportar materiales en proyectos muy grandes donde se mueven cantidades importantes de tierra y roca y la dimensión y los costos se justifican fácilmente con el incremento de la capacidad de producción.

El camión Komatsu 730E es un equipo eléctrico, el Peso Bruto del Vehículo (GVW¹) es lo que determina la carga en el tren de mando, chasis, neumáticos y otros componentes. Los parámetros de diseño y uso del vehículo están relacionados con el Peso Bruto del Vehículo (GVW) y se define como:

PESO TOTAL: Peso Vehículo Vacío + combustible y lubricantes +carga útil.

El peso total del equipo es de 324322 kilogramos, diseñado para una carga máxima de 183,7 toneladas. A continuación se presenta un esquema de los componentes principales del equipo.

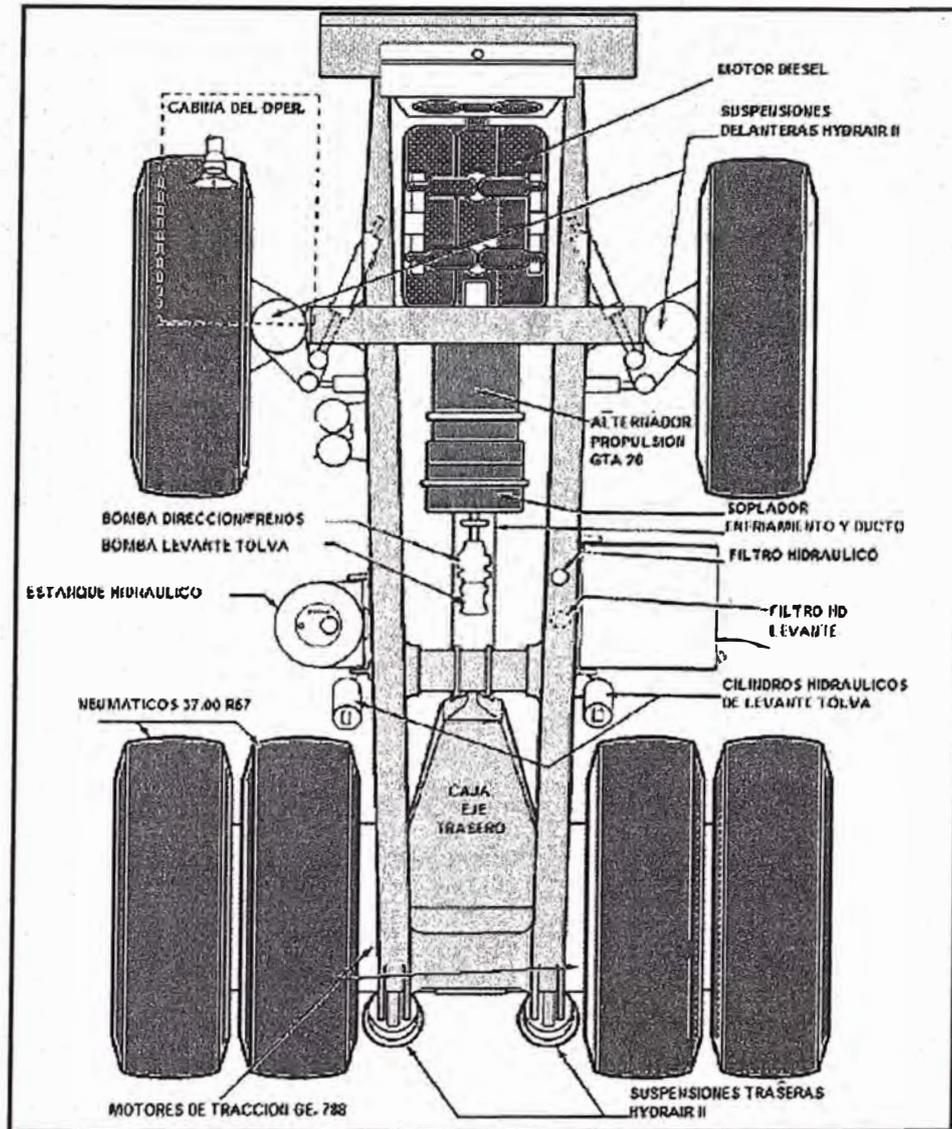


Figura N° 2.1: Componentes Principales Camión 730E

(Fuente: 730E Shop Manual)

2.1 MOTOR

El típico motor Diesel, también llamado motor de encendido por compresión, trabaja de acuerdo con el principio de cuatro tiempos donde el combustible se inyecta directamente a la cámara de combustión.

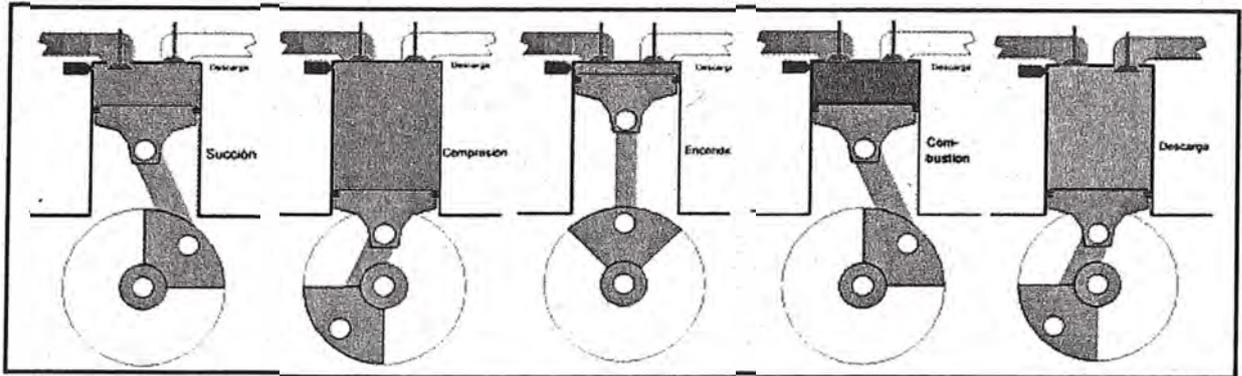


Figura N° 2.2: Ciclo de trabajo de un motor de cuatro tiempos.

Las etapas en estos motores son:

- **Admisión:** En esta fase el pistón baja, la válvula de escape permanece cerrada, mientras que la de admisión está abierta. En este primer tiempo el cigüeñal da 180°, el árbol de levas da 90° y la válvula de admisión se encuentra abierta y su carrera es descendente.
- **Compresión:** Al llegar al final de carrera inferior, la válvula de admisión se cierra y el pistón asciende comprimiendo el aire contenido. Por su parte, el cigüeñal da 360° y el árbol de levas da 180°. Ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es ascendente.
- **Encendido:** El aire alcanza la presión máxima y se inyecta el combustible atomizado la mezcla se auto enciende, una vez provocada la combustión, ésta progresa rápidamente incrementando la temperatura en el interior del cilindro y expandiendo los gases que empujan el pistón. En esta tercera fase, el cigüeñal alcanza los 180° y el árbol de levas los 240°, las válvulas se encuentran cerradas y su carrera es descendente.

- **Escape:** En esta fase el pistón empuja los gases procedentes de la combustión y estos son expulsados a través de la válvula de escape, que permanece abierta. Cuando se alcanza el final de carrera superior, la válvula de escape se cierra y se abre la de admisión, reiniciándose el ciclo.

En esta fase, el cigüeñal da 360° y el árbol de levas da 180° y su carrera es ascendente.

El motor K2000 es del tipo sobrealimentado con la finalidad de aumentar la potencia del motor sin tener que aumentar la cilindrada, esto es posible solo si conseguimos colocar en el interior del cilindro un volumen lo suficientemente necesario para conseguir la combustión completa del combustible. En el caso de los motores diesel este proceso es beneficioso para un rendimiento óptimo.

El hecho de utilizar solamente aire en el proceso de compresión y no introducir el combustible hasta el momento final de la carrera de compresión, no puede crear problemas de picado en el motor. Al introducir un exceso de aire en el cilindro aumenta la compresión, lo que facilita el encendido y el quemado completo del combustible inyectado, lo que se traduce en un aumento de potencia del motor. Por otro lado la mayor presión de entrada de aire favorece la expulsión de los gases de escape y el llenado del cilindro con aire fresco, con lo que se consigue un aumento del rendimiento volumétrico.

No tenemos que olvidar que todo el aire que entra en el cilindro del motor Diesel hay que comprimirlo, cuanto mas sea el volumen de aire de admisión, mayor será la presión en el interior de los cilindros. Esto trae como consecuencia unos esfuerzos mecánicos en el motor que tienen un límite, para no poner en peligro la integridad de los elementos que forman el motor.

2.1.1 El Turbocompresor

El turbocompresor tiene la particularidad de aprovechar la fuerza con la que salen los gases de escape para impulsar la turbina situada a la salida del colector de escape, la turbina se une mediante un eje al compresor. El compresor está situado en la entrada del colector de admisión, con el movimiento giratorio que le transmite la turbina a través del eje común, el compresor eleva la presión del aire y consigue que mejore la alimentación del motor.

El turbo impulsado por los gases de escape alcanza velocidades por encima de las 100.000 rpm, por tanto, hay que tener muy en cuenta el sistema de engrase de los cojinetes donde apoya el eje común de los rodets de la turbina y el compresor. También hay que saber que las temperaturas a las que se va a estar sometido el turbo en su contacto con los gases de escape van a ser muy elevadas alrededor de 750 °C.

Los elementos principales que constituyen el turbo son:

1. Rodete de la turbina
2. Rodete del compresor
3. Eje Común
4. Válvula de descarga

Es importante poner énfasis en la presión de trabajo del turbocompresor, para evitar el aumento excesivo de las revoluciones de la turbina y compresor

como consecuencia de una mayor presión de los gases a medida que se aumentan las revoluciones del motor.

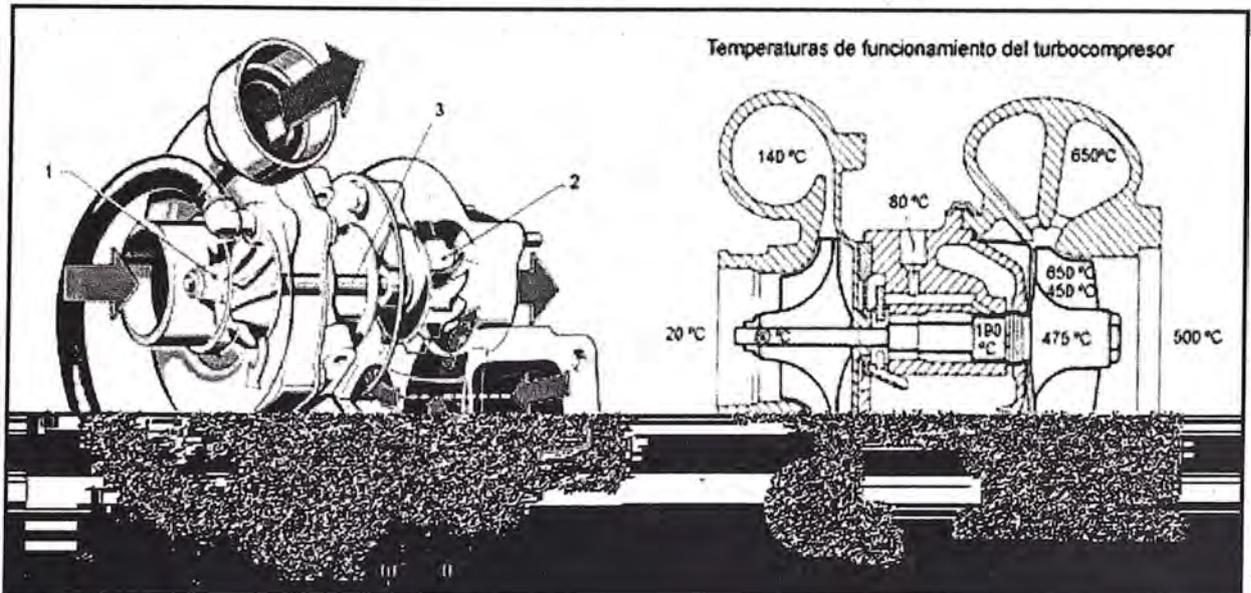


Figura N° 2.3: componentes y temperaturas de trabajo del turbocompresor

2.1.2 Sistema de Combustible

El sistema de alimentación de combustible adecua la provisión de diesel a las necesidades y especificaciones del sistema de inyección. El sistema toma el combustible líquido desde su depósito y la bomba lo hace circular, previa regulación de presión, por el conducto que lo introduce en un filtro, el cual retiene las partículas sólidas en suspensión. El sistema funciona bien si el suministro de combustible se realiza en forma limpia, sin interrupciones y sin variaciones de presión. En el motor K2000 el sistema de inyección opera bajo el principio PT, el concepto PT se debe a las variables primarias que afectan la cantidad de combustible dosificado e inyectado por cada ciclo del pistón, estas variables son la presión y el tiempo; es decir la presión de combustible

entregado a los inyectores y el periodo de tiempo mediante el cual el combustible entra a estos.

La entrada de combustible a los inyectores se controla mediante la bomba de inyección, mientras que el tiempo se controla mediante la velocidad de rotación del árbol de levas con el funcionamiento del motor. El sistema de inyección Cummins PT utiliza inyectores sencillos que se accionan mecánicamente. Cada inyector tiene un orificio de dosificación el cual lleva el combustible a la cámara de presión, el embolo del inyector se acciona desde el árbol de levas a través de una varilla de empuje y un balancín. El combustible fluye a través del orificio de dosificación hacia la cámara de presión únicamente durante la parte final de la carrera del pistón del motor.

El combustible es suministrado a través de una bomba de alimentación (de engranes) la cual eleva la presión a un nivel intermedio y lo suministra a la galería en la culata donde están: la zona del acelerador, el regulador, el sistema de paro y el mecanismo de Control de Aire Combustible (CAC) que modifica la presión para adecuarla a las necesidades de la velocidad del motor.

Aproximadamente el 70% del combustible circula a través de los inyectores sin ser utilizado hacia la galería de retorno, permitiendo la refrigeración del inyector y evitando la precipitación de parafina y acumulación de aire en el sistema.

La presión del combustible se controla mediante el regulador y la posición del acelerador, el tiempo se relaciona con la velocidad del motor (cuanto más alta sea esta menor será el tiempo de carga del inyector), por lo tanto la presión del combustible es muy variable pero debe ser muy precisa. Por esta razón este conjunto de la bomba es más compleja que una bomba de elevación común porque además debe:

- Suministrar combustible a la presión suficiente para cumplir las condiciones de alta velocidad y carga total.
- Limitar la presión para controlar la velocidad máxima del motor.
- Regular la presión entre la velocidad máxima y ralentí.
- Proporcionar un método manual (acelerador) para controlar el flujo de combustible.

La bomba contiene un conjunto único de engranes que transfieren el combustible desde el depósito para entregarlo al sistema de inyección. El combustible fluye desde la bomba hacia un amortiguador de pulsaciones, instalado en la parte posterior de la bomba; consta de un diafragma de acero flexible que absorbe las pulsaciones del combustible estabilizando la presión. En el regulador de presión, la fuerza centrífuga actúa sobre los contrapesos y los extiende hacia fuera, este movimiento a su vez mueve el émbolo longitudinalmente en contra de los resortes. El émbolo actúa como una bomba hidráulica que gira con los contrapesos y también se desliza en sentido axial dentro del manguito de gobernador. El movimiento abre o cierra los

orificios en el manguito para controlar el paso de combustible en el gobernador y de esta forma la velocidad del motor.

El inyector del sistema PT es una unidad mecánica sencilla que recibe combustible lo dosifica, inyecta y atomiza a distintas presiones desde el conjunto de bombas de inyección. Todos los inyectores tienen un embolo que se mueve alternativamente en el cuerpo del inyector, accionado por el árbol de levas a través del balancín.

El inyector posee dos ciclos de operación; la dosificación y la inyección propiamente dicha. A continuación se presenta el cuadro de especificaciones del sistema de combustible para el correcto funcionamiento del motor K2000.

Tabla N° 2.1: Especificaciones del sistema de combustible

Especificaciones Sistema de combustible	
Velocidad de Ralentí del Motor	650 a 725 rpm
Restricción Máxima de Entrada de Combustible (a potencia nominal)	
Filtro de Combustible Limpio	102 mm Hg [4.0 pulg. Hg]
Filtro de Combustible Sucio	203 mm Hg [8.0 pulg. Hg]
Restricción Máxima de Línea de Drenado de Combustible (en ralentí alto, sin carga)	
Sin Válvulas Check	64 mm Hg [2.5 pulg. Hg]
Válvulas Check	165 mm Hg [6.5 pulg. Hg]
Válvula Check de Combustible entre Filtro de Combustible y Bomba de Combustible	
Presión Mínima de Apertura	2.1 kPa [0.3 psi]
Válvula Check de Combustible entre Bomba de Combustible y Cabeza de Cilindro	
Presión de Apertura	21 a 55 kpa [3 a 8 psi]
Válvula Check del Combustible en la Línea de Drenado de Combustible	
Presión de Apertura	13 a 25 mm Hg [1/4 a 1/2 psi]
Velocidad Mínima del Motor al Dar Marcha	150 rpm
Capacidad Mínima de Ventilación del Tanque de Combustible	
Con 64 mm Hg [2.5 pulg. Hg] o menor restricción de drenado de combustible	425 litros/hr [15 pies cúbicos/hr]
Disminución de Régimen de Combustible del Motor para Altitud Elevada	El 4% por 300 m [1000 pies] sobre 3600 m [12,000 pies].
Disminución de Régimen de Combustible del Motor para Clima Cálido	El 2% por 11°C sobre 38°C [el 1% por 10°F sobre 100°F].
Resistencia de la Bobina del Solenoide de la Válvula de Cierre	
12 VCD	6 a 10 ohm
24 VCD	26 a 40 ohm

2.1.3 Sistema de Admisión y Escape

El sistema de admisión consiste en una caja de filtros, elemento filtrante, tubería y conexiones al múltiple de admisión o turbocargador. Un sistema de filtrado efectivo provee al motor aire limpio con una restricción mínima,

separando del aire los materiales finos como el polvo, arenas, etc. También debe permitir la operación del motor por un período de tiempo razonable antes de requerir servicio.

Un sistema de filtrado ineficiente afectará de manera adversa el desempeño, las emisiones y la vida útil del motor.

Tabla N° 2.2: Especificaciones del sistema de admisión y escape

Sistema de Admisión	
Restricción Máxima Permissible de Admisión:	
Con Elemento Limpio del Filtro	380 mm H ₂ O [15 pulg. H ₂ O]
Con Elemento Sucio del Filtro	635 mm H ₂ O [25 pulg. H ₂ O]
Sistema de Escape	
Contrapresión máxima permisible impuesta por la tubería y el silenciador	75 mm Hg [3.0 pulg. Hg].
Restricción del Escape a Potencia Nominal (máxima)	
KTA38-G3/G4/G5, KTA50-G1/G2, Industrial (excepto K2000E), y Marino	76 mm Hg [3.0 pulg. Hg]
KTA38-G6/G7 y KTA50-G3/G6/G7/G8/G9	51 mm Hg [2.0 pulg. Hg]
Industrial (K2000E)	38 mm Hg [1.5 pulg. Hg]
Diámetro del tubo de escape normal	
KT(A)38, KTTA38, KTA50	152 mm [6 pulg.]
KTTA50	203 mm [8 pulg.]

2.1.4 Sistema de Lubricación

La lubricación forma una parte fundamental de las operaciones del motor para evitar que sufra desgastes prematuros o daños por usar aceite contaminado o

que haya perdido sus propiedades. Un aceite que no cumpla los requisitos que se exigen puede producir los siguientes efectos:

- Desgaste prematuro de partes
- Daño a componentes del motor o accesorios
- Mayor emisión de contaminantes
- Formación de carbón en la cámara de combustión
- Fugas en los anillos de los cilindros
- Evaporación del lubricante

Es por todo esto conocer en qué consiste el fenómeno de lubricación, las características que debe tener un buen lubricante y las acciones que pueden afectar de manera negativa a la lubricación. La lubricación tienen varios objetivos entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

- Reducir el rozamiento o fricción para optimizar la duración de los componentes.
- Disminuir el desgaste.
- Reducir el calentamiento de los elementos del motor que se mueven unos con respecto a otros.

Para cumplir con estos objetivos existen 5 tipos diferentes de lubricación los cuales son muy importantes, éstos son:

- Hidrodinámica

- Hidrostática
- Elastohidrodinámica
- De película mínima o al límite
- Con material sólido

Tabla N° 2.3: Especificaciones del sistema de lubricación

Presión de Aceite Lubricante, Galería Principal de Aceite (aceite 15W-40 a 107°C [225°F]):	
Máxima en rpm nominales	483 kPa [70 psi]
Mínima en rpm nominales	310 kPa [40 psi]
Mínima en rpm de ralentí	138 kPa [20 psi]
Temperatura del Aceite Lubricante - Máxima en Sumidero	121°C [250°F]
Capacidad del Cárter de Aceite Lubricante K50	
Nivel Bajo	170 litros [45 gal.]
Nivel Alto	246 litros [65 gal.]

2.1.5 Sistema de Enfriamiento

La temperatura es un parámetro que afecta de manera importante el funcionamiento de los motores de combustión interna. En algunas partes del motor se tienen temperaturas mayores de 1000°C (cámara de combustión), en algunos casos los gases de escape salen a 550°C. En un motor más de la

tercera parte de energía que se le suministra a través del combustible se pierde en forma de calor. El sistema de enfriamiento es el que se encarga de que los diferentes componentes del motor se mantengan en temperaturas seguras y así evitar que el motor sufra desgastes prematuros o daños importantes y lograr con ello su máximo rendimiento. Algunas partes del motor que se deben enfriar constantemente son:

- Cámara de combustión
- Parte alta del cilindro
- Cabeza del pistón
- Válvulas de escape y de admisión
- Cilindro

Los sistemas de enfriamiento están diseñados para mantener una temperatura homogénea entre 82° y 113°C. Un sistema que no cumpla los requisitos que se exigen puede producir los siguientes efectos:

- Desgaste prematuro de partes por sobrecalentamiento, en especial en el pistón con la pared del cilindro.
- Pre ignición y detonación.
- Daño a componentes del motor o accesorios.
- Corrosión de partes internas del motor.
- Entrada de refrigerante a las cámaras de combustión
- Fugas de refrigerante contaminando el aceite lubricante
- Evaporación de lubricante

- Formación de películas indeseables sobre elementos que transfieren calor como los ductos del radiador
- Sobre consumo de combustible
- Formación de lodos por baja o alta temperatura en el aceite lubricante.

Tabla N° 2.4: Especificaciones del sistema de enfriamiento

Sistema de Enfriamiento	
Presión de Aceite Lubricante, Galería Principal de Aceite (aceite 15W-40 a 107°C [225°F]):	
Máxima en rpm nominales	483 kPa [70 psi]
Mínima en rpm nominales	310 kPa [40 psi]
Mínima en rpm de ralentí	138 kPa [20 psi]
Temperatura del Aceite Lubricante - Máxima en Sumidero	121°C [250°F]
Capacidad del Cáster de Aceite Lubricante K50	
Nivel Bajo	170 litros [45 gal.]
Nivel Alto	246 litros [65 gal.]

Esquema de los principales sistemas del motor diesel K2000

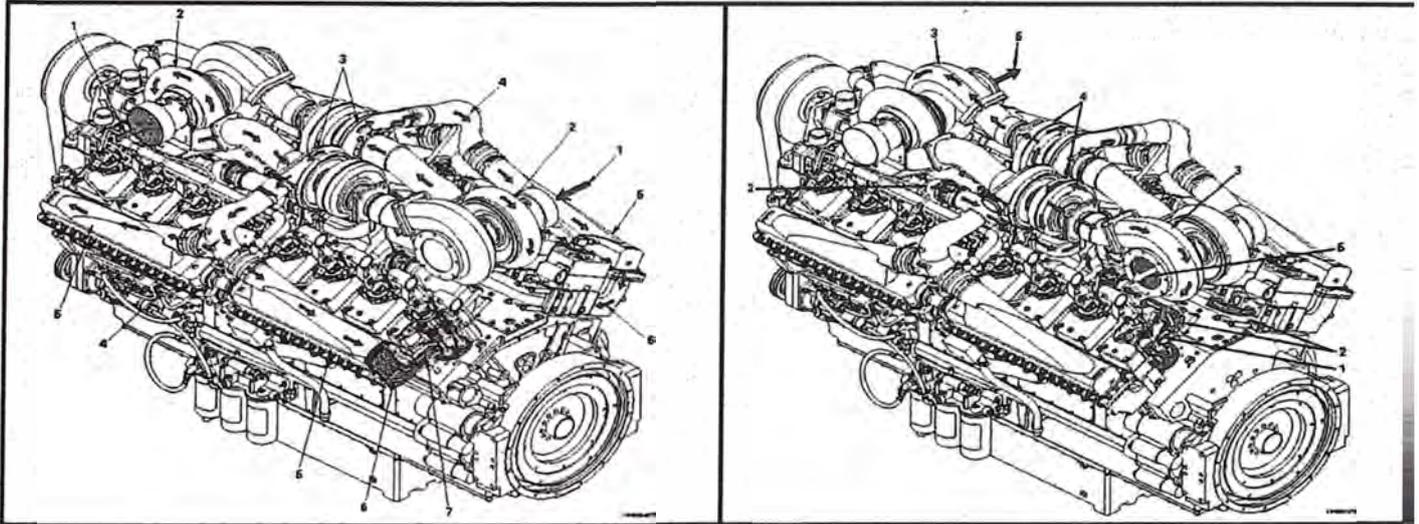


Figura N° 2.4: Sistema de la admisión y escape del motor diesel de
camión Komatsu 730E

- | | |
|---|-------------------------------|
| 1. Entrada de aire de admisión turbocompresores | 1. Puerto de escape |
| 2. Fase turbocompresores de baja | 2. Colectores de escape |
| 3. Fase de turbocompresores de alta | 3. Baja fase turbocompresores |
| 4. Turbocompresor de aire a post enfriador turbocompresores | 4. Etapa de alta |
| 5. Post enfriadores escape. | 5. Turbocompresor salidas |
| 6. Post enfriador de aire a los cilindros | |
| 7. Puerto de admisión. | |

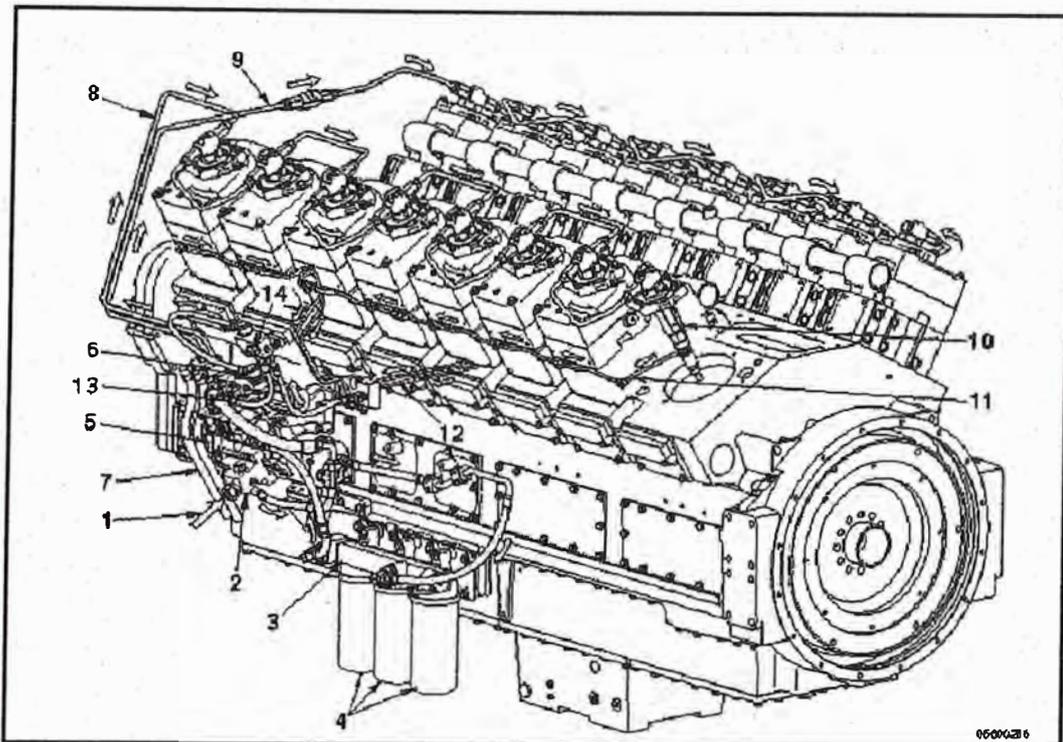


Figura N° 2.5: Sistema de combustible

Fuente: <https://quickserve.cummins.com/info/index.html>

- 1.- Entrada de combustible de la primera etapa de filtro de combustible.*
- 2.- Conducto de admisión de combustible*
- 3.- Segunda fase de montaje de la cabeza del filtro de combustible*
- 4.- Segunda fase de los filtros de combustible*
- 5.- Bomba de combustible*
- 6.- Válvula Mecánica*
- 7. Inyector de ventilación para las líneas de suministro*
- 8. Orilla izquierda del inyector de la línea de suministro*
- 9. Orilla derecha del inyector de la línea de suministro*
- 10. Inyector*
- 11. Orilla izquierda del inyector de líneas de drenaje*
- 12. Flujo de retorno de combustible desde la orilla derecha*
- 13. Línea de aire de purga*
- 14. Retorno de combustible al tanque de combustible OEM*

El motor diesel K2000 tiene las siguientes especificaciones técnicas de operación.

K20004 tiempos, 60 grados en V, 16 Cilindros
Diámetro y carrera159 mm [6.25 in] x 159 mm [6.25 in]
Desplazamiento50.3 litros [3068 in 3]
AdmisiónTurbo cargado y post enfriado
Potencia al freno2000 hp (1492KW) @ 1900 rpm
Potencia al Volante1860 hp (1388KW) @ 1900 rpm
Peso seco12603 lb (5717 kg)
Ratio de compresión15.0: 1

2.2 SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA

El motor diesel acciona un alternador en línea a velocidad de motor. El alternador produce corriente alterna (CA) la que es rectificadora a corriente continua (CC) dentro del gabinete de control principal. La salida del alternador proporciona energía eléctrica a los Ruedas Motorizadas de Tracción que operan con corriente continua (CC).

Las ruedas motorizadas usan motores eléctricos de CC. Los dos motores de ruedas vuelven a convertir la energía eléctrica en energía mecánica a través de trenes de engranajes incorporados dentro del conjunto del motor de la rueda.

La dirección de los motores de rueda es controlada por un interruptor selector manual de avance y retroceso ubicado en la consola central del operador. Las especificaciones generales de los principales componentes de este sistema son:

Tabla N° 2.5: Especificaciones del sistema de potencia

Alternator	GTA22
Motores de Tracción	GE788FS
Control Statex III	41A253301
Retardador Dinámico	17EM142/17EM144
Neumáticos	37:00 x 51
Radio de giro	65.4 inches (1.661 m)
Relación de transmisión	26.825 to 1
Relación de transmisión alterna	22.354 to 1

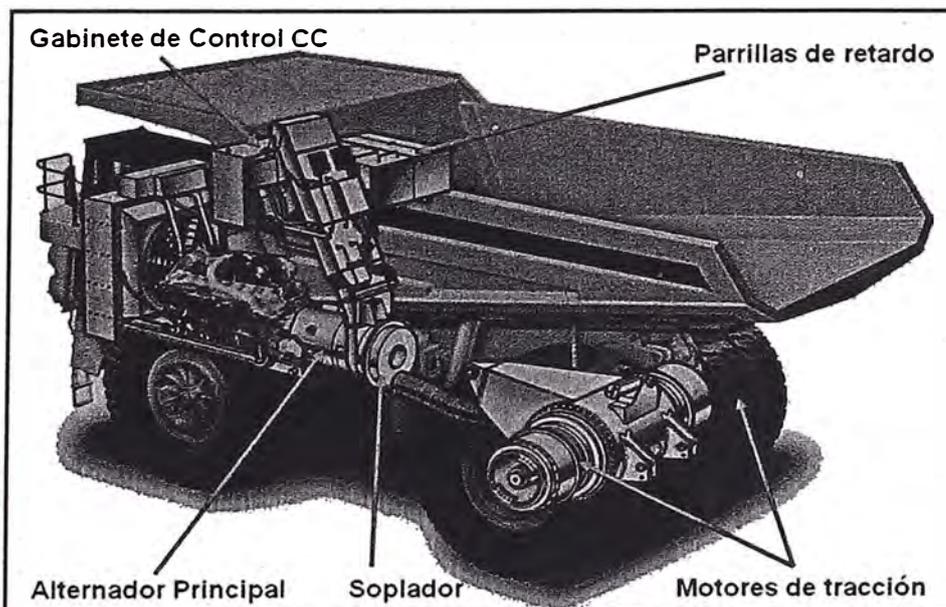


Figura N° 2.6: Componentes del sistema de potencia

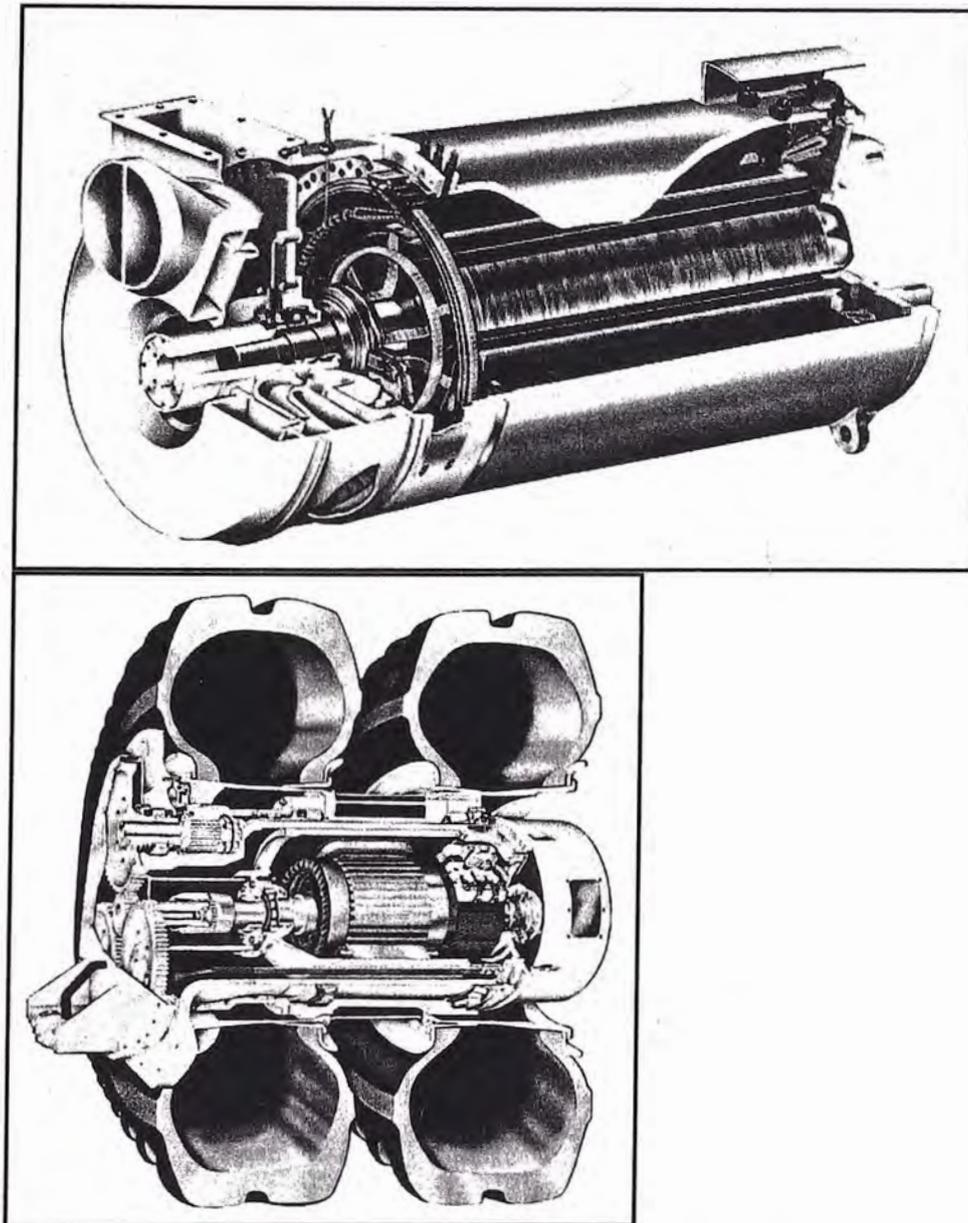


Figura N° 2.7: Alternador Principal y Motor de tracción

2.3 CHASIS

La estructura del equipo es de suma importancia debido a que soportará grandes esfuerzos y estará sometida constantemente a cargas variables de ahí la importancia de este sistema. Las especificaciones del chasis del camión minero 730E son:

Tabla N° 2.6: Especificaciones de la estructura del camión 730E

especificaciones de la estructura del camión minero 730E	
Ancho del Riel	11" (279 mm)
Altura Riel	32" (813 mm)
Espesor placas superior e inferior	1.25" (32 mm)
Espesor placa lateral	0.62" (16 mm)
Material de las planchas	70,000 libras/plg2 (482.6 mPa) tensile strength steel
Material fundido	90,000 libras/plg2 (620.5 mPa)

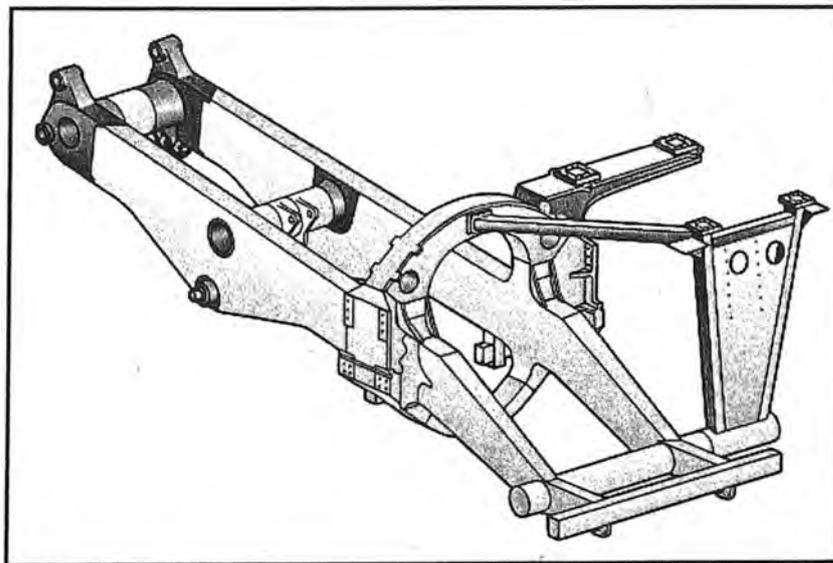


Figura N° 2.8: Estructura Principal Camión 730E

2.4 SISTEMA DE FRENOS

Los frenos de servicio en cada una de las ruedas son frenos de disco aplicados por un sistema de accionamiento completamente hidráulico. Al presionar el pedal del freno se accionan tanto los frenos delanteros como los frenos posteriores, después de aplicar el pedal de freno de servicio.

Todos los frenos de rueda se aplicarán automáticamente, si la presión del sistema cae por debajo de un mínimo preestablecido. El freno de estacionamiento es del tipo

seco, montado en cada disco de freno externo de las ruedas posteriores, se aplica por resorte y se libera hidráulicamente con la protección de aplicación de velocidad de rueda (no se aplicará con el camión en movimiento).

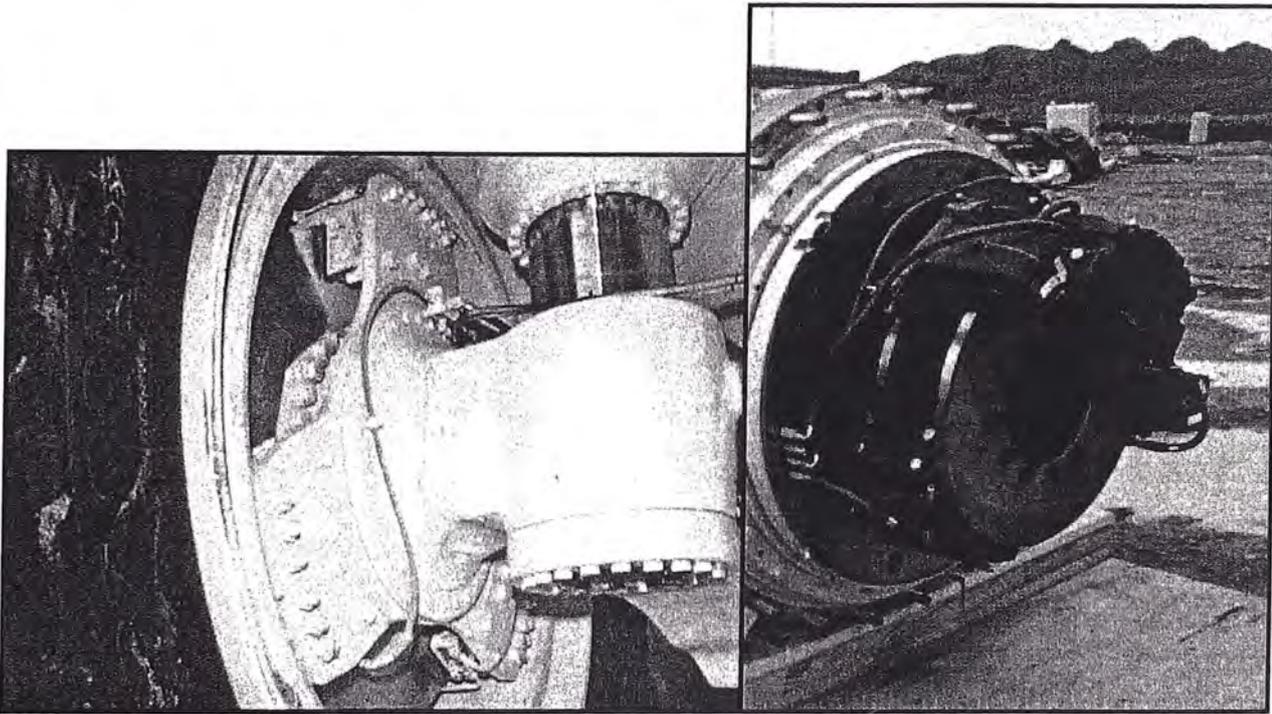


Figura N° 2.9: Sistema de frenos de ruedas delanteras y posteriores

2.5 CABINA

La cabina del operador ha sido diseñada para comodidad del operador y para permitir una operación segura y eficiente del camión. La cabina proporciona gran visibilidad con una estructura integral ROPS/FOPS de 4 pilares, y un avanzado entorno de operador análogo.

Incluye parabrisas polarizados y ventana lateral de accionamiento eléctrico, interior de lujo con asiento totalmente ajustable y con soporte lumbar, un volante de dirección totalmente ajustable/inclinable, controles de fácil acceso para el operador, y un panel de instrumentos análogo que proporciona al operador todos los instrumentos e indicadores necesarios para controlar y/o monitorear los sistemas de operación del camión.

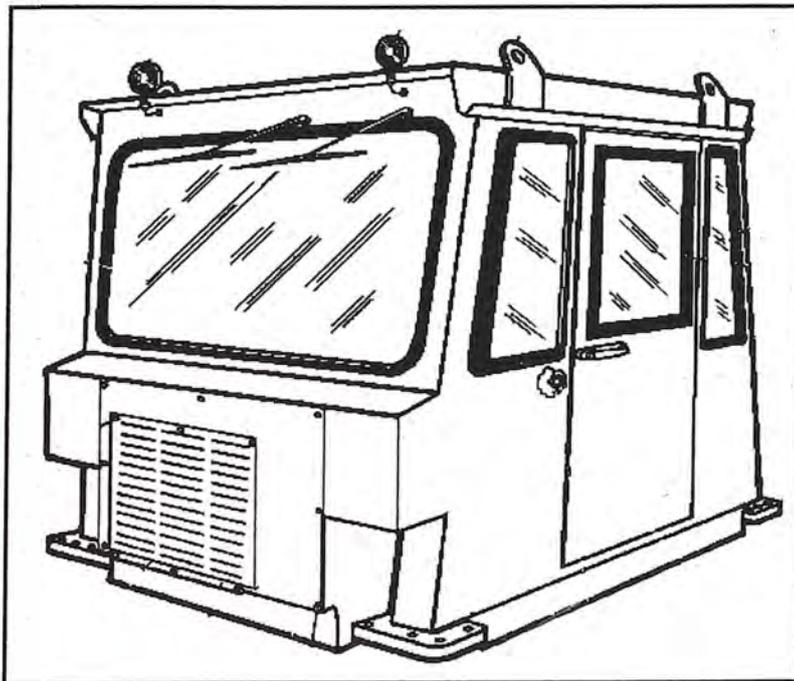


Figura N° 2.10: Cabina de operación

2.6 TOLVA

La tolva es el componente principal de los equipos de transporte de material en faenas a tajo abierto, en esta operación minera se usan las tovas denominadas livianas, el concepto de la tolva liviana se caracteriza por una estructura muy flexible y a la vez resistente gracias al empleo de una geometría innovadora y a la utilización

de aceros especiales de gran resistencia mecánica a la tracción, impacto y desgaste, lo que en conjunto hace posible una tolva menos pesada que la tradicional.

El peso de la tolva es determinante en el proceso productivo ya que determina la carga útil de los camiones de acarreo.

Tabla N° 2.7: Especificaciones de tolva

Capacidades y dimensiones de la tolva estándar	
Capacidad: Colmada @ 2:1 (SAE)	101 yd ³ (77 m ³)
Capacidad: A ras	145 yd ³ (111 m ³)
Ancho (Interior)	22 ft. 6 in. (6.85 m)
Profundidad	6 ft. 10 in. (2.08 m)
Altura de Carga	18 ft. 5 in. (5.61 m)
Angulo de Volteo	45°

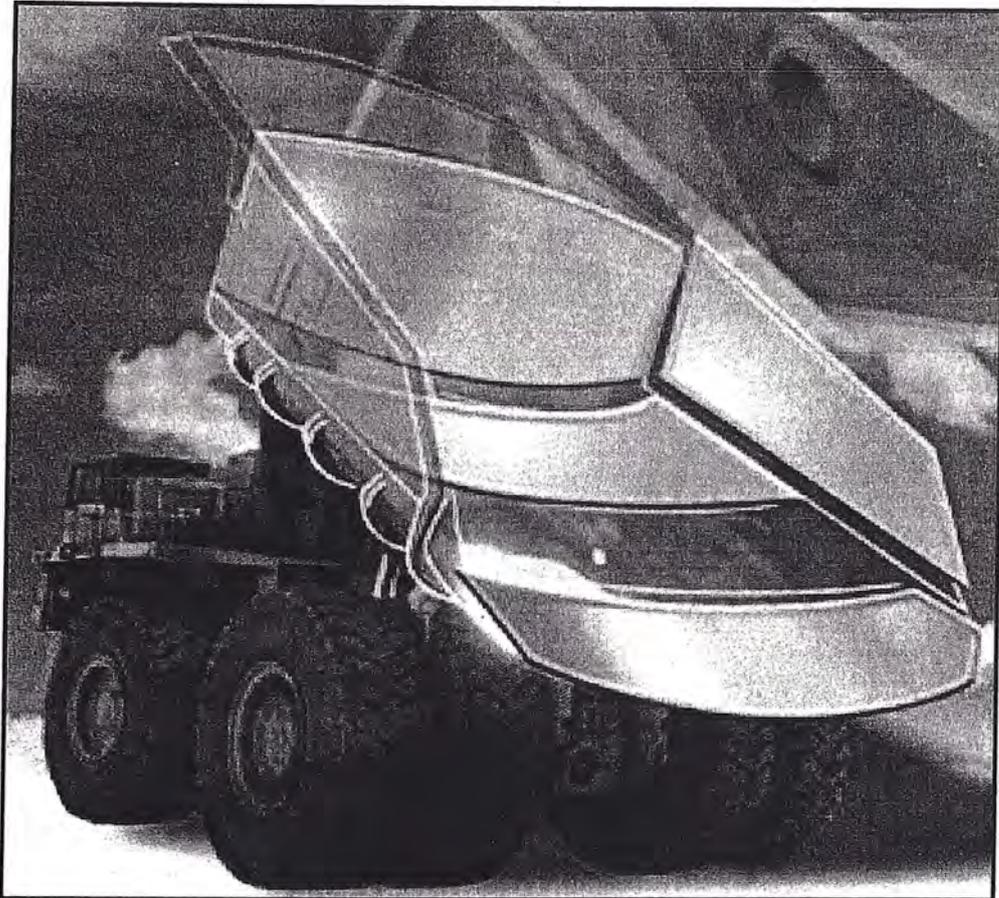


Figura N° 2.11: Tolva Ligera para camión 730E

2.7 SISTEMA HIDRAULICO

La calidad y duración de los componentes hidráulicos estarían en peligro si el sistema no se administra y mantiene apropiadamente. Debido a las elevadas presiones y las tolerancias internas extremadamente ajustadas, los sistemas hidráulicos deben administrarse cuidadosamente.

Las principales ventajas de los sistemas hidráulicos son:

- Facilidad de obtener grandes fuerzas y torques, los valores de fuerza a obtener son ilimitados; se trabaja a las mismas presiones y solo se incrementa el área de los actuadores.

- Exactitud de movimiento y de posicionamiento, pueden lograrse grandes exactitudes y precisiones al trabajarse con un fluido prácticamente incompresible. Además los sistemas hidráulicos pueden controlarse electrónicamente en lazo abierto o en lazo cerrado lográndose un control preciso de sus parámetros. Estas técnicas se aplican al utilizar válvulas proporcionales y servo válvulas
- Fácil control y regulación, Las magnitudes de regulación y control de la hidráulica son el la presión y el caudal las cuales con sus correspondientes parámetros de fuerza, torque, velocidad y aceleración son fáciles de controlar regulándose en niveles (digital) o en forma continua (análogo).
- Relaciones potencia-peso, inercia–potencia peso-potencia y tamaño-potencia pequeñas, para la misma potencia mientras el peso de un motor hidráulico es como 1, el peso de un motor eléctrico es como 14. Como consecuencia se usan en aviones, barcos y en general en equipos móviles.

Para la misma potencia un motor hidráulico tiene una inercia de 1 y un motor eléctrico tiene una inercia de 70. Como consecuencia los motores hidráulicos tienen un menor tiempo de respuesta, esto es más rápidos, al ser menor su inercia. Mientras que para la misma potencia un motor hidráulico tiene un tamaño de 1, un motor eléctrico tiene un tamaño de 26.

La comparación de un motor hidráulico con un motor de combustión interna es obviamente mucho mas remarcada.

- Velocidad variable, la mayoría de los motores eléctricos funcionan a una velocidad constante. El actuador (lineal o rotativo) de un sistema hidráulico, sin embargo puede moverse a velocidades infinitamente variables, variando

el caudal de la bomba o usando una válvula de control de caudal o una válvula proporcional.

- Además un motor eléctrico debe ser muy robusto (mayor cantidad de polos) para lograr “bajas” velocidades (1200 o 900 rpm), y la volante de un motor de combustión interna gira en ralentí a 500 o 800 rpm, en ambos casos si se quiere lograr menores velocidades se debe recurrir tradicionalmente a una caja reductora de velocidad, en cambio con un motor hidráulico se pueden obtener cualquier gama de velocidad con mucha flexibilidad.
- Reversibilidad, pocos actuadores son reversibles. Los que son reversibles, generalmente deben decelerarse y luego acelerarse lentamente, en cambio un actuador hidráulico puede invertirse, instantáneamente, en pleno movimiento, sin problemas. Una válvula direccional o una bomba reversible proporcionan el control de la inversión, mientras que una válvula limitadora de presión protege a los componentes del sistema contra las presiones excesivas.
- Pueden bloquearse (velocidad = 0), el bloqueo de un motor eléctrico causa daños o funde el fusible. Igualmente, las máquinas no pueden bloquearse bruscamente e invertirse su sentido sin necesidad de arrancar de nuevo. Un actuador hidráulico, sin embargo, puede quedar bloqueado sin que se produzcan daños, al estar sobrecargado, y arrancará inmediatamente en cuanto disminuya la carga.
- Son sistemas auto lubricados ya que tienen como principal fluido al aceite el cual no solo transporta la energía sino también lubrica todas las partes del sistema.

Las desventajas de los sistemas hidráulicos son:

- Altas pérdidas en forma de energía calorífica debido a la viscosidad del fluido y de la fricción con tuberías, mangueras y accesorios. La viscosidad del aceite es de 20 a 80 veces mayor a la viscosidad del agua, por ello que las pérdidas cuando circula el fluido a través de mangueras, tuberías, accesorios y en general de todo elemento generara pérdidas. Por ello que la energía hidráulica no se puede trasladar a grandes distancias y tratan de ser muy compactos.
- Sensibilidad a la suciedad, el principal motivo de falla de un sistema hidráulico con una probabilidad del 70 al 80 % (cifras mundiales) es la suciedad que se introduce en el sistema hidráulico. Debemos tomar en cuenta que visualmente no podemos cuantificar la suciedad tomando en cuenta que la vista humana solo puede distinguir partículas a partir de tamaños de 40 micras y que las partículas que mas daños causan a los sistemas hidráulicos son del orden de 1 a 10 micras que es el juego en los elementos internos de las bombas, válvulas y actuadores.
- Dependen de la temperatura, la viscosidad del aceite depende de la temperatura, lo que hace que los sistemas hidráulicos dependan de la temperatura. Si el aceite tiene alta o baja viscosidad no lubricará apropiadamente las partes metálicas entrando en contacto metal - metal produciéndose rozamiento y desgaste.
- Fugas internas, en algunos componentes originando pérdidas de velocidad y precisión.
- Peligros de explosión y accidentes al trabajar con elevadas presiones.

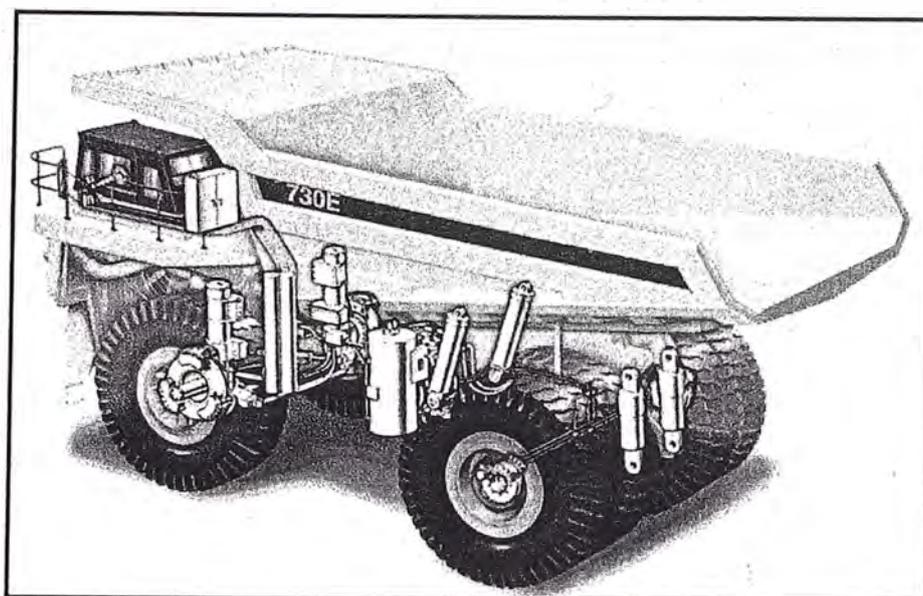


Figura N° 2.12: Principales componentes del sistema hidráulico

2.8 DISTRIBUCION DE PESOS

La distribución de pesos en el equipo es importante para determinar la carga neta sobre cada rueda en el equipo, en la tabla N° 2.8 se muestra el detalle de las cargas aplicadas a cada uno de los ejes del camión 730E cuando esta vacío (ciclo de retorno) y cuando esta cargado (ciclo de avance).

Tabla N° 2.8: Tabla de cargas aplicadas en los ejes del camión 730E

Vacio	Libras	Kilogramos	Distribución de Peso (%)	carga neta por neumático (Kg)
Eje delantero	144,594	65587	47.40%	32793.5
Eje posterior	160,457	72784	52.60%	18196
Total	305,051	138371	100.00%	
Cargado	Libras	Kilogramos	Distribución de Peso	carga neta por neumático (Kg)
Eje delantero	241,670	109621	33.80%	54810.5
Eje posterior	473,330	214703	66.20%	53675.75
Total	715, 000	324324	100.00%	

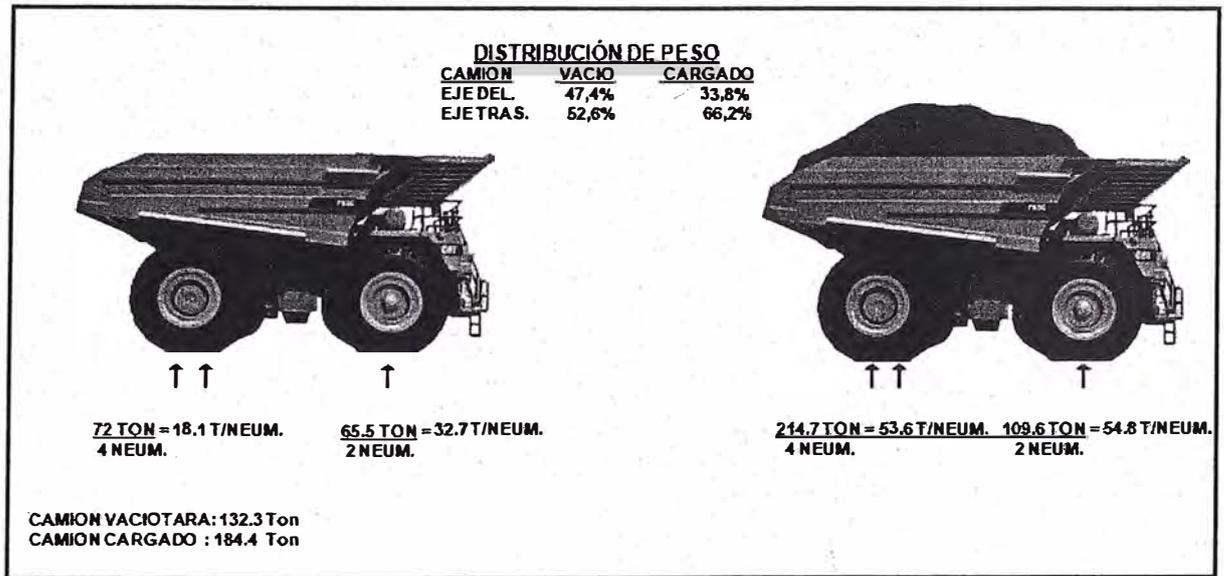


Figura N° 2.13: Distribución de cargas sobre cada uno de los neumáticos

CAPITULO III

EXTRACCION DEL MINERAL

3.1 MINERIA

La explotación de un yacimiento minero supone la existencia de una concentración de un mineral, elemento o roca con suficiente valor económico como para sustentar esta explotación con un beneficio industrial para la empresa. Para que esto se produzca, se ha de cumplir la ecuación:

$$\text{Valor Producción} = \text{Costos} + \text{Beneficios}$$

El valor de la producción se obtiene mediante la valoración económica del yacimiento, de acuerdo con los datos del estudio de investigación minera, y por tanto, dependen de la naturaleza y características de la mineralización de forma que, para poder cumplir con esta condición, se tiene que analizar los costos que implica la explotación minera del yacimiento.

Este factor, el costo, depende de muchos factores. Algunos de ellos no son modificables; si el yacimiento se localiza a gran distancia de centros de transporte o

de consumo, tendremos un costo de transporte a asumir (y minimizar en lo posible). Otros dependen de decisiones a tomar: por ejemplo, la decisión de abordar una explotación a cielo abierto o subterráneo incide de forma decisiva sobre este factor de costo. No obstante, rara vez tomamos este tipo de decisiones libremente, ya que suelen estar condicionadas por factores propios de mineralización: profundidad a la que se encuentra o geometría (horizontal o vertical, mayor o menor espesor). En cualquier caso, en la toma de decisiones implicada en el diseño de una explotación minera siempre tenemos un mayor o menor grado de libertad, que nos permite evaluar distintas alternativas, y elegir la más adecuada para cada yacimiento, de forma que la ecuación se cumpla (lo cual no siempre ocurre, naturalmente).

3.1.1 Minería Superficial

En lo fundamental, el tipo de minería que se desarrollara en la explotación de oro es el de "minería a cielo abierto por lixiviación con cianuro". Por las implicaciones que tiene este tipo de minería, se trataré de ser exhaustivo en su descripción. La minería a cielo abierto es una actividad industrial de alto impacto ambiental, social y cultural. Es también una actividad industrial insostenible por definición, en la medida en que la explotación del recurso supone su agotamiento. Las innovaciones técnicas que ha experimentado la minería a partir de la segunda mitad del presente siglo han modificado radicalmente la actividad, de modo que se ha pasado del aprovechamiento de vetas subterráneas de gran calidad a la explotación -- en minas a cielo abierto- - de minerales de menor calidad diseminada en grandes yacimientos.

La minería a cielo abierto remueve la capa superficial o sobrecarga de la tierra para hacer accesibles los extensos yacimientos de mineral de baja calidad. Los modernos equipos de excavación, las cintas transportadoras, la gran maquinaria, el uso de nuevos insumos y las tuberías de distribución permiten hoy remover montañas enteras en cuestión de horas, haciendo rentable la extracción de menos de un gramo de oro por tonelada de material removido.

Existe consenso en la literatura sobre el tema en el sentido de que ninguna actividad industrial es tan agresiva ambiental, social y culturalmente como la minería a cielo abierto (MCA). La minería a cielo abierto utiliza, de manera intensiva, grandes cantidades de cianuro, una sustancia muy tóxica, que permite recuperar el oro del resto del material removido. Para desarrollar todo este proceso, se requiere que el yacimiento abarque grandes extensiones y que se encuentre cerca de la superficie. Como parte del proceso, se cavan cráteres gigantescos, que pueden llegar a tener más de 150 hectáreas de extensión y más de 500 metros de profundidad. El impacto ambiental provocado por cualquier actividad minera está relacionado con cuatro factores principales:

1. Tamaño de la explotación, que se refiere al volumen de producción de la explotación, el cual tiene como consecuencia una determinada dimensión de actividades y producción de desechos y aguas residuales.

2. Localización, que se refiere al sitio en el que se lleva a cabo la explotación.
3. Métodos de explotación, que dependen del tipo de yacimientos a explotar y que están directamente relacionados con la naturaleza y extensión del impacto. Se utilizan tres métodos principales:
 - a. Minería a cielo abierto (o minería superficial),
 - b. Minería subterránea,
 - c. Minería por lavado y dragado.
4. Características de los minerales y de su beneficio, que se refiere al hecho de que la naturaleza del mineral determina el tratamiento a sufrir. Los minerales se pueden dividir en:
 - a. Minerales no metálicos (como los materiales de construcción), que requieren poco tratamiento físico, como por ejemplo trituración y molienda, y que no requieren ningún tratamiento químico.
 - b. Minerales metálicos, que requieren generalmente un alto nivel de procesamiento, así como el empleo de muchos reactivos químicos, y que generan grandes cantidades de desechos finos.

3.1.1.1 Descripción del Proceso de Chancado y Carga de Camiones

La operación de chancado consiste en la reducción de tamaño de rocas grandes a mas pequeñas, utilizando fuerzas de compresión, fricción, flexión, cizallamiento u otras en menor proporción.

La planta de chancado tiene por función reducir el tamaño de mineral en dos etapas: la primera, donde el mineral ROM de mina es reducido hasta un tamaño máximo de 7" y la segunda, donde el mineral es reducido de 7" a un tamaño final de 1 1/2" que permita la lixiviación.

La finalidad de la reducción del tamaño es liberar el material valioso para que en un proceso posterior (lixiviación) el oro y la plata se libere y se pueda recuperar con mayor facilidad.

1.- CHANCADO PRIMARIO

A. DESCARGA Y RECEPCION DEL MINERAL:

El mineral a razón de 42 000 TM/d es transportado por medio de camiones mineros de 180 toneladas de capacidad y descargado en la tolva de alimentación a la chancadora primaria de 285 toneladas de capacidad. Así mismo un rompedor de rocas hidráulico se encarga de reducir los fragmentos de ingreso mayores a 49".

B. CHANCADO PRIMARIO:

EL mineral es chancado por medio de una chancadora giratoria de 50" x 65" y 500 HP de potencia. El mineral chancado es descargado en una tolva de almacenamiento de 380 toneladas de capacidad, el mineral producto del chancado primario llega a 7" de tamaño en promedio.

C. TRANSPORTE AL STOCKPILE:

El mineral del surge pocket descarga en un alimentador de placas (Apron Feeder, de 6" de ancho por 23" de longitud), el alimentador de placas permite dosificar el tonelaje de manera gradual en la faja

transportadora N° 01 de 60" ancho, 185 kW de potencia que alimenta el stockpile.

2. APILAMIENTO

El mineral producto del chancado primario es transportado por medio de la faja transportadora N° 01 hasta una zona de almacenamiento (stockpile), donde por medio de un sistema de chutes y alimentadores vibratorios el mineral es descargado en la faja transportadora N° 02 (conveyor N° 02), que sirve de alimentación a chancado secundario

A. APILAMIENTO:

El mineral alimentado por la faja transportadora N°01, es almacenado en la pila de compensación de chancado secundario (stockpile) de 2000 t de capacidad viva y 11000t de capacidad total. La pila permite tener un stock de mineral de alimentación al chancado secundario en paradas parciales o programadas de chancado primario. La densidad del material es de 1.5 T/m³ y el ángulo de reposo de la pila es de 38°.

B. DESCARGA:

El mineral descarga de la pila por medio de 4 chutes vibratorios (chute vibrator) con un ángulo de descarga de 70°. La descarga cae en 4 alimentadores vibratorios (vibrating feeder), estos alimentadores vibratorios (3 en operación y 1 en stand by) alimentan a la faja transportadora N°02.

C. **TRANSPORTE A CHANCADO SECUNDARIO:**

La faja transportadora N°02 (60" de ancho, 450 kW de potencia y 241 m de longitud), transporta el mineral hacia el chancado secundario.

La faja dispone de un electroimán estacionario, un detector de metales y una balanza de faja.

3. CHANCADO SECUNDARIO

El mineral es sometido inicialmente a una separación por medio de un partidore de carga, luego es clasificado por medio de dos zarandas vibratorias (vibrating screen), y a una segunda y última reducción por medio de dos chancadoras cónicas (secondary cone crusher). La descarga cae en dos fajas transportadoras; Faja transportadora N° 03 y faja transportadora N° 04 (conveyor N°03 y 04) las que alimentan a su vez a la faja transportadora N°05 (conveyor N°05) que alimenta a la tolva de carga de camiones.

A. **DISTRIBUCION:**

El mineral, alimentado por la faja transportadora N°02 (conveyor N°02), es descargado en un partidore de carga (splitter chute) de dos vías operadas hidráulicamente.

B. **ZARANDEO:**

El mineral cae en dos zarandas vibratorias de 8" x 24", de doble piso (double deck vibratin screen), dispuestas en paralelo y de 30 kW de potencia cada una. El primer nivel cuenta con un tamiz de 4" y el segundo nivel cuenta con un tamiz de 1 ½".

C. **CHANCADO SECUNDARIO:**

El chancado secundario es realizado por dos chancadoras cónicas dispuestas en paralelo (secondary cone crusher) de 800 HP (600 kW) de potencia.

D. **TRANSPORTE A TOLVA DE CAMIONES:**

Las descargas de las chancadoras cónicas junto con el undersize de ambas zarandas caen en las fajas N°03 y N°04 respectivamente. Estas fajas de 54" de ancho y 37 kW de potencia, alimentan a la faja N°05 de 60" de ancho y 199 m de longitud, esta última alimenta a la tolva de carga para camiones.

E. **ALIMENTACION DE CAL A LA FAJA N°05**

Adicionalmente a la faja transportadora N°05 se alimenta cal desde la tolva de cal por medio de un alimentador de tornillo.

4. CARGA DE CAMIONES

La tolva de carga de camiones (OREBIN) que dispone de tres compuertas, descarga directamente en camiones de transporte minero los cuales llevan el mineral ya reducido hacia las pilas de lixiviación.

A. **ALMACENAMIENTO:**

El mineral alimentado por la faja N°05 cae a la tolva de carga de camiones de 1 000 toneladas de capacidad viva y 1.5 T/m³ de densidad de mineral, el ángulo de reposo del mineral en la parte superior de la tolva es 38°; la tolva es de 12 m. de diámetro por 14 m. de altura.

B. CARGA DE CAMIONES:

La tolva para la descarga dispone en su parte inferior de 3 chutes de descarga dispuestos con lanzas de aire para remoción y limpieza y de sus respectivos collares de descarga, cada collar en su boca inferior dispone de su respectiva compuerta de arco operada hidráulicamente.

Los conductos de salida disponen además de vibradores electromecánicos que permiten la descarga del mineral hacia los camiones de acarreo; los cuales transportan el mineral hacia las pilas de lixiviación.

3.1.1.2 Lixiviación

El proceso de lixiviación consiste en exponer el mineral que contiene los valores metálicos (Oro y Plata) a una solución capaz de disolver dichos metales en forma selectiva. El mineral chancado, es colectado sobre una zona impermeable formando una pila de una altura determinada, sobre la que se esparce solución diluida de cianuro, la cual percola a través del mineral disolviendo los metales preciosos.

La disolución del oro o de la plata por el cianuro, es un proceso electroquímico; que involucra la disolución anódica del oro como un ejemplo auro-cianuro y la reacción catódica simultánea de reducción del oxígeno disuelto en agua. Se entiende como una reacción electroquímica aquella en la cual intervienen un ánodo y un cátodo; entendiéndose como ánodo al elemento que pierde electrones (elemento que se corroe, es decir, tiende a pasar sus iones a la solución en un sistema acuoso) y como cátodo el

elemento que capta los electrones para que se produzcan las reacciones de reducción del sistema.

El oro es un metal muy noble; es decir, difícilmente oxidable (difícil de corroer), es perfectamente estable en presencia de agua y de soluciones acuosas en todo rango de pH, exentas de sustancias complejas. El oro puede ser atacado por sistemas muy corrosivos y a la vez complejas, es el caso del agua regia (3 HCl: 1 HNO₃), que combina la acción oxidante del ácido nítrico con la acción compleja del cloruro.

En el caso de la cianuración, el oxidante (agente corrosivo) es el oxígeno y el agente complejante es el cianuro, formando el ion auro-cianuro Au (CN)₂.

Así el oro en presencia de cianuro deja de ser un metal noble y puede ser atacado fácilmente por el oxígeno disuelto en el agua.

En esa reacción electroquímica la reacción anódica sería la disolución del oro y la reacción catódica sería la reducción del oxígeno.

Hay que resaltar que las dos reacciones se producen simultáneamente y que los electrones que libera el oro cuando se disuelve, los capta el oxígeno para que pueda formar los OH.

El sistema de lixiviación ocupa unas 1120 hectáreas, La capacidad diseñada para la plataforma de lixiviación es de 115 millones de toneladas métricas (peso seco del mineral).

Para la construcción de las pilas se utiliza el sistema de relleno en valle. Se construyó una presa de contención, la misma que tiene el doble propósito de

estabilizar la base de la pila y de asegurar el almacenamiento de la solución del proceso y de aguas pluviales.

La altura de la presa alcanzará unos 150 m de altura y es estable ante cargas dinámicas, con un volumen de almacenamiento tal como para retener la solución enriquecida y la precipitación pluvial. Aunque la presa está recubierta con dos revestimientos sintéticos y con una capa gruesa de arcilla, se consideró un sistema de drenaje para asegurar su estabilidad en caso de una rotura del revestimiento.

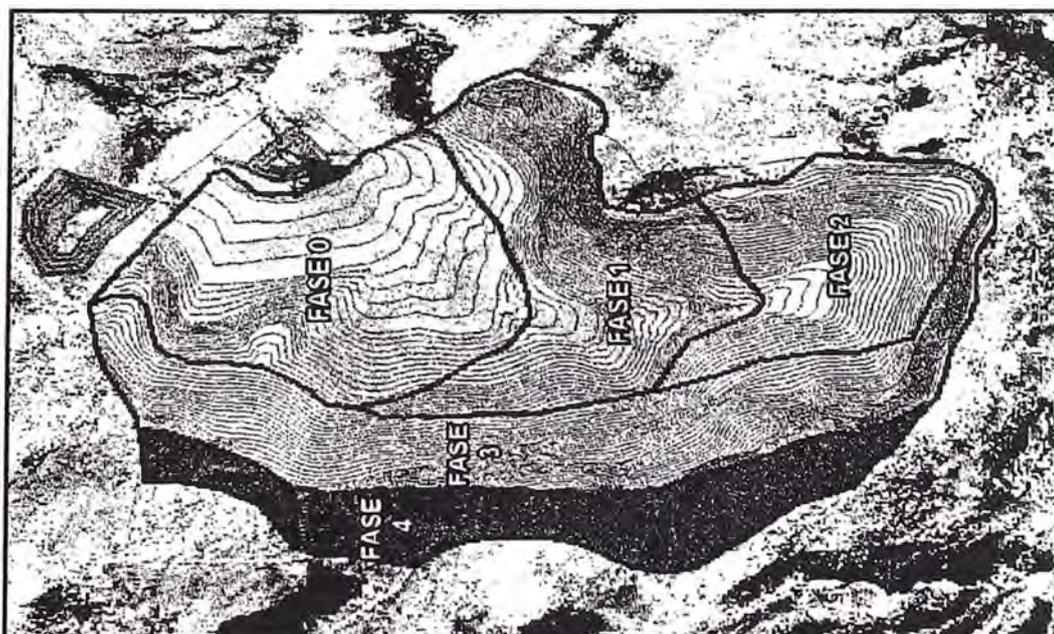


Figura N° 3.1: Fases del PAD de Lixiviación

La plataforma de lixiviación se construye en varias fases, a través de los años. Esta se prepara despejando el suelo vegetal, la turba y los suelos blandos u orgánicos. Estos suelos son almacenados para su uso futuro en rehabilitación o en el tratamiento de material que tuviera algún potencial de generar drenaje

ácido. Las salientes rocosas son alisadas y niveladas para formar taludes del orden de 2.5 H: 1 V o menos inclinados.

Las zonas que no contienen arcillas naturales son cubiertas con una capa delgada de arcilla para proteger al revestimiento sintético contra perforaciones y para disminuir las fugas en caso de que el revestimiento fuera perforado. La capa de arcilla (también denominada comúnmente de amortiguamiento) tiene un espesor promedio de 300 mm o, cuando se encuentra combinado con arcillas naturales existentes en el lugar, tienen un espesor promedio total de por lo menos 300 mm. Pueden existir variaciones locales en el espesor de esta capa, debido a lo abrupto del terreno natural y lo escarpado de algunos taludes.

El drenaje sup-superficial se hace a través de una serie de tuberías y zanjas rellenas de roca, ubicadas a lo largo del talud del valle principal y de los valles laterales. Estas zanjas tienen el doble propósito de reducir la cantidad de agua superficial natural que entra en contacto con el sistema de revestimiento y para detectar oportunamente fugas dentro de la zona de bofedales. Estos desagües pasan por debajo de la presa y descargan a sumideros de captación en los que el agua puede ser periódicamente monitoreando para ser luego descargado, tratado o reciclado al circuito de lixiviación.

A través de las pilas de lixiviación, por encima del revestimiento primario se instala un sistema de tuberías de drenaje para captar la solución rica de

lixiviación y una capa de arena o grava fina para proteger el revestimiento contra perforaciones. Esta capa protectora consiste de mineral chancado y tamizado, dependiendo de sus propiedades geotécnicas y su disponibilidad con relación al programa de construcción.

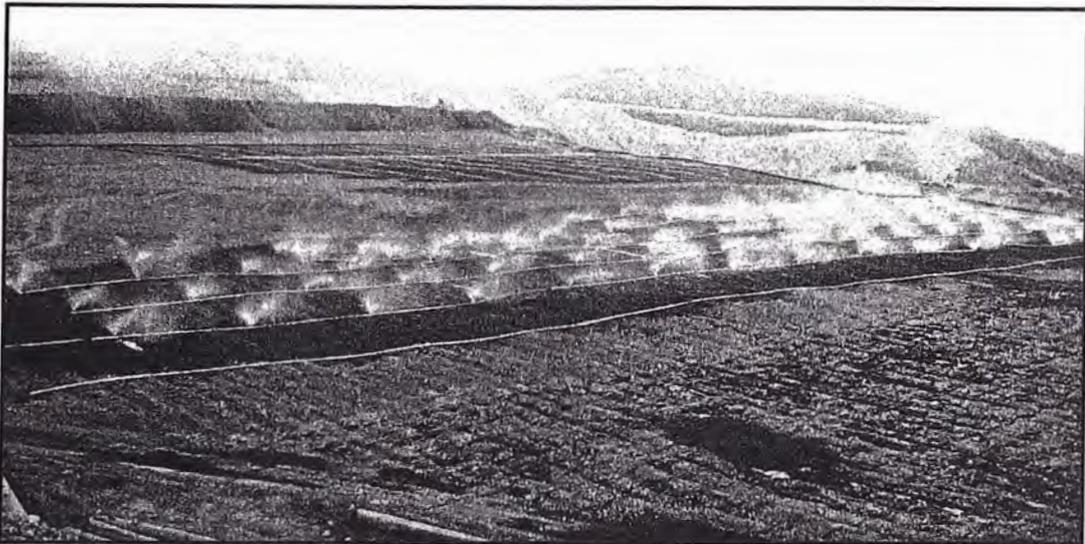


Figura N° 3.2: Riego del PAD de Lixiviación con solución Cianurada

La siguiente es la reacción química para disolver las partículas sólidas de oro (Au) en las pilas con cianuro diluido:



Oro	+	Cianur	+	Oxí	+	Agu	⇒	Complejo	+	Hidróxido
		o	de	gen	a			cianuro de oro		de sodio
		sodio		o						

3.1.1.3 *Etapas del Proceso de Merrill Crowe*

Es un proceso a través del cual se recupera oro de la solución rica en forma de precipitado, mediante la adición de polvo de zinc. Este proceso se usa comúnmente cuando un cuerpo mineral tiene un alto contenido de plata, además de oro. La solución rica antes del proceso de precipitación es clarificada por medio de filtros clarificadores para reducir el contenido de los sólidos en suspensión y minimizada de oxígeno en la torre de desaereación mediante bombas de vacío. El proceso de Merrill Crowe está dividido en tres etapas:

1. **CLARIFICACION DE SOLUCION ENRIQUECIDA:**

La solución enriquecida de lixiviación es clarificada por medio de 4 filtros clarificadores de hojas (3 en operación y 1 en stand by). La solución sigue su curso hacia el tanque de solución rica clarificada. Los sólidos son minimizados de 50 NTU a un contenido menor a 5 NTU. (*NTU: Unidades Nefelométricas de turbidez, o Nefelometric Turbidity Unit*)

A. **ALMACENAMIENTO DE LA SOLUCION ENRIQUECIDA DE LIXIVIACION**

La solución enriquecida de lixiviación con un flujo de 1 206 m³/h es bombeada desde la poza de la solución rica por una de las dos bombas de turbina vertical, hacia el tanque de solución no clarificada.

B. PRECAPADO DEL CLARIFICADOR

En el tanque de mezcla de precapa la mezcla de diatomita y agua con 6% de sólidos por peso es bombeada a los filtros clarificadores. La precapa (revestimiento) se hace pasar por los filtros clarificadores para recubrir las hojas por única vez al inicio del ciclo de filtraje a un flujo de 217 m³/h.

C. CLARIFICACION

La solución rica no clarificada con 50 NTU de sólidos en suspensión y un flujo de 1 206 m³/h es bombeada por una bomba centrífuga hacia 4 filtros de hoja, cada filtro está compuesto de 51 hojas.

Durante el ciclo de filtraje, cada uno de los filtros clarificadores en operación retira las partículas sólidas a medida que la solución no clarificada pasa a través de los elementos filtrantes pre-recubiertos (hojas).

La solución de salida de los filtros clarificadores de hojas fluye por gravedad hacia el tanque de solución rica clarificada, esta solución debe contener en esta etapa menos de 5 NTU de sólidos suspendidos.

2. DESAEREACION:

La solución rica clarificada es bombeada desde el tanque de solución rica hacia la torre de desaereación. La solución clarificada pasa por la torre desaeradora donde el contenido de oxígeno es retirado con la ayuda de bombas de vacío, esto es una condición requerida para una óptima precipitación del oro y la plata. La solución desaerada

precipitada es bombeada a los filtros prensa para reducir el contenido de sólidos de la solución a menos de 1 ppm.

A. **ALMACENAMIENTO DE LA SOLUCION ENRIQUECIDA**

El flujo de solución filtrada que sale por cada uno de los filtros clarificadores es 402 m³/h, este fluye por gravedad hacia el tanque de solución enriquecida clarificada. La solución enriquecida clarificada debe tener un valor menor a 5 NTU en sólidos en suspensión.

B. **DESAEREACION**

La solución que sale del tanque de solución enriquecida clarificada tiene un flujo de 1187 m³/h y contiene 7 mg/L de oxígeno disuelto. Esta solución es bombeada por la bomba de alimentación a la torre de desaereación. La solución que sale de la torre de desaereación contiene una concentración de oxígeno menor a 1.0 mg/L. La solución desaereada fluye desde el fondo de la torre hacia la bomba de alimentación de los filtros prensa.

3. **PRECIPITACION CON POLVO DE ZINC:**

A la solución sin oxígeno que sale de la torre de desaereación se le agrega polvo de zinc, justo antes de la entrada de la bomba de alimentación a los filtros prensa. Las bombas de alimentación a los filtros prensa están sumergidas en solución barren para evitar que el aire ingrese en la solución precipitada.

El zinc se usa para precipitar (para separar de la solución) el oro. Esta es una reacción electroquímica en donde el oro, el cual está en solución como un complejo de cianuro de oro es desplazada por el

zinc aprovechando la diferencia de potenciales de reducción que existe entre las especies oxidadas del oro y el zinc. El oro es precipitado casi inmediatamente como oro sólido y el zinc forma un complejo con el cianuro.

A. PREPARACION DE POLVO DE ZINC

Se agrega manualmente polvo de zinc a la tolva sobre el alimentador de zinc de tipo tornillo sin fin, la velocidad variable de cada alimentador se ajusta para alimentar polvo de zinc seco al tanque de cono emulsificador de zinc donde se mezcla por agitación con agua.

B. PREPARACION DE NITRATO DE PLOMO

Sacos de 25 kg de nitrato de plomo se agregan por una tolva de descarga al tanque de mezcla de nitrato de plomo, la adición de nitrato de plomo se realizará posiblemente según sea necesario en la planta.

C. PRECIPITACION

A la solución que sale de la torre de desaereación se le inyecta pulpa de polvo de zinc preparada en el cono emulsificador de zinc, esta solución es bombeada por medio de las bombas verticales de alimentación hacia los filtros prensa, las cuales están sumergidas en un tanque de solución barren para evitar la posibilidad de que se filtre aire en la solución. La precipitación de oro y plata, junto con el mercurio, es casi instantánea y la bomba cumple también la función de mezcladora para mejorar el proceso.

La cantidad de polvo zinc adicionado es 250 gr/min. La dosificación de nitrato de plomo es 0.2 Kg/Kg de zinc.

La solución desprovista de oro y plata que sale de los filtros prensa se llama solución barren. El volumen de esta solución es esencialmente el mismo del volumen de la solución rica clarificada de lixiviación.

La solución pobre que sale de los filtro prensa ingresa al tanque de solución pobre (barren) con un flujo de 1187 m³/h y con un contenido de sólidos menor a 3.0 mg/L.

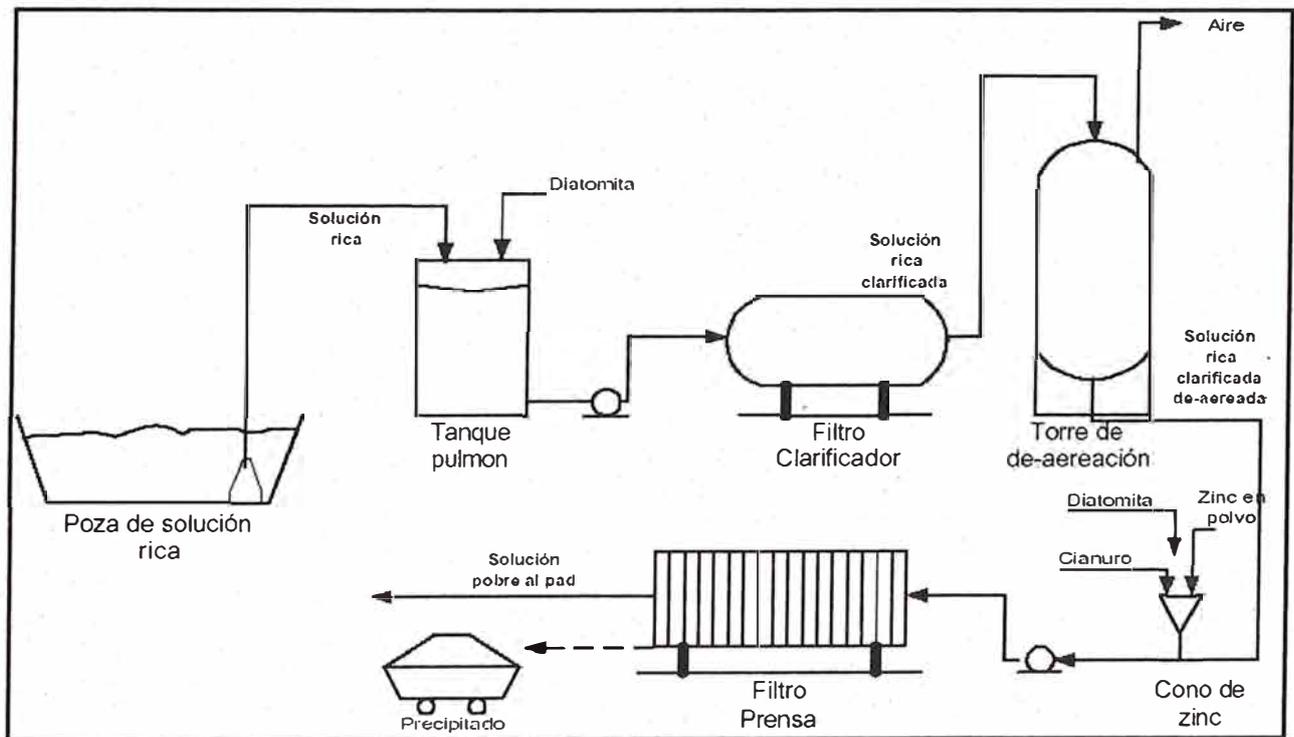


Figura N° 3.3: Proceso Merrill Crowe

3.1.2 Minería Subterránea

La minería subterránea presenta mayores costos de explotación que la de cielo abierto. A esto hay que sumarle las complicaciones asociadas a una

menor capacidad de extracción del mineral económico y mayores riesgos laborales. Se recurre a la explotación subterránea cuando la sobrecarga de estéril sobre la masa mineralizada es tal que su remoción hace inviable un proyecto minero. Digamos también, que bajo un punto de vista ambiental, la minería subterránea suele crear un impacto menor que una mina a cielo abierto.

- Si la explotación se va a realizar a cotas inferiores del terreno base, entonces el acceso a las labores se realizará por un pozo (shaft) o una rampa (decline spiral, *decline*). Los pozos cumplen diversas funciones, entre otras permitir el acceso y salida del personal de mina, la ventilación de las labores mediante inyección de aire desde la superficie, y por supuesto, el transporte del material extraído a la superficie. Las rampas por su parte han ido ganando adeptos con gran velocidad en la minería moderna. Estas permiten el acceso directo a la mina de material rodado, lo que facilita las labores de transporte de mineral.
- Dentro de la mina tenemos las **galerías**, que pueden ser **en dirección** (de la masa mineralizada; *drifts*) o perpendiculares a ésta, esto es, **transversales** (*cross-cuts*).
- La conexión entre los distintos niveles de una mina se realiza por pozos inclinados (*raise*, hacia arriba; *winze*, hacia abajo), que sirven para el trasvase de mineral y movimiento del personal.
- Tendremos **niveles** de producción, y por debajo de éstos, de transporte de mineral.

- Entre los equipos más comunes están los minadores (*miners*), las perforadoras tipo *Jumbo*, los equipos de transporte tipo LHD (*load-haul-dump*: carga-transporte-descarga), etc.

Elementos constitutivos de una mina subterránea

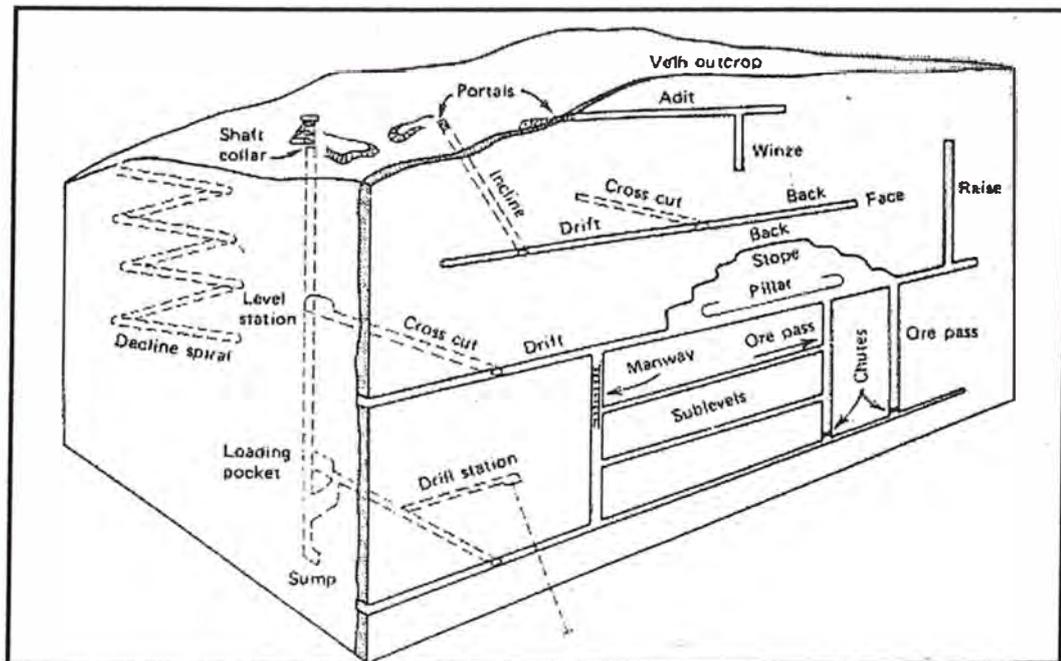


Figura N° 3.4: Esquema de minería subterránea

CAPITULO IV

SALUD Y MEDIO AMBIENTE EN LA MINERIA

4.1 MEDIO AMBIENTE

Tres tipos principales se distinguen de los cambios como consecuencia de la minería: el cambio en la topografía natural, que se traduce en restricciones en las posibilidades de utilizar la tierra para otros fines, los cambios en las condiciones hidrogeológicas con consecuencias tanto para las aguas subterráneas y superficiales y por último, los cambios en las condiciones geotécnicas de las rocas.

El impacto varía según las condiciones locales del sitio específico de la minería. Estos cambios causados por la minería pueden dar lugar a diversos efectos sobre la geo-naturaleza los que se describen a continuación.

4.1.1 Impactos en la Litosfera

Dependiendo del tipo de minería llevado a cabo, en el sitio de la minería existen varios tipos de impactos sobre la litosfera. Los resultados van desde la formación de crestas, depresiones, hoyos y hundimientos en la superficie, así como cavidades subterráneas que afectan a la estabilidad del terreno.

Además, tanto el área de la minería y la superficie utilizada para los botaderos, se degrada de la tierra que podrían ser utilizados, por ejemplo, en la agricultura

4.1.2 Impactos en la Hidrosfera

Los impactos en la hidrosfera derivados de la minería incluyen la disminución de la capa freática, la descarga de agua de las minas en los ríos, mares y lagos, las fugas de la solución de los tanques y evaporadores que tienen un efecto negativo en la calidad de las aguas subterráneas y el bombeo de agua en el terreno para la extracción de un mineral.

Reducir significativamente los niveles de aguas subterráneas puede provocar depresiones en la superficie enorme y drenada los ríos y lagos con graves repercusiones en torno a la agricultura. Además, dependiendo de la composición química de la roca, el drenado de agua generalmente se hace muy ácida con la consiguiente capacidad de solución teniendo en una variedad de tóxicos y metales pesados.

4.1.3 Impactos en la Atmósfera

Las emisiones a la atmósfera se producen en la minería no sólo de los motores de combustión interna de las máquinas en la minería, sino el polvo y los gases que son liberados también de las explosiones y las masas de rocas y minerales removidos. Una tonelada de explosivos produce alrededor de 40-50 m³ óxidos de nitrógeno y cantidades enormes de polvo.

4.2 SALUD

La minería es una de las industrias más peligrosas. Los impactos en la salud de las personas que laboran en minería se pueden dividir en dos categorías: impactos inmediatos como los accidentes, y los impactos acumulativos y progresivos como el estrés, la radiación y las enfermedades pulmonares. En términos de riesgos para la salud, cuatro tipos diferentes se pueden distinguir: físicos, químicos, biológicos y mentales:

4.2.1 Peligros Físicos

Los riesgos físicos incluyen el ruido, calor, vibraciones, caídas y explosiones, inundaciones y diversas formas de polvo, aerosoles y partículas finas, con los posibles efectos cancerígenos. Las radiaciones ionizantes se incluyen en la categoría de los peligros físicos.

4.2.2 Peligros Químicos

Los riesgos químicos derivados de los contaminantes químicos en el agua, desechos sólidos y el aire con sustancias más comunes de monóxido de carbono y dióxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y compuestos fluorados.

4.2.3 Peligros Biológicos

Los riesgos biológicos causados por organismos vivos tales como hongos, bacterias y parásitos son más comunes entre los trabajadores de las minas.

4.2.4 Peligros Mentales

Los riesgos mentales relacionados con la minería incluyen claustrofobia, ansiedad, tensión o irritabilidad que participan en la toma de conciencia de la peligrosidad del sitio de trabajo. Fatiga y otros trastornos vinculados al trabajo por turnos son otros los problemas potenciales entre los trabajadores de las minas.

CAPITULO V

CONSUMO DE COMBUSTIBLE

5.1 ESPECIFICACIONES DEL COMBUSTIBLE

El combustible tiene tres funciones principales en los motores de combustión interna:

1. Suministra toda la energía para el motor.
2. Enfría y lubrica las partes de precisión de la bomba de combustible del motor e inyectores.
3. Permite controlar las emisiones de los motores para satisfacer los niveles de las emisiones reguladas.

Los combustibles que reúnan especificaciones nacionales e internacionales pueden utilizarse siempre que respeten las especificaciones requeridas que figuran en la tabla N° 9: *Cummins Inc. Combustible Diesel specifications*. Los motores Cummins funcionaran satisfactoriamente trabajando con combustibles que reúnan de las propiedades que figuran en la tabla, sin embargo, los combustibles que tengan sólo las especificaciones requeridas no dará el mismo nivel de rendimiento, eficiencia, fiabilidad, ni gastos de mantenimiento como los combustibles Premium.

5.2 PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE

5.2.1 Viscosidad

La Baja viscosidad causa rápido desgaste de las bombas de combustible y los inyectores, y el aumento de fugas internas en las bombas de combustible e inyectores. La alta viscosidad causa difícil arranque, humo blanco cuando el motor está frío, grietas en la cabeza de los inyectores, desgaste del gobernador de las bombas rotativas de combustible puede provocar la pérdida de la regulación.

5.2.2 Número de Cetano

El diesel o aceites pesados utilizados como combustibles en los motores de encendido por compresión son una mezcla de hidrocarburos que poseen una temperatura de evaporación bastante elevada, entre los 200 y 300°C, esta característica los hace más seguros a la hora de manipularlos respecto a otros combustibles como la gasolina. Si bien la estabilidad del combustible es indispensable para el buen funcionamiento de la bomba de inyección, este hecho resulta un inconveniente a la hora de hacerlo arder, cuanto más estable es un combustible más elevada serán sus temperaturas de evaporación y de inflamación y más tardará en iniciar la combustión. Para mejorar el punto de inflamación se les añade en su composición parafinas como el hexadecano o el dodecano. El número de cetano para motores diesel en el mercado varía entre 40 y 70. Un número de cetano de menos de 42 pueden causar mal arranque, exceso de humo blanco y pobres ralentí. Un número de cetano

superior a 55 puede aumentar los gases de escape (humos) en condiciones de par máximo.

5.2.3 Contenido de Sulfuro

Alto contenido de azufre aumenta el desgaste en los inyectores, los anillos de pistón, y rodamientos. El uso de combustibles con contenido de azufre por encima de 5000 ppm requiere el uso de mayor número de base total (TBN), lubricantes (TBN superior a 10) e intervalos más cortos de drenaje de aceite.

5.2.4 Sulfuro Activo

La presencia de sulfuros activos incrementa en ataque corrosivo a la bomba de combustible, inyectores, y otros componentes del sistema de combustible

5.2.5 Agua y Sedimentos

Combustibles contaminados reducen la vida útil del filtro, la vida útil del sistema de combustible.

5.2.6 Residuos de Carbón

Alto residuos de carbono aumenta los depósitos de carbono la cámara de combustión, más humos de escape, hollín y una mayor contaminación del aceite lubricante.

5.2.7 Densidad

Los combustibles ligeros contienen menos energía térmica por galón y un resultado poco más bajo en la economía de combustible. Un combustible con una densidad de 0,876 g / cc contiene alrededor de 3,5 por ciento más energía por galón de combustible con una densidad de 0,815 g / cc.

5.2.8 Punto de Condensación

Operar por debajo del punto de condensación puede hacer que el combustible obstruya el filtro con los cristales de cera, restringir el flujo de combustible y causar la pérdida de potencia.

5.2.9 Hollín

El alto contenido de cenizas causa depósitos de material incombustible y metálico en la cámara de combustión y en las válvulas de escape.

5.2.10 Destilación

La característica de destilación de un determinado combustible da información importante acerca de la composición y el comportamiento del combustible durante el almacenamiento y el uso con la medición de la tasa de evaporación.

5.2.11 Lubricidad

Lubricidad es la capacidad de un líquido para proporcionar lubricación hidrodinámica y una película para evitar el desgaste entre piezas en

movimiento. El combustible con bajo azufre y viscosidad tiende a tener menor lubricidad.

Tabla N°5.1 : Especificaciones requeridas del combustible, Cummins Inc.

Table 1: Cummins Inc. Required Diesel Fuel Specifications	
Viscosity	1.3 to 4.1 centistokes at 40°C [104°F]
Cetane Number	42 minimum above 0°C [32°F]; 45 minimum below 0°C [32°F]
Sulfur Content	Not to exceed 5000 ppm. Other regional regulations may apply. In the US and Canada, 2007 and later on-highway (15 ppm maximum). Engines require the use of ULSD
Active Sulfur	Copper Strip Corrosion not to exceed Number 3 rating after 3 hours at 50° C [122°F]
Water Sediment	Not to exceed 0.05 volume-percent
Carbon Residue	Not to exceed 0.35 mass-percent on 10 volume-percent residuum
Density	0.816 to 0.876 grams per cubic centimeter (g/cc) at 15°C [59°F]
Cloud Point	6°C [10°F] below lowest ambient temperature at which the fuel is expected to operate
Ash	Not to exceed 0.02 mass-percent. For vehicles equipped with exhaust aftertreatment, there shall be no detectable ash in the fuel.
Distillation	10 volume-percent at 282°C [540°F] maximum, 90 volume-percent at 360° C [680°F] maximum, 100 volume-percent at distillation curve must be smooth and continuous.385°C [725°F] maximum. The
Lubricity (HFRR or SLBOCLE)	HFRR: Maximum of 0.46 mm [0.018 in] Wear Scar Diameter (WSD) at 60° C [140°F]. SLBOCLE: Minimum of 3100 grams.

Fuente: <https://quickserve.cummins.com/info/index.html>)

5.3 DISPOSITIVO DE AHORRO DE COMBUSTIBLE

Un dispositivo magnético acondicionado para combustibles de motores diesel incluye un elemento envolvente situado a lo largo de la línea de alimentación de combustible (para nuestro caso el dispositivo de ahorro de combustible esta instalado al ingreso del combustible a los filtros de combustible, ubicado antes de los filtros de combustible), el propósito principal de este dispositivo es proveer ahorro de combustible en los motores de combustión interna.

El método consiste en aplicar un campo magnético, mediante un imán permanente, para ionizar el combustible que alimenta a los dispositivos de combustión, con lo que podemos conseguir una combustión más completa, mejorando la eficiencia y reduciendo las emisiones contaminantes.

El combustible se trata con un campo magnético de unos imanes permanentes que instalaremos de forma que su polo Sur esté en contacto con el conducto del combustible.

La mayoría de motores de combustión interna utilizan combustibles líquidos, pero los combustibles líquidos *no son combustibles* (en estado líquido), es decir, solo se quema la parte vaporizada y mezclada con aire en el momento de la explosión. Normalmente las emisiones de gases procedentes del motor de los vehículos son Hidrocarburos no quemados (CH), Monóxido de Carbono (CO), y Óxidos de Nitrógeno (NOx). Principalmente los combustibles son hidrocarburos, estos hidrocarburos cuando pasan a través de

un campo magnético, cambian su orientación de magnetización a la dirección opuesta a la del campo magnético. Las moléculas de hidrocarburo cambian su configuración, al mismo tiempo que la fuerza intermolecular se reduce considerablemente. Esta modificación ayuda a dispersar las partículas del combustible, de forma que éste se vaporiza más fácilmente y por tanto se facilita su combustión.

El combustible líquido o gaseoso utilizado en motores de combustión interna está compuesto de grupos de moléculas. Cada molécula incluye un determinado número de átomos, cada uno compuesto de su núcleo y de sus electrones orbitando su alrededor. Cada molécula tiene un campo magnético por sí misma, causado por la rotación de los electrones. De esta forma, existe una carga eléctrica, positiva (+) y negativa (-) en las moléculas de combustible. Por esta razón, las partículas de combustible de las cargas eléctricas positivas y negativas no se dividen en partículas más pequeñas (los polos opuestos se atraen). Por lo que, el combustible no está activamente interrelacionado con el oxígeno durante la combustión, provocando una combustión incompleta. Para mejorar esto, tenemos que descomponer o ionizar el combustible. Esta ionización la podemos conseguir con la aplicación de un campo magnético procedente de un imán permanente o de un electroimán, la ventaja que presentan los imanes permanentes sobre los electroimanes es que, los primeros, no consumen electricidad.

El combustible magnetizado produce una combustión más completa, proporcionando, mayor rendimiento del motor, ahorro de combustible, más potencia y reducción de Hidrocarburos, Monóxido de Carbono y Óxido de Nitrógeno en los gases de escape. Además, el combustible cargado magnéticamente disuelve el carbón del carburador, inyectores de gasolina, y cámaras de combustión, ayudando a limpiar el motor y a mantenerlo limpio.

La pérdida de combustión y la eficiencia están influenciadas por la combustión incompleta debido a una limitada relación aire combustible. La mala combustión resulta en un alto contenido de monóxido de carbono en los gases de escape, por lo tanto la combustión incompleta además de disminuir la eficiencia del motor y presentar alto consumo de combustible impacta al medio ambiente.

El dispositivo para el ahorro de combustible le da al combustible características especiales como una mayor velocidad de llama durante la combustión y mayor turbulencia de la mezcla para un llenado total de la cámara de combustión. Esto significa mejorar las características del combustible en la mezcla aire combustible durante la vaporización de la mezcla proveyendo una mejor distribución del combustible en la cámara de combustión, de modo que la velocidad de combustión se incrementa ahorrando combustible y reduciendo la cantidad de monóxido de carbono en los gases de escape.

Los imanes utilizados deben tener una temperatura de Curie suficientemente alta como para poder mantener sus características magnéticas en las temperaturas de trabajo a que se van a exponer, ya que los imanes pierden parte de su fuerza cuando se someten a elevadas temperaturas. Los imanes Alnico pueden tener temperaturas de Curie de 760°C a 890°C, los cerámicos (o de ferrita) de 450°C, los Neodimio de 310°C a 360°C y los Samario de 720°C a 825°C. Por lo tanto, la temperatura de Curie no es un factor que deba preocuparnos, ya que, el motor de un vehículo, difícilmente, va a llegar a estas temperaturas en condiciones de seguir funcionando

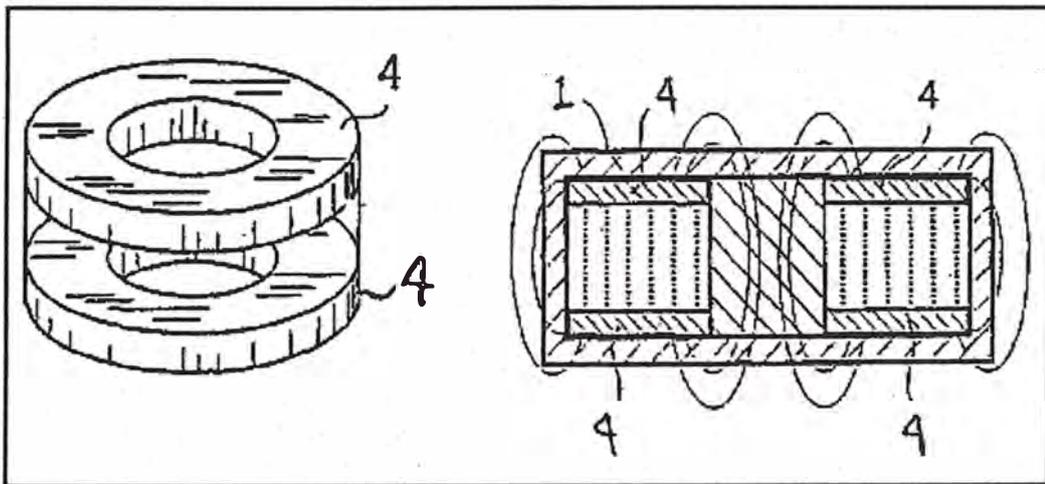


Figura N° 5.1: Perspectivas del campo magnético en el ahorrador de Combustible

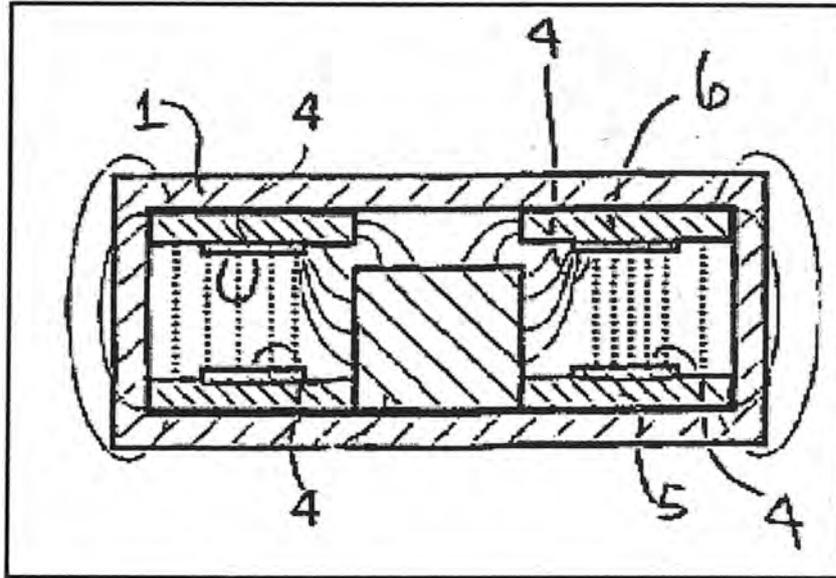


Figura N° 5.2: Perspectivas del sistema multi-direccional del combustible

Especificaciones técnicas del dispositivo de combustible:

Capacidad	:	> 144 Gal/hora-2800 HP
Carcasa	:	Fabricada en Acero de una Longitud 260mm.
Diámetros de	:	45mm. en el cuerpo y en los extremos 60 mm.
Peso	:	1900 Gr.
Interior	:	Amalgamas de Estaño-Núcleo de Ferrita.
Vida útil	:	10,000 Horas

Para facilitar la instalación del dispositivo de combustible en el motor cuenta con tapas con rosca interior para niples de ½" BSP (NPT compatible), es factible acoplarle niples de mayores diámetros de acuerdo a la unidad donde se instala. Es Factible el uso para combustibles como; Diesel, petróleos industriales (Bunker, R-500, MOF) y gasolinas.

5.4 PRACTICAS PARA EL AHORRO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN MAQUINAS MINERAS

5.4.1 Principios del Trabajo de Mantenimiento para el Ahorro de Combustible

Siempre mantenga su máquina en buenas condiciones a través de las inspecciones recomendadas y mantenimientos para asegurar que su máquina pueda funcionar eficientemente con buen consumo de combustible.

Los combustibles, aceites y refrigerante usados para equipos de construcción y minería se pueden comparar con la sangre, sudor y lágrimas para humanos. Las máquinas, no pueden trabajar sin alguna de ellas, y puede causar serios problemas si se usa alguno equivocado.

Manipulación de Combustible

- No use combustible que contenga agua.
- No permita la entrada de tierra y polvo en el combustible.
- Asegúrese de usar el combustible apropiado.
- Llene el tanque de combustible después del día de trabajo.
- Drene el agua del tanque de combustible antes de encender el motor.

Manipulación de Aceites

- Asegúrese de reemplazar los aceites en el intervalo especificado.
- No permita la entrada de tierra y polvo en el aceite.
- No mezcle aceites de diferentes grados y marcas.

- Asegúrese de llenar la cantidad especificada de aceite.

Manipulación de Agua

- No use agua no bebible como refrigerante.
- Cuando use anticongelante, siga las instrucciones de uso.
- Asegúrese de llenar la cantidad de agua especificada.

Manipulación de Filtros

- Reemplace los filtros periódicamente (en lugares de trabajo con condiciones de trabajo rigurosos, reemplazarlas en un intervalo menor).
- Nunca reúse filtros (tipo cartucho) incluso estando limpios.

5.4.2 Principios de Trabajo del Motor Diesel para el Ahorro de Combustible

5.4.2.1 Filtro de aire

Limpiar o reemplazar el elemento exterior para prevenir la obstrucción del elemento de filtro cuando el indicador de polvo cambia a rojo. Si el filtro de aire está obstruido e ingresa un volumen menor de aire, el color de los gases de escape se vuelven más oscuros, la potencia del motor disminuye, y el consumo de combustible aumenta (en aproximadamente 3%).

5.4.2.2 Sincronización de la inyección del combustible

Una buena combustión del combustible no se lleva a cabo a menos que el combustible sea suministrado en el momento correcto sincronizado con la

velocidad de motor. Cuando baja la potencia del motor o los gases de escape se tornan más oscuros, acompañado por un mayor consumo de combustible, verifique si la sincronización del tiempo de inyección es la correcta.

5.4.2.3 Holgura de Válvulas

Un motor está equipado con válvulas que se mueven cada vez que la cámara de combustión está cerrada, el aire ingresa o los gases de combustión son enviados hacia fuera. Estas válvulas son activadas por un mecanismo complejo. La holgura sirve para conseguir un perfecto ajuste entre los elementos de la distribución cuando el motor está caliente. El sistema de accionamiento de la distribución tiene que compensar las dilataciones que sufren sus elementos cuando aumenta la temperatura de funcionamiento. El sistema de distribución se encuentra alojado en una de las zonas más calientes del motor y las dilataciones en parte de sus componentes son considerables. La holgura compensa las dilataciones de las piezas, de forma que desaparece completamente cuando el motor está caliente. Verifique la holgura de las válvulas cada 1500 horas.

- Si la holgura de válvulas es muy pequeña: La cámara de combustión no cierra correctamente, y el combustible no se puede quemar, Se producen fugas de compresión y el rendimiento del motor desciende. El principal problema ocurre por la falta de refrigeración de la válvula que no transmite a través de su asiento el calor que recoge de la combustión y de los gases quemados. La válvula se calienta tanto que

se funde su material y cae caliente sobre el pistón de aluminio perforándolo. Esta situación se detecta por la pérdida de prestaciones del motor. (*Potencia del motor reducida drásticamente*)

- Si la holgura de válvulas es muy grande: Una holgura excesiva origina ruido de golpeteo en la zona de la culata del motor. El ruido proviene del sistema de accionamiento de las válvulas que en vez de abrirlas suavemente, las golpea. La holgura excesiva anula el perfil suave de la leva y la válvula comienza a abrirse con el perfil de apertura rápida, lo que origina el golpe. Cuando el motor se calienta, la holgura no desaparece del todo y se pierde un poco de alzada de la válvula, además de reducir su tiempo de apertura. La holgura excesiva se detecta por el ruido de golpeteo que se produce en la culata. No ingresa suficiente aire, y el combustible no es quemado completamente. (Escape oscuro y baja potencia de motor).

5.4.2.4 Calibración de Válvulas e Inyectores

Las válvulas y los inyectores deben estar correctamente ajustados para que el motor opere eficazmente y el consumo de combustible sea óptimo. El ajuste de válvulas e inyectores debe efectuarse usando los valores listados en esta sección. En la tabla adjunta encontrará los límites de ajuste para motores K2000.

Tabla N°5.2: Valores de ajuste para calibración de válvulas

<i>Ajuste de Juego de la Válvula</i>			
		<i>mm</i>	<i>in</i>
Válvula de Admisión	de	0.36	MÍN. 0.014
Válvula de Escape		0.69	MÍN. 0.027

Ajuste las válvulas y los inyectores en cada intervalo de mantenimiento de 1,500 horas. Si las válvulas y los inyectores han sido ajustados durante el diagnóstico de fallas o antes de l intervalo de mantenimiento programado de 1,500 horas, no se requiere ajuste en este momento. Todos los ajustes de válvulas e inyectores de ben hacerse cuando el motor está frío, con una temperatura del refrigerante estabilizada en 60 °C [140 °F] o menos.

Cada cilindro tiene tres balancines:

- El balancín largo (E) es el balancín de escape.
- El balancín central es el balancín de l inyector.
- El balancín corto (I) es el balancín de admisión.

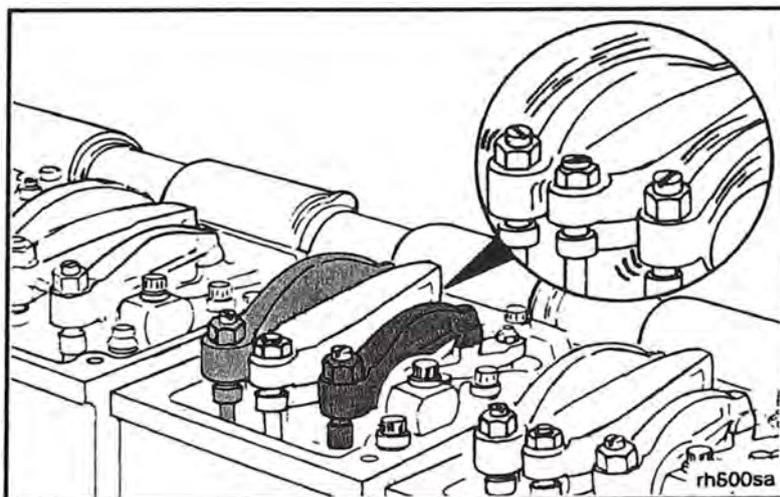


Figura N° 5.3: Balancines de los cilindros del motor K2000

La rotación del cigüeñal es en el sentido de las manecillas del reloj cuando se ve desde el frente del motor. Los cilindros están numerados a partir del extremo de la cubierta de engranajes frontal del motor y el orden de encendido es:

1R-1L-3R-3L-2R-2L-5R-4L-8R-8L-6R-6L-7R-7L-4R-5L

Se requieren dos rotaciones completas del motor para ajustar las válvulas e inyectores en los motores K2000. El ajuste de válvula está representado por "VS". Ignore las marcas "TC" (centro superior) mientras ajusta las válvulas e inyectores. Las crucetas y válvulas están listas para ajustarse en el cilindro que tiene todas las válvulas cerradas. Revise los dos cilindros mostrados en la marca "VS".

Todos los tornillos de ajuste deben estar flojos en todos los cilindros, y la varilla de empuje debe permanecer en alineación. Efectúe este paso en ambos cilindros a ser revisados. Sostenga ambos balancines contra las crucetas. Gire los tornillos de ajuste hasta que toquen las varillas de empuje. Gire las contratuercas hasta que toquen los balancines.

Tabla N°5.3: Tabla para calibración de válvulas e inyectores motores K2000

Tabla de Ajuste de Válvula e Inyector del K2000 (Círculo Base Externo) Orden de Encendido Revisado con STC o Sincronización Variable Hidráulica			
	Válvulas Cerradas	Ajustar Válvulas	Ajustar Inyectores
Marcas de Ajuste de Válvula "VS" (L - Banco Izquierdo) (R - Banco Derecho)	En Cilindro Número (L - Banco Izquierdo) (R - Banco Derecho)	En Cilindro Número (L - Banco Izquierdo) (R - Banco Derecho)	En Cilindro Número (L - Banco Izquierdo) (R - Banco Derecho)
1R-8R VS	1R	1R	6R
1L-8L VS	1L	1L	6L
3R-6R VS	3R	3R	7R
3L-6L VS	3L	3L	7L
2R-7R VS	2R	2R	4R
2L-7L VS	2L	2L	5L
4R-5R VS	5R	5R	1R
4L-5L VS	4L	4L	1L
1R-8R VS	8R	8R	3R
1L-8L VS	8L	8L	3L
3R-6R VS	6R	6R	2R
3L-6L VS	6L	6L	2L
2R-7R VS	7R	7R	5R
2L-7L VS	7L	7L	4L
4R-5R VS	4R	4R	8R
4L-5L VS	5L	5L	8L

El cilindro con los tornillos de ajuste que estén cerca de la misma altura (el tornillo de admisión puede estar hasta dos hilos arriba del de escape) está listo para ajuste de válvula. El segundo cilindro que no está listo para ajuste tendrá

el tornillo de ajuste para las válvulas de escape con más de cinco hilos por arriba del tornillo de admisión.

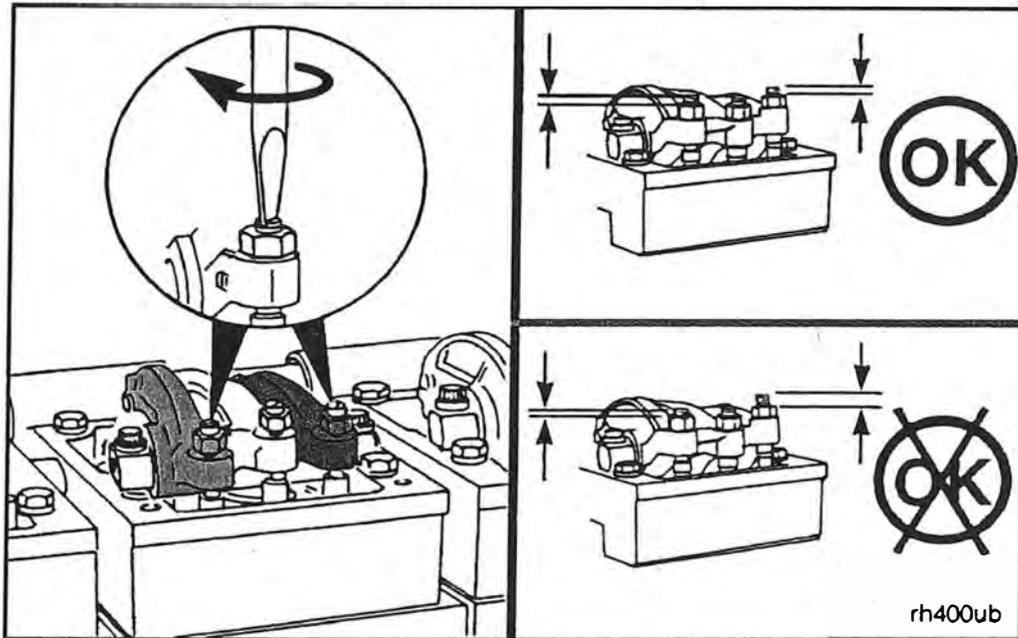


Figura N° 5.4: Esquema de calibración de válvulas e inyectores

Se describen dos métodos diferentes para establecer la tolerancia del juego de la válvula. Se puede usar cualquiera de los dos métodos; sin embargo, el método del torquímetro ha probado ser el más consistente.

Método del Torquímetro: Use un torquímetro de libras-pulgada, Número de Parte 3376592, y apriete el tornillo de ajuste. Use un torquímetro del tipo dial para apretar el tornillo de ajuste del balancín del inyector. El torquímetro debe estar calibrado, y tener una resolución de 0.28 Nm [2.5 lb-pulg.], y tener un rango de 17 a 23 Nm [150 a 200 lb-pulg.]. No use un torquímetro tipo clic.

Método por Laina de Calibrar: Use un desarmador y gire el tornillo de ajuste sólo hasta que el balancín toque la laina de calibrar. La laina de calibrar debe deslizarse hacia atrás y hacia delante con sólo una pequeña cantidad de resistencia. Intente insertar una laina de calibrar que sea 0.03 mm [0.001 pulg.] más gruesa. El juego de la válvula no es correcto cuando la laina de calibrar más gruesa encaja. Repita el proceso de ajuste hasta que la tolerancia sea correcta en ambas válvulas, de admisión y de escape, en el cilindro que se ajusta.

5.4.2.5 Tobera de Inyección

Una tobera de inyección es un dispositivo que atomiza el combustible e inyecta el combustible atomizado en un cilindro a alta temperatura, y presión. Si el combustible no es bien atomizado, no se puede lograr una buena combustión, lo que causará baja potencia de motor, gases de escape más oscuros, y aumento del consumo de combustible.

La causa principal de una pobre atomización es la contaminación debido a agua y polvo en el combustible. Por lo tanto para prevenir falla en el motor, no permitir que ingrese agua ni polvo durante el llenado, y drene el agua del tanque de combustible regularmente.

5.4.3 Inspección de Neumáticos

Hay dos tipos de neumáticos; neumáticos diagonales y neumáticos radiales. Los neumáticos radiales tienen menos resistencia a la rodadura y generan

entre un 5% a 15% menos consumo de combustible que los neumáticos diagonales.

Un neumático soporta la carga con su presión interna. Por lo tanto, si la presión interna de aire es mayor o menor de lo especificado, no puede demostrar adecuadamente su rendimiento, o tiene una vida más corta. En particular, cuando la presión de aire es menor, los aros de los neumáticos pueden incurrir en fricción que puede causar un problema.

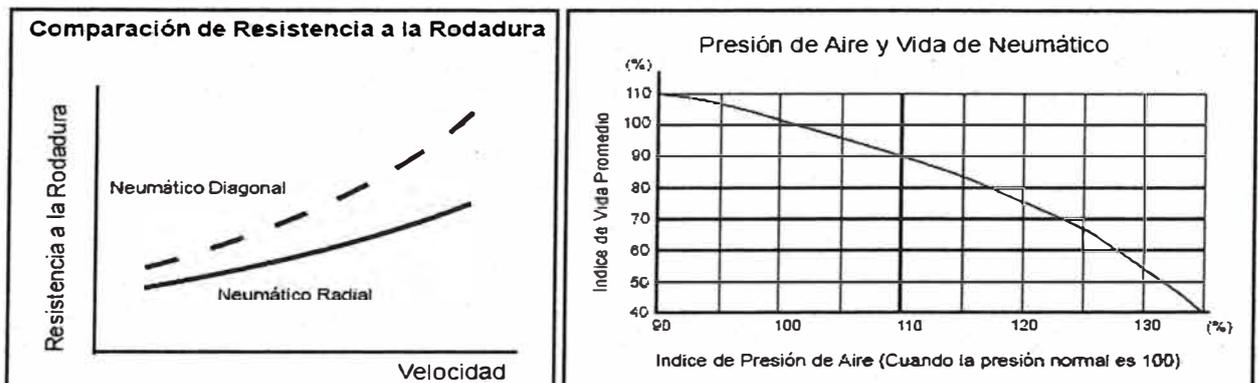


Figura N° 5.5: Resistencia a la rodadura e índice de vida del neumático

Llanta Diagonal o Convencional: El neumático es llamado diagonal o convencional cuando la carcasa está compuesta por lonas superpuestas y cruzadas unas en relación a las otras. Dichas lonas están compuestas por fibras textiles. En este tipo de construcción, los costados son solidarios a la banda de rodamiento. Cuando el neumático está en movimiento, cada flexión de los costados es transmitida a la banda de rodamiento, deformando la elipse de contacto al terreno. Sus principales características son:

- Mayor desgaste - Menor kilometraje;

- Mayor consumo de combustible;
- Mayor generación de calor - Mayor frotación contra el terreno, fricción entre lonas y poca disipación del calor por parte del material textil;
- Menor adherencia - Menor área de contacto neumático/terreno, deformaciones en la banda de rodamiento;
- Menor estabilidad - Pérdida de la trayectoria causada por las deformaciones en la banda de rodamiento;
- Mayor posibilidad de cortes/perforaciones Carcasa rígida y de material textil.

Llanta Radial: En el neumático radial, los cables de la carcasa están dispuestos en arcos perpendiculares al plano de rodamiento y orientados en dirección al centro del neumático. La estabilización al terreno es obtenida a través de 3 o 4 lonas de acero superpuestas. Por ser una carcasa única, no existe fricción entre lonas - sólo flexión - lo que evita el aumento de la temperatura interna del neumático. Sus principales características son:

- Menor desgaste - Aumento del kilometraje;
- Mayor ahorro en el consumo de combustible;
- Reducción del calentamiento - No existe fricción entre las lonas de la carcasa, disminuye el frotamiento con el suelo y el acero es un excelente transmisor de calor;
- Mayor adherencia - El área de contacto neumático/terreno es mayor y constante;

- Mayor estabilidad - Con la reducción de las deformaciones de la banda de rodadura, el neumático sigue una trayectoria definida;
- Menor posibilidad de cortes/perforaciones - Carcasa más flexible y con "alma de acero".

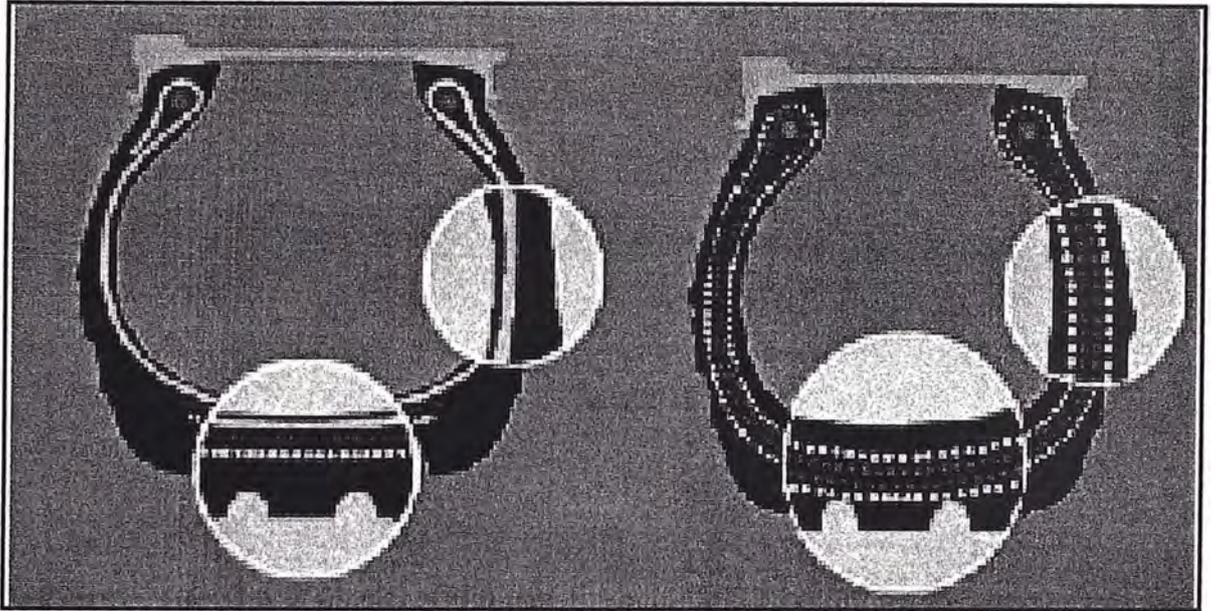
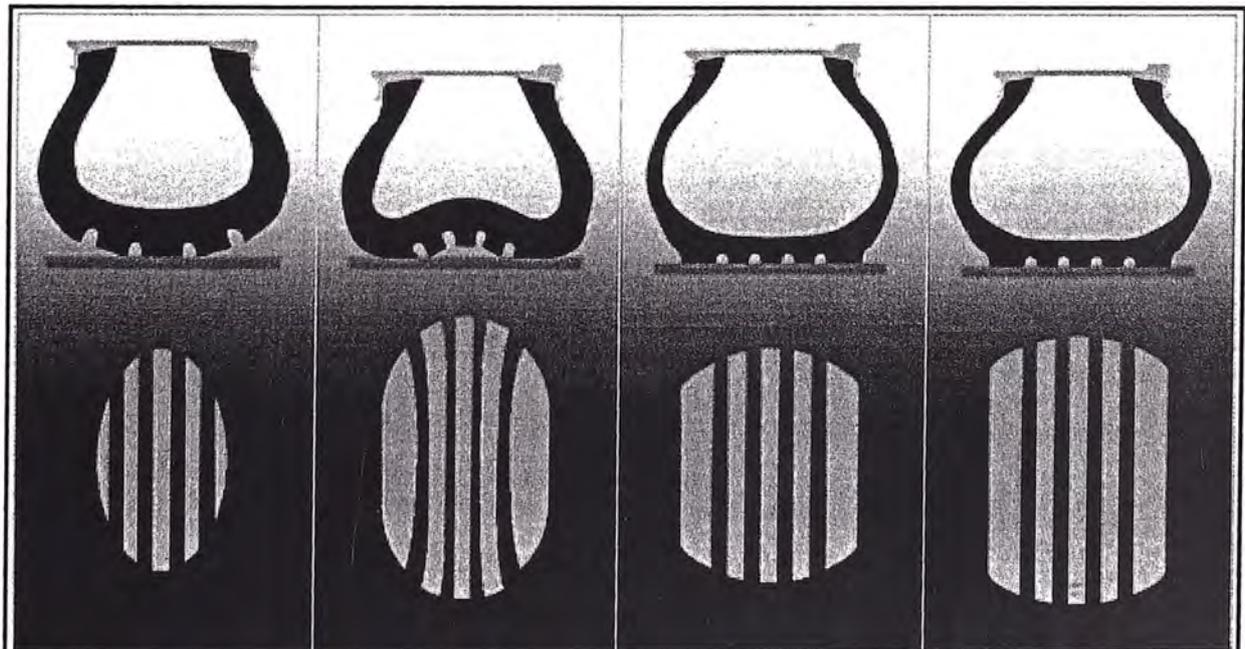


Figura N° 5.6: Corte de llantas convencionales y radiales



Perfil de llanta Convencional

Perfil de llanta Radial

Figura N° 5.7: Perfil de operación de llantas convencionales y radiales

5.5 INFLUENCIAS DEL DISEÑO

5.5.1 Fuerza de resistencia total (FR)

Las fuerzas que se oponen al movimiento son el aire, la inercia, resistencia a la rodadura y el grado de resistencia. La resistencia del aire no esta considerada como una fuerza significativa para disminuir el movimiento del vehículo usualmente calculada con sistemas computarizados, para este caso solo se analizara dos puntos significativos que influyen directamente en el consumo de combustible, la fuerza de resistencia total estará definida por:

$$\text{Fuerza de Resistencia Total} = \text{Resistencia a la rodadura (RR)} + \text{Grado de resistencia (GR)} * \text{Peso Bruto}$$

5.5.1.1 *Resistencia a la rodadura (RR)*

La resistencia a la rodadura es la fuerza de fricción que ocurre entre los neumáticos del camión y la superficie de la ruta. Esta fuerza de fricción es directamente tangente a los neumáticos del camión. La resistencia a la rodadura se expresa en un porcentaje de la componente del peso del camión que es normal (perpendicular) a la ruta.

La componente normal del peso del camión cambia de acuerdo a las variaciones de pendiente de la ruta y de las variaciones de la carga del camión. Además, la resistencia a la rodadura cambia respecto a las condiciones de la superficie de la ruta. En ocasiones, hay situaciones donde son más sensibles a este factor que otros. A menudo esto afecta a los tramos

de rutas subiendo en pendiente; en cambio, los tramos en bajada raramente son limitados por la resistencia a la rodadura. La resistencia a la rodadura es el resultado de la combinación de dos efectos, de fricción interna y de penetración.

La resistencia de fricción interna se atribuye a las resistencias de los componentes mecánicos internos y a la deflexión de las caras laterales de los neumáticos; el fabricante calcula generalmente la fuerza de fricción como 20 kg. Por tonelada métrica. Con ayuda de la definición anterior calcularemos la fricción interna para el camión Komatsu 730E.

Peso del camión: 324,322 Ton.

$$Fricción\ Interna = 20 \frac{kg}{Tn} \times 324.322 Tn$$

$$Fricción\ Interna = 6486.44 Kg$$

$$Fricción\ Interna = 2\% \text{ (Del peso del vehículo)}$$

La resistencia de penetración es producida por el peso del vehículo debido a la deformación del terreno.

Cuando el neumático penetra en un terreno firme es similar a una trayectoria continua de pendiente positiva, el neumático debe salir del agujero o debe aplastar continuamente el terreno para poder rodar.

El peso del vehículo influye directamente en la penetración del neumático en el terreno ofreciendo una resistencia a la rodadura del neumático. Para efectos del presente estudio el valor de la resistencia a la penetración se considera 0% debido a las condiciones del terreno duro y mantenimiento periódico; entonces:

$$RR = \text{Fricción Interna} + \text{Resistencia Penetración}$$

$$RR = 2\% + 0\%$$

$$RR = 2\%$$

Tabla N° 5.4: Valores de resistencia a la rodadura

VALORES TIPICOS DE RESISTENCIA DE RODADURA			
Numero	Condiciones del Terreno	Porcentaje	Kg/Ton. Métrico
1	Duro, firme liso, superficie estabilizada sin penetración bajo carga, humedecida con mantenimiento frecuente.	2%	20
2	Firme liso con lodos en ciertas zonas de la carretera, flexiones ligeras en le terreno, con ligeras cargas, mantenimiento regular.	3%	32.5
3	Carretera con lodo, baches, flexible bajo cargas, poco mantenimiento, no humedecida, de 25 a 30 mm de penetración.	5%	50
4	Carretera con lodos blandos en los viajes, ningún mantenimiento, ninguna estabilización, de 100 mm a 150 mm de penetración.	7.50%	75
5	Arena suelta o grava.	10%	100
6	blando fangoso, carretera con huecos, ningún mantenimiento	10 - 20%	100 - 200

5.5.1.2 *Grado de resistencia (GR)*

El grado de resistencia es la fuerza de gravedad que deberá vencer para mover el vehículo sobre un grado adverso. El **GR** es una fuerza presente únicamente sobre grados adversos, para el propósito de cálculo del grado de resistencia es la relación entre la distancia vertical y la distancia horizontal donde ocurre la cuesta, esto es generalmente expresado en porcentaje. Matemáticamente el GR será:

$$FuerzaGR = WxSen\beta$$

Donde:

W: Peso total del vehículo

β : Angulo de la pendiente

Se puede apreciar que el grado de resistencia depende únicamente del ángulo de la pendiente, para determinar la pendiente en nuestra ruta de análisis, se tomará el valor promedio de pendientes considerando la ruta tomada. Para la ruta del análisis tenemos una pendiente positiva promedio de 3,459% (ver valores en Anexo número 4).

Sabemos que la resistencia total cuando el camión esta subiendo una pendiente se obtiene de la suma de la resistencia a la rodadura (RR) y el grado de resistencia.

5.6 HISTORIAL DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Uno de los principales elementos a considerar en la operación de los camiones mineros es el consumo de combustible debido a que estas unidades presentan un consumo bastante elevado. El problema fundamentalmente consiste en el alto consumo de diesel en las unidades de acarreo, para verificar este consumo se presenta el cuadro resumen donde se muestra el consumo que tuvieron los camiones el los últimos tres años de operación. De la tabla N° 5.5 es fácil apreciar la enorme importancia de determinar el consumo de combustible para cada una de las unidades y de optimizar su uso o mejor aun minimizar su consumo usando técnicas que mejoren el rendimiento del combustible.

Tabla N° 5.5: Consumo de combustible acumulado para la flota de camiones 730E

Consumo de combustible flota Komatsu 730E de Enero 2006 a Diciembre 2009 (Gal)						
Flota		Años				Total Dec-09
		2006	2007	2008	2009	
730E	N°1	136604.64	133763.03	178520.64	182352.68	631240.99
730E	N°2	123359.75	139487.38	160907.44	172240.75	595995.33
730E	N°3	63698.28	133521.49	158133.94	167717.91	523071.61
730E	N°4	123889.62	4915.05*	162404.86	167019.41	458228.94
730E	N°5	135989.71	131596.70	162672.33	165100.92	595359.66
730E	N°6	133448.69	135465.43	79994.38**	171028.21	519936.71
730E	N°7	138476.72	134234.95	155266.51	170399.18	598377.36
730E	N°8	116630.34	121937.96	168446.81	176514.81	583529.92
730E	N°9	89652.07	143227.13	158854.29	172775.21	564508.70
730E	N°10	137194.91	144550.74	163669.83	190311.71	635727.18
Total		1198944.7	1222699.9	1548871.0	1735460.8	5705976.4

* El equipo estuvo fuera de servicio desde enero 2007 hasta noviembre del 2007.

**El equipo estuvo fuera de servicio por tres meses.

Todos los datos se obtuvieron en condiciones reales de operación, se utilizó reportes de la empresa encargada de proveer el servicio de abastecimiento de combustible a las unidades de acarreo, también se usó el sistema Dispatch que permite monitorear el equipo segundo a segundo donde es factible registrar los parámetros de operación de los equipos, tiempo de operación, ciclos de carga, tiempos muertos, tiempos de carguío, cargas netas por ciclo de acarreo, etc.

5.7 CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN CAMIÓN 730E N°3

Para determinar el consumo de combustible en esta unidad se analizó una ruta específica de la operación minera, este análisis se realizó para dos ciclos completos de acarreo, el ciclo que se consideró para este análisis se muestra en la tabla N° 5.6.

Las distancias recorridas fueron proporcionadas por el área de planeamiento mina, la información también es registrada en el sistema Dispatch y en sistema Minecare; para cada tramo se registró datos de tiempos de recorrido, consumo de combustible, distancia de recorrido, velocidad de los motores de tracción y pendiente de la vía.

La pendiente de la vía es de mucha importancia puesto que influye en gran medida en el consumo energético de los camiones mineros.

Tabla N° 5.6: ciclo de acarreo para el estudio del consumo de combustible.

Ubicación
F3-4120-007 Total
N106 Total
N151 Total
N12 Total
N45 Total
N71 Total
OREBIN Total
N36 Total
N12 Total
N151 Total
N106 Total
F3-4120-007 Total
Grand Total

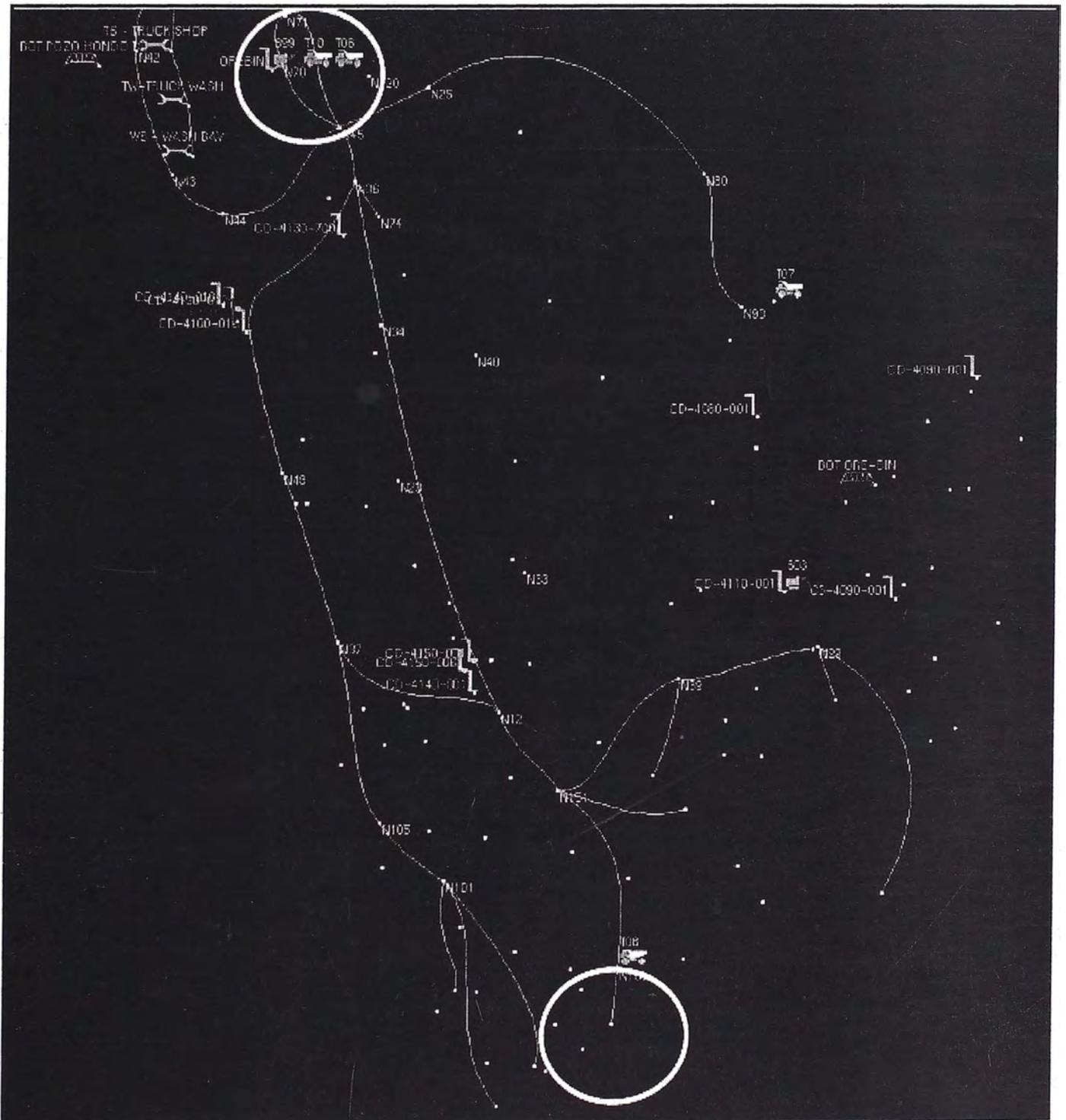


Figura N° 5.8: Detalle del ciclo de acarreo para el análisis del consumo de combustible

Fuente: Planeamiento Mina – Sistema Dispatch.

Tabla N° 5.7: consumo de combustible en camión 730E N° 3

Camión 730E N°3 8C5103			
Carga Neta : 179.8 Ton			
Locación	consumo de combustible (Gal)	distancia recorrida (m)	Minutos transcurridos
F3-4120-007			
Total	0.435324099	363.599	0.8570
N106 Total	0.385122758	187.475	0.4994
N151 Total	0.493378114	268.626	0.5003
N12 Total	0.134652246	698.903	1.5006
N45 Total	0.030479565	26.105	0.5002
N71 Total	0.026514461	0.000	0.5000
OREBIN Total	1.121698854	328.536	1.4923
N36 Total	1.456070962	796.070	1.9999
N12 Total	0.036986832	232.053	0.5054
N151 Total	0.099642326	84.095	0.5179
N106 Total	0.148391111	35.352	0.9767
F3-4120-007			
Total	0.036217255	0.799	0.6343
Total	4.404478583	3021.614	10.4838

Tabla N° 5.8: consumo de combustible en camión 730E N° 3

Camión 730E N°3 8C5103			
Carga Neta : 182.6 Ton			
Locación	consumo de combustible (Gal)	distancia recorrida (m)	minutos transcurridos
F3-4120-007			
Total	0.182207999	145.413	0.390833
N106 Total	0.398713363	262.9547	0.475
N151 Total	0.403630212	187.2744	0.5168
N12 Total	0.435808519	821.7923	1.484733
N45 Total	0.036181158	120.4305	0.515433
N71 Total	0.026507511	2.807855	0.497483
OREBIN Total	0.843397898	290.3386	1.510567
N36 Total	1.7241616	715.7341	2.005883
N12 Total	0.037474983	257.1344	0.494783
N151 Total	0.036704653	107.2957	0.500167
N106 Total	0.19228381	63.30162	1.000167
F3-4120-007			
Total	0.080225505	4.37439	1.273917
Total	4.39729721	2978.852	10.66577

En las tablas N° 5.7 y N° 5.8, se presenta el resumen de los consumos obtenidos para el camión que tiene instalado el dispositivo de ahorro de combustible en dos ciclos de acarreo. Cabe resaltar que se obtuvieron los datos en tiempo real monitoreando el equipo segundo a segundo para que la información nos muestre valores con alto grado de confiabilidad.

5.8 CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN CAMIÓN 730E N°6

Para determinar el consumo de combustible se debe considerar la misma ruta de trabajo bajo condiciones similares de operación, por tal motivo el ciclo de trabajo para este equipo (camión Komatsu 730E N°6) será el mismo ciclo considerado para

el camión Komatsu 730E N°3. Debemos recordar que este camión no cuenta con el dispositivo de ahorro de combustible, por esta razón las condiciones de trabajo deben ser lo mas cercano posible a los parámetros de operación del camión 730E N° 3.

Tabla N° 5.9: Ciclo de acarreo para el estudio del consumo de combustible.

Location
F3-4120-007
Total
N106 Total
N151 Total
N12 Total
N36 Total
N45 Total
N71 Total
OREBIN Total
N45 Total
N36 Total
N12 Total
N151 Total
N106 Total
F3-4120-007
Total

Tabla N° 5.10: Consumo de combustible en camión 730E N° 6

Camión 730E N°6 8C5106			
Carga Neta : 182.9 Ton			
Location	Consumo de combustible (Gal)	Distancia recorrida (m)	Minutos transcurridos
F3-4120-007			
Total	0.154619508	160.9812	0.4916
N106 Total	0.507521070	266.4375	0.5940
N151 Total	0.474754319	188.8192	0.5193
N12 Total	0.330573606	711.1547	1.3566
N36 Total	0.061502556	173.7900	0.4242
N45 Total	0.010473014	28.2972	0.0916
N71 Total	0.003062426	4.0421	0.0695
OREBIN Total	0.441451910	165.8841	1.8491
N45 Total	0.536435963	130.6527	0.3517
N36 Total	1.654595635	715.6552	2.0755
N12 Total	0.043688518	259.3694	0.5504
N151 Total	0.048898136	114.4232	0.2502
N106 Total	0.193792723	88.9101	1.2501
F3-4120-007			
Total	0.052351940	4.5845	0.6253
Grand Total	4.513721324	3013.0010	10.4993

Tabla N° 5.11: consumo de combustible en camión 730E N° 6

Camión 730E N°6 8C5106			
Carga Neta : 188.4 Ton			
Location	Consumo de combustible (Gal)	Distancia recorrida (m)	Minutos transcurridos
F3-4120-007			
Total	0.193443663	162.5864	0.4293
N106 Total	0.307242839	203.2180	0.4250
N151 Total	0.497522929	188.3753	0.4294
N12 Total	0.425619359	709.4908	1.4926
N36 Total	0.030520591	175.8903	0.3788
N45 Total	0.022586792	52.2013	0.1749
N71 Total	0.005227122	10.0766	0.0749
OREBIN Total	0.396414552	148.2162	1.8376
N45 Total	0.527549826	145.8947	0.3676
N36 Total	1.806073097	714.9703	2.1127
N12 Total	0.042296928	247.4797	0.5485
N151 Total	0.037773355	109.5154	0.2709
N106 Total	0.053440701	63.5783	0.3885
F3-4120-007			
Total	0.175857551	19.7229	1.2822
Grand Total	4.521569303	2951.2162	10.2128

CAPITULO VI

CALCULO DE REDUCCION DE COSTOS

Se debe tener en cuenta que el transporte del mineral por medio de los camiones mineros son los que mayor demanda energética tienen en la operación minera y en consecuencia son los que mayor gasto en combustible generan, de este modo el número de ciclos de trabajo determinara el gasto del combustible, por lo expuesto líneas arriba; una manera de tener un vehículo eficiente en el uso del combustible es proporcionándole un buen mantenimiento preventivo que puede significar el uso eficiente del gasto energético.

Por otro lado aplicando tecnologías alternativas se puede reducir el consumo del combustible en el camión minero, es así que con el uso del dispositivo ferro magnético se puede apreciar la reducción del consumo bajo el concepto que se mejora la combustión mejorando la mezcla aire combustible, generando reducción de costos para la operación minera e incrementando la vida útil del motor diesel. Para apreciar cual es el efecto en la reducción de costos se muestra a continuación los gastos asociados al mantenimiento y operación del camión minero.

6.1 COSTO PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS CAMIONES MINEROS 730E

Los costos asociados al mantenimiento y operación de los camiones mineros, esta directamente relacionada con los egresos asociados a los insumos del mantenimiento preventivo, al cambio de componentes mayores, al uso del combustible, costo de neumáticos, costo de operación y costos de la labor (personal operativo y de soporte) propiamente dicha del mantenimiento, a continuación se presentan los cuadros donde se muestran los valores necesarios para determinar el valor horario en la operación minera.

Debo resaltar que todos los costos asociados se calcularan en base a 30000 horas de operación que es el tiempo de diseño del fabricante.

6.1.1 Costo de Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo está asociado a intervenciones periódicas para salvaguardar la operatividad de los equipos mineros, para analizar el mantenimiento preventivo se considerará:

La parte específica del mantenimiento preventivo.

El intervalo de hora.

El número de cambios que se realizaron, tomando como referencia 30000 horas de operación.

El costo calculado será para un camión, es decir si se desea conocer el costo para la flota solo bastará con multiplicar el costo calculado por el número de unidades de la flota de camiones.

Con todas las consideraciones se muestran a continuación las tablas para obtener el valor horario por mantenimiento preventivo asociado a los insumos, componentes, neumáticos, costos asociados a la operación y mano de obra de los mantenedores.

Tabla N° 6.1: Materiales e insumos para el mantenimiento preventivo de los camiones 730E (Cálculo para 30000 horas de operación)

Componente	Nro. de Parte	N° Oracle	Intervalo en Horas	Nro. de Cambios	Unid	Costo S/Unidad	Volumen Galones	Costo S/Gal
Motor								
Aceite de Motor 15W40		05DP0400065	250	120			59	7.04
Filtro Aceite de Motor	LF3325	02CK100515	250	120	5	13.7		
Filtro Aceite de Motor By-Pass	LF777	02CK100516	250	120	2	13.67		
Filtro de combustible	FS1006	02AK100335	250	120	2	35.38		
Filtro de Agua	WF2076	02CK100517	500	60	2	18.77		
Cabina del Operador								
Filtro Aire de cabina	PB7001	02CK100395	2000	15	1	86.76		
AXLE BOX								
Elemento respirador	VE0934	02CK100525	500	60	2	18.96		
Ruedas delanteras y motores de tracción								
Aceite de ruedas frontales		05DP040105	500	60			8	5.19
Aceite de Motores de tracción		05DP040067	2000	15			21	29.28
Sistema de aire								
Filtro de aire primario	AF879M	02CK100513	500	60	4	105.39		
Filtro de aire Secundario	AF857	02CK101156	1000	30	4	57.46		
Sistema hidráulico								
Aceite hidráulico TC 10W		05DP040024	2000	15			195	4.94
Filtro respirador hidráulico	PB5556	02CK100524	250	120	2	20.39		
Filtro aceite hidráulico tolva	AK3570	02CK100393	500	60	1	121.28		
Filtro aceite hidráulico de dirección	AK3572	02CK100392	500	60	1	117.15		
Lubricación automática								
Filtro aceite lubricación automática	BF5481	02CK100518	2000	15	1	203.08		
Grasa DG SHELL RETINAX HDK-2		05DP040052	250	120			5	6.41

Tabla N° 6.2 Componentes mayores para el mantenimiento preventivo de los camiones 730E
(Cálculo para 30000 horas de operación)

Cambio de Componentes para Mantenimiento de los camiones Komatsu 730E						
Componente	Número de Parte	Cód. Oracle	Intervalo de Cambio hrs.	Costo Unitario (\$)	Nro. de Cambios a 30000 Hrs	Costo Total (\$)
Motor Diesel	K2000	02CK200101	15000	237500.00	2	475000.00
Radiador	PC1724	02CK100501	24000	72220.99	1	72220.99
Alternador Principal	PB9266	02CK100494	20000	281104.88	1	281104.88
Bomba de Levante	PB9668	02CK101036	12000	6534.58	2	13069.16
Bomba de Dirección y Frenos	PB9870	02CK101036	10000	4062.21	3	12186.63
Acumulador Dirección Del.	PC1811	02CK101297	20000	4939.71	1	4939.71
Acumulador Dirección Pos.	PC1811	02CK101297	20000	4939.71	1	4939.71
Acumulador Freno Del.	PB7058	02CK101281	20000	2457.87	1	2457.87
Acumulador Freno Pos.	PB7058	02CK101281	20000	2457.87	1	2457.87
Cilindro de Dirección Izq.	EK1040	02CK100502	12000	6505.60	2	13011.20
Cilindro de Dirección Der.	EK1040	02CK100502	12000	6505.60	2	13011.20
Barra de Dirección	EJ1474		15000	16000.00	2	32000.00
Cilindro de Levante Izq.	EK7086	02CK100505	8000	41803.97	3	125411.91
Cilindro de Levante Der.	EK7086	02CK100505	8000	41803.97	3	125411.91
Motor de Tracción Izq.	PB9732	02CK100495	22000	677028.70	1	677028.70
Motor de Tracción Der.	PB9732	02CK100496	22000	677028.70	1	677028.70
Armadura Izq.	VE8679	02CK100497	12000	92228.35	2	184456.70
Armadura Der.	VE8679	02CK100497	12000	92228.35	2	184456.70
Blower Parrilla Izq.	PB9278	02CK100499	20000	77420.69	1	77420.69
Blower Parrilla Der.	PB9278	02CK100499	20000	77420.69	1	77420.69
Suspensión Del. Izq.	EJ9951	02CK100506	12000	59800.64	2	119601.28
Suspensión Del. Der.	EJ9951	02CK100507	12000	59800.64	2	119601.28

Tabla N° 6.3: Componentes mayores para el mantenimiento preventivo de los camiones 730E
(Cálculo para 30000 horas de operación)

Cambio de Componentes para Mantenimiento de los camiones Komatsu 730E						
Componente	Número de Parte	Cód. Oracle	Intervalo de Cambio hrs.	Costo Unitario (\$)	Nro. de Cambios a 30000 Hrs	Costo Total (\$)
Suspensión Pos. Izq.	EJ8859	02CK100508	15000	26,982.35	2	53964.70
Suspensión Pos. Der.	EJ8859	02CK100509	15000	26,982.35	2	53964.70
Rueda Izq.	EJ9964	02CK100511	20000	50,728.81	1	50728.81
Rueda Der.	EJ9964	02CK100511	20000	50,728.81	1	50728.81
Válvula de Control de Levante	PB8267	02CK101284	20000	9,213.31	1	9213.31
Válvula de Control Freno		02CK101043	20000	6,500.00	1	6500.00
Válvula de Control de Dirección	PB6905	02CK101008	20000	1,463.92	1	1463.92
Válvula Unloader	PC0243	02CK101288	20000	2,911.81	1	2911.81
Válvula Bleeddown	PC1875	02CK101298	20000	3,645.69	1	3645.69
Válvula Flow Amplifier	PB9932	02CK100404	20000	4,029.90	1	4029.90
Pin Centrales y Bocina - Pivot	EG1347		25000	15,000.00	1	15000.00
Parrilla LH - 01 (2)	XA2476	02CK100580	14000	3653.98	2	14615.92
Parrilla LH - 02 (12)	XA2475	02CK100579	14000	3545.53	2	85092.72

Tabla N° 6.4: Costos asociados a los insumos para el mantenimiento preventivo

Costo de Mantenimiento Preventivo		
Número de cambios	Descripción	Costo Total (\$)
Motor		
120	Aceite de Motor 15W40	49857.36
120	Filtro Aceite de Motor	8220.00
120	Filtro Aceite de Motor By-Pass	3280.80
120	Filtro de combustible	8491.20
60	Filtro de Agua	2252.40
Cabina		
15	Filtro Aire de cabina	1301.40
Axle Box		
60	Elemento respirador	2275.20
Ruedas delanteras y motores de tracción		
60	Aceite de ruedas frontales	2489.98
15	Aceite de Motores de tracción	9224.75
Sistema de aire		
60	Filtro de aire primario	25293.60
30	Filtro de aire Secundario	6895.20
Sistema hidráulico		
15	Aceite hidráulico TC 10W	14438.86
120	Filtro respirador hidráulico	4893.60
60	Filtro aceite hidráulico tolva	7276.80
60	Filtro aceite hidráulico de dirección	7029.00
Lubricación automática		
15	Filtro aceite lubricación automática	3046.20
120	Grasa DG SHELL RETINAX HDK-2	3843.07
Total		160109.42

De las tablas N°6.2, N°6.3 y N°6.4 se calculó el costo horario del mantenimiento preventivo, obteniendo un valor de 126.87 \$/hr.

6.1.2 Costo de Combustible

Para el cálculo del costo de combustible tomaremos el promedio de consumo desde el año 2006 hasta el año 2009, los valores se obtuvieron de los reportes del sistema Dispatch.

Tabla N° 6.5 : Consumo de combustible promedio y horas de operación

AÑO	Equipo		Promedio Consumo Gal/H	Horas Operación
2006	730E	N°1	21.98	518.0305
	730E	N°2	19.12	537.7496
	730E	N°3	14.78	359.2683
	730E	N°4	18.83	548.1842
	730E	N°5	20.88	542.8731
	730E	N°6	21.21	524.3563
	730E	N°7	22.63	510.0432
	730E	N°8	18.51	525.1253
	730E	N°9	17.1	436.9009
	730E	N°10	20.89	547.3565
2007	730E	N°1	21.52	518.0598
	730E	N°2	20.64	563.1303
	730E	N°3	20.14	552.4265
	730E	N°4	5.43	75.5
	730E	N°5	20.58	532.7802
	730E	N°6	21.68	520.8206
	730E	N°7	21.14	529.109
	730E	N°8	19.7	515.812
	730E	N°9	21.48	555.7902
	730E	N°10	21.61	557.4653
2008	730E	N°1	25.14	591.7158
	730E	N°2	23.6	568.176
	730E	N°3	22.88	576.0799
	730E	N°4	23.46	576.9267
	730E	N°5	23.43	578.4933
	730E	N°6	18.86	353.3888
	730E	N°7	23.23	557.1098
	730E	N°8	24.36	576.2806
	730E	N°9	23.47	564.1133
	730E	N°10	24.18	563.9898

AÑO	Equipo		Promedio Consumo Gal/H	Horas Operación
2009	730E	N°1	26.07	582.9689
	730E	N°2	24.67	581.8944
	730E	N°3	23.94	583.7728
	730E	N°4	24.92	558.5933
	730E	N°5	24.14	569.9031
	730E	N°6	24.83	573.9202
	730E	N°7	24.78	573.1557
	730E	N°8	25.03	587.5993
	730E	N°9	24.93	577.6503
	730E	N°10	26.79	591.9493

El consumo promedio de combustible para los cuatro años de operación de la unidad minera es de 21.81 gal/hr para un promedio de operación mensual de 531.46 horas. El costo horario por combustible por cada unidad de acarreo en la operación minera es de 64.57 dólares/hr.

6.1.3 Costo de Neumáticos

En nuestra operación minera se lleva un control detallado de los neumáticos en cada una de las unidades de acarreo, en función a este sistema (Total Tyre Control-Klinge) se estableció la duración promedio de los neumáticos en las posiciones delanteras y posteriores del camión minero, para nuestro cálculo tenemos 8200 horas de motor como duración promedio. Como ya se explico anteriormente consideramos 30000 horas de vida útil del camión minero.

Tabla N° 6.6: Costo horario del uso de neumáticos

Consumo de Neumáticos de los camiones 730E		
Neumáticos por camión	6	Unid
Horas de trabajo camión 730E	30000	Horas
Horas de duración de cada neumático	8200	Horas
Total neumáticos para 30000 Horas	22	Neumáticos
Costo del Neumático	29324.53	Dólares
Costo de Neumáticos para 30000 Horas	645139.74	Dólares
Costo Horario de los Neumáticos	21.50	\$/Hr

En el cuadro número 6.7 tenemos el resumen de los costos asociados al mantenimiento y operación de los camiones mineros 730E

Tabla N° 6.7: Costo de operación del camión minero 730E

Cuadro Resumen Costos		
Costo de Mantenimiento preventivo y repuestos	126.87	\$/hr
Costo de Combustibles	64.57	\$/hr
Costo de Neumáticos	21.50	\$/hr
Costo de Operadores	11.52	\$/hr
Costo labor mantenimiento	8.12	\$/hr
Total	354.12	\$/hr

6.1.4 Cálculo del porcentaje de la reducción del consumo de combustible

Para verificar el volumen del consumo de combustible, en primer lugar presento el cuadro resumen del gasto energético en la operación minera, se puede apreciar que la tendencia del consumo se incrementa en el tiempo, este incremento se debe principalmente al crecimiento del tajo de la operación minera aurífera y por lo tanto el incremento de las distancias recorridas por los camiones de acarreo. El dispositivo de ahorro de combustible se instaló en el camión minero 730E número 03 en el mes de enero del 2008. Para el análisis del ahorro en el consumo del combustible se toma en cuenta los años 2008 y 2009.

Tabla N°6.8: Consumo promedio de combustible para camiones mineros 730E

Consumo de combustible flota Komatsu 730E de Enero 2006 a Diciembre 2009 (Gal)						
Flota		Años				Total Dec-09
		2006	2007	2008	2009	
730E	N°1	136604.64	133763.03	178520.64	182352.68	631240.99
730E	N°2	123359.75	139487.38	160907.44	172240.75	595995.33
730E	N°3	63698.28	133521.49	158133.94	167717.91	523071.61
730E	N°4	123889.62	4915.05	162404.86	167019.41	458228.94
730E	N°5	135989.71	131596.70	162672.33	165100.92	595359.66
730E	N°6	133448.69	135465.43	79994.38	171028.21	519936.71
730E	N°7	138476.72	134234.95	155266.51	170399.18	598377.36
730E	N°8	116630.34	121937.96	168446.81	176514.81	583529.92
730E	N°9	89652.07	143227.13	158854.29	172775.21	564508.70
730E	N°10	137194.91	144550.74	163669.83	190311.71	635727.18
Total		1198944.7	1222699.9	1548871.0	1735460.8	5705976.4

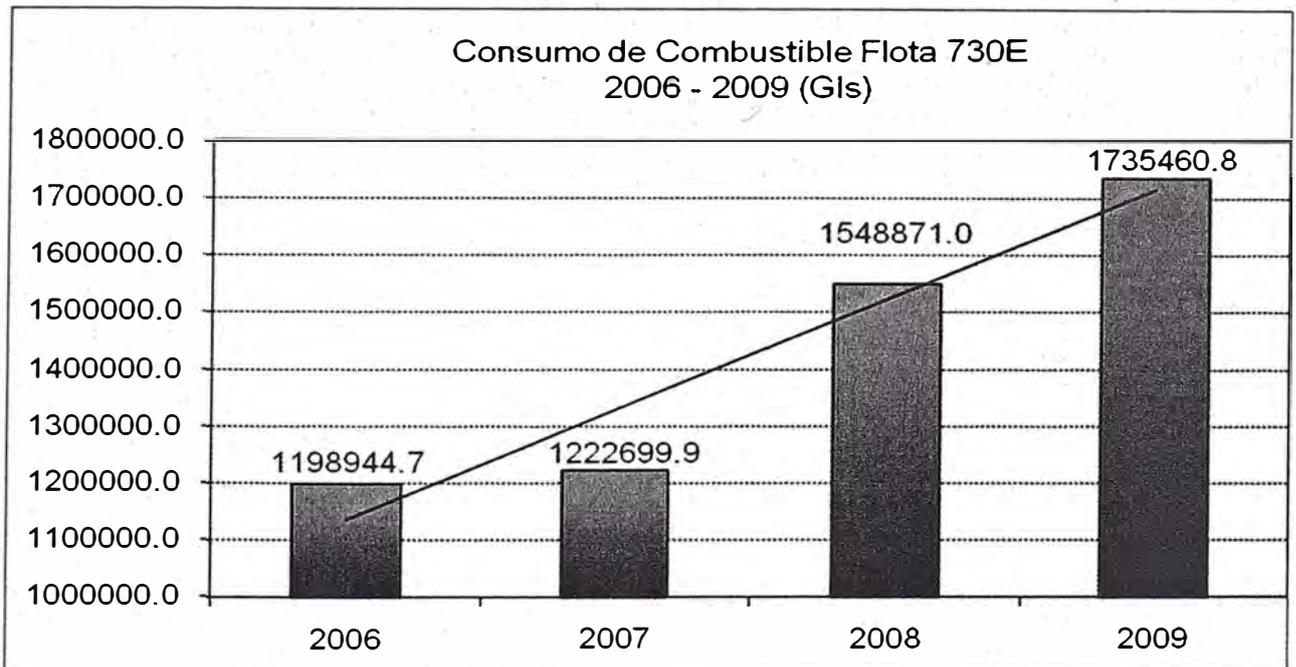


Figura N° 6.1: Tendencia del consumo de combustible

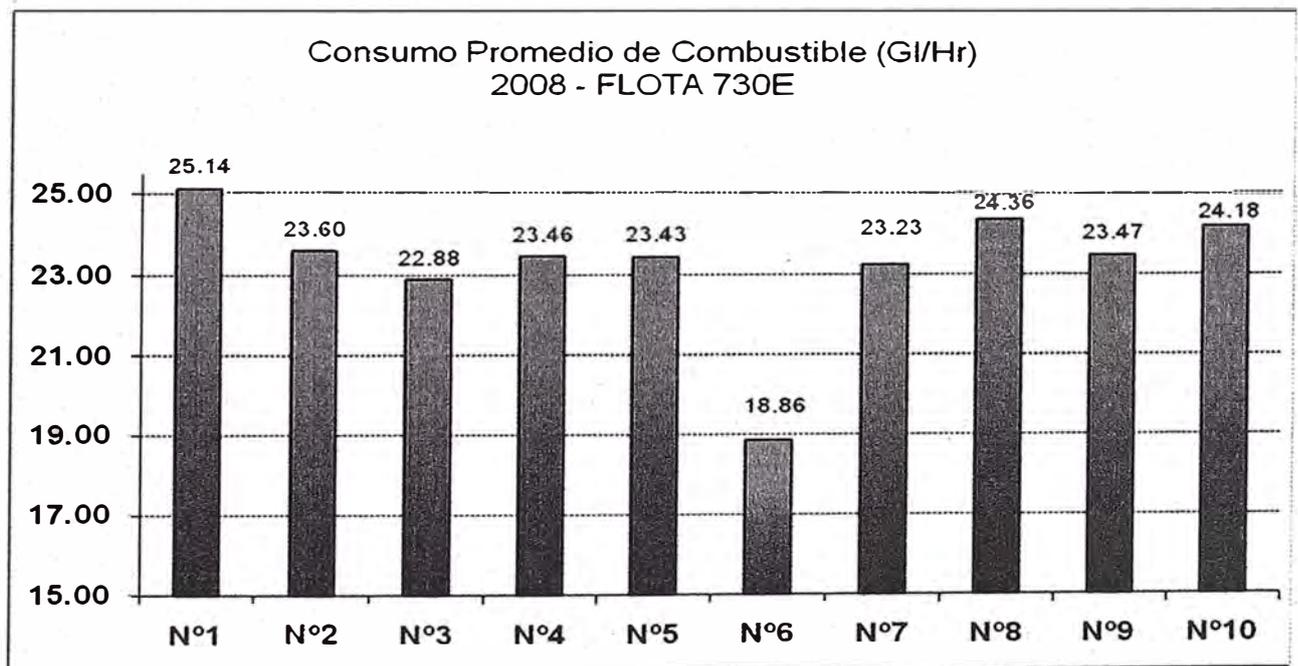


Figura N° 6.2: Consumo promedio de combustible Año 2008 (Nota: el camión 730E numero 06 estuvo en stand by por tres meses por lo que el consumo de combustible resulta muy bajo, motivo por el cual se excluye de la flota de camiones para el analisis)

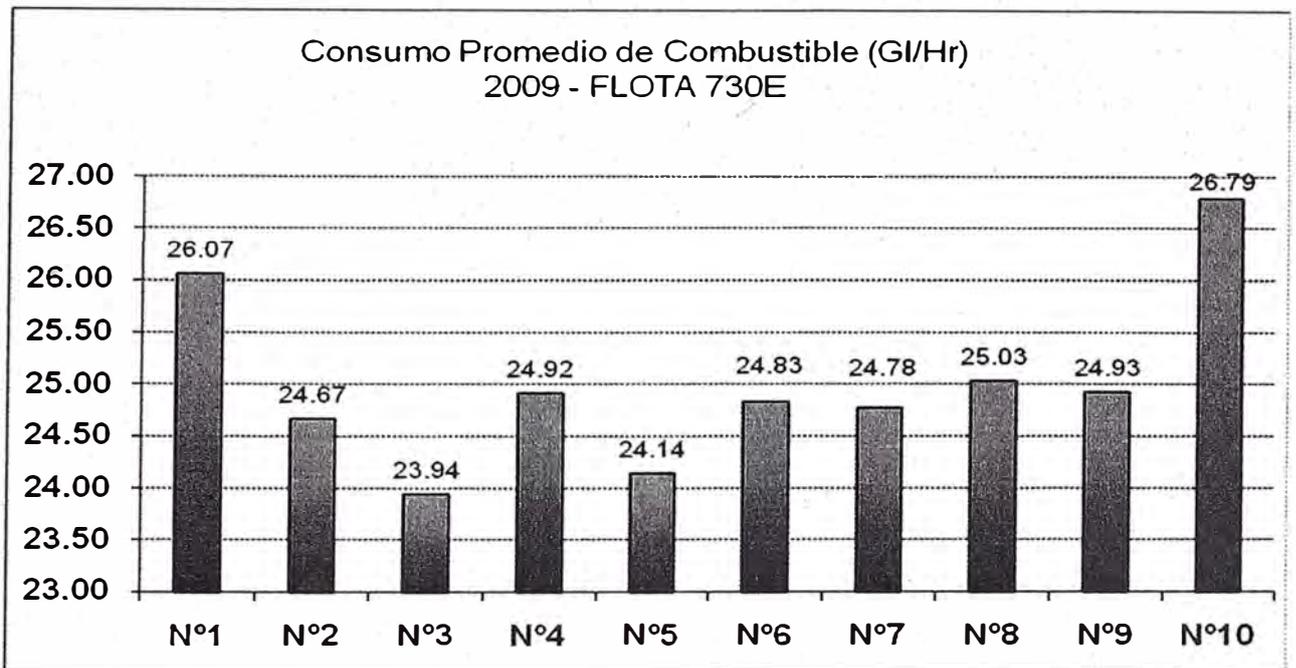


Figura N° 6.3: Consumo promedio de combustible Año 2009

De las figuras 6.2 y 6.3 se puede apreciar que el camión 730E N°3 presenta el menor consumo promedio de combustible en nuestra operación minera para el periodo que es objeto de estudio.

En el año 2008 al realizar una comparación del consumo del camión tres con cada uno de los camiones de la flota 730E, podremos apreciar la magnitud de la reducción en el consumo energético, el ahorro en el consumo de combustible presenta grandes beneficios en el ámbito económico y medio ambiental.

En la tabla N° 6.8 apreciamos el ahorro real del camión tres en relación a todos los camiones de la flota de transporte de mineral. En promedio el camión tres demuestra una reducción en el gasto energético de 4%; en el año 2008 el consumo total de combustible de la flota fue de 1548871.02 galones

de diesel, este dato es muy importante debido a que en términos económicos es un monto bastante importante (\$ 4646613.08 dólares); esto significa que el 4% de reducción en el consumo energético representaría un ahorro de \$ 185864.53 dólares.

Es importante recordar que el camión número seis estuvo fuera de operación por tres meses en el año 2008, es por este motivo que no se toma en cuenta en el análisis del porcentaje de ahorro.

Tabla N° 6.9: Porcentaje de ahorro de combustible

EQUIPO		Porcentaje de Ahorro Camión 3 Vs Flota año 2008
730E	N°1	9%
730E	N°2	3%
730E	N°3	0%
730E	N°4	2%
730E	N°5	2%
730E	N°6	-
730E	N°7	2%
730E	N°8	6%
730E	N°9	3%
730E	N°10	5%

En la tabla N° 6.10 apreciamos el ahorro real del camión tres frente al resto de camiones de la flota de los camiones 730E para el periodo del año 2009. En promedio el camión tres demuestra una reducción en el gasto energético de 5%; este año el consumo total de combustible de la flota fue de

1735460.79 galones de diesel; en términos económicos significa \$ 5206382.38 dólares; es evidente que representaría un ahorro de \$ 208255.30 dólares.

Tabla N° 6.10: Porcentaje de ahorro de combustible

EQUIPO		Porcentaje de Ahorro Camión 3 Vs Flota año 2009
730E	N°1	8%
730E	N°2	3%
730E	N°3	0%
730E	N°4	4%
730E	N°5	1%
730E	N°6	4%
730E	N°7	3%
730E	N°8	4%
730E	N°9	4%
730E	N°10	11%

De las tablas 6.9 y 6.10 apreciamos que el ahorro efectivo es de 4% y 5% respectivamente, este ahorro se refleja en los costos asociados a la operación y mantenimiento de los camiones que se muestran en la tabla 6.7, con una reducción promedio de 4.5% los costos relacionados al consumo de combustible disminuyen a 61.66 dólares por hora de operación para cada camión minero, por lo tanto el costo total de mantenimiento y operación también se reduce a 351.21 dólares por hora de operación.

Tabla N°6.11: Costo Horario de operación y mantenimiento

Cuadro Resumen Costos		
Costo de Mantenimiento preventivo y repuestos	126.87	\$/hr
Costo de Combustibles	64.57	\$/hr
Costo de Neumáticos	21.50	\$/hr
Costo de Operadores	11.52	\$/hr
Costo labor mantenimiento	8.12	\$/hr
Total	354.12	\$/hr

Otra forma de medir el resultado económico de la aplicación de métodos para reducir el gasto energético en camiones de transporte de mineral es calculando el ROI (Retorno de la Inversión), ya que el ROI no implica necesariamente dinero se expresa como un porcentaje. El ROI es una ayuda a la que las unidades de toma de decisiones responden, frecuentemente dichas unidades basan sus decisiones en la impresión que les causan las propuestas que reciben. Esta impresión viene determinada en gran medida por el impacto financiero de la propuesta, por ello es preferible calcular el ROI en términos de dinero. El ROI se calcula como:

$$ROI = \frac{(Ingresos - Egresos)}{Egresos} \times 100\%$$

Para nuestro caso los ingresos son el producto de la aplicación del dispositivo magnético en el circuito de alimentación de combustible a los motores diesel, como se puede apreciar líneas arriba esta aplicación produjo un ahorro de

\$185864.53 en el 2008 para la flota completa de los camiones mineros y de \$ 208255.30 en el 2009 como valor promedio, mientras que los gastos son el costo del dispositivo propiamente dicho y los gastos de instalación e insumos, los cuales pasamos a detallar en el cuadro que a continuación se presenta.

Tabla N° 6.12: Costos para el cálculo del ROI

CUADRO RESUMEN CALCULO DEL ROI		
Nro.	DESCRIPCION	(\$)
1	Fuelsaver Prozone FS6W	2,479.00
2	Instalación	71.88
3	Insumos para la instalación	24.32
4	Ahorro Neto Flota - 2008	185864.53
5	Ahorro Neto Flota - 2009	208255.30

$$ROI_{2008} = \frac{(20651.61 - 2575.20)}{2575.20} \times 100\%$$

$$ROI_{2008} = 702\%$$

$$ROI_{2009} = \frac{(20825.53 - 2575.20)}{2575.20} \times 100\%$$

$$ROI_{2009} = 709\%$$

De los valores obtenidos podemos apreciar que por cada dólar invertido obtenemos una rentabilidad de 7 dólares aproximadamente.

CAPITULO VII

CALCULO DE REDUCCION DE EMISION DE CO₂

La combustión interna del combustible en los motores se entiende como una combinación violenta, con desprendimiento de calor (reacción exotérmica) y radiación luminosa, del oxígeno del aire con el carbono, hidrógeno, azufre nitrógeno y otros compuestos (proceso de oxidación) que constituyen los elementos activos de los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, provocando la generación de luz u otra forma de energía; además dicha combustión se efectúa en proporciones de peso bien determinadas y son los únicos elementos que aportan calor.

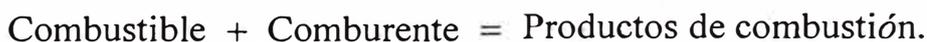
Para una combustión perfecta del oxígeno con el carbono, hidrógeno, azufre, nitrógeno y demás compuestos del combustible se necesita por cada átomo de carbono dos átomos de oxígeno, formando el gas anhídrido carbónico (CO₂); también se pueden combinar un átomo de carbono con uno de oxígeno formando el gas monóxido de carbono (CO). Este gas debe evitarse porque la combustión del carbono en forma de CO propicia las emisiones de los gases del efecto invernadero. El hidrógeno se combina siempre en proporción de un átomo con dos de oxígeno formando el H₂O, el azufre se combina en proporción de un átomo con dos de

oxígeno formando el gas anhídrido sulfuroso (SO_2); este gas es perjudicial porque al enfriarse los productos de la combustión, el agua recedente de la combustión del hidrógeno se condensa y reacciona con el SO_2 formando ácido sulfúrico (H_2SO_4), el cual es sumamente corrosivo; y el nitrógeno necesita por cada átomo dos átomos de oxígeno, formando el dióxido de nitrógeno y otros compuestos nitrogenados (NO_x).

Para determinar la calidad de la combustión partimos del análisis físico del combustible que nos permite determinar la composición de los elementos que lo componen (método de laboratorio) y nos puede dar una idea de su comportamiento durante la combustión; pero se requiere calcular por ejemplo el aire de la combustión necesario y otros parámetros importantes para tener un punto de vista de los requerimientos teóricos de los motores, sin embargo ninguno de éstos análisis nos dirá en forma segura el comportamiento del combustible durante la combustión, es decir si el combustible tiene tendencia a aglutinarse o a formar escorias, entonces se requiere un ensayo directo del combustible.

7.1 PROCESO TEÓRICO DE LA COMBUSTIÓN

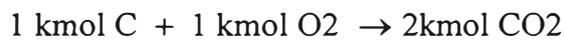
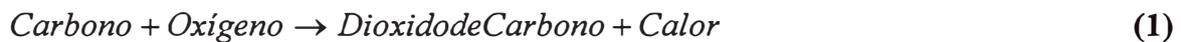
La reacción de la combustión se resume de la siguiente manera:



La combustión de los carburantes en el cilindro del motor es un proceso químico complejo. Analicemos las reacciones químicas finales de los elementos componentes del combustible con el oxígeno del aire. Cuando la combustión del combustible es

completa los productos de la combustión están formados por anhídrido carbónico, vapor de agua, oxígeno sobrante respectivamente.

En estos casos la oxidación del carbono y hidrógeno del combustible corresponden a las ecuaciones químicas 1 y 2. (Jóvaj, 1987).



Los pesos moleculares de los elementos químicos que se muestran en las ecuaciones (1) y (2), se detallan a continuación.

$$M(\text{C}) = 12 \text{ kg/kmol}$$

$$M(\text{O}_2) = 32 \text{ kg/kmol}$$

$$M(\text{CO}_2) = 44 \text{ kg/kmol}$$

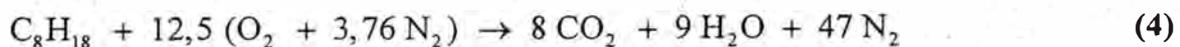
$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ kg/kmol}$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ kg/kmol}$$

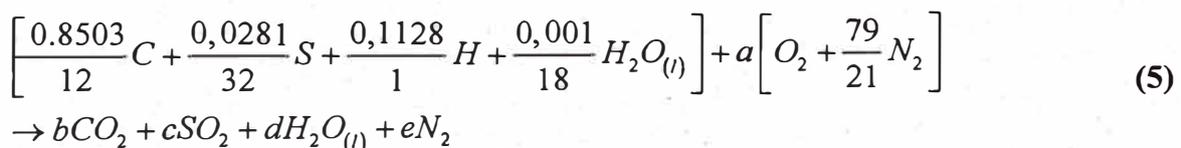
La reacción de combustión de una molécula de combustible requiere de varias moléculas de oxígeno, en función del número de carbonos e hidrógenos de que esté compuesta. Como se puede observar en las anteriores expresiones por cada dos hidrógenos que haya en el combustible, requieren un átomo de oxígeno, para formar una molécula de agua; y cada carbono requiere dos átomos de oxígeno, para formar una molécula de dióxido de carbono. Con esa forma, se obtiene una combustión completa (ideal). La reacción de combustión total, pasando todo el C a CO_2 y H a H_2O . Es una característica del combustible, independiente del proceso de combustión posterior.



El ajuste de la ecuación se realiza con balances individuales (C, H, O, N,...). De esta manera, se puede deducir la ecuación química estequiométrica:



El cálculo de los productos de la combustión se hace para 1 kg de combustible en Kmol, resultando la ecuación teórica:



Del balance obtenemos los valores para a, b, c, d y e.

$$C: \quad 0,8503/12 = b = 0,071 \text{ kmol CO}_2$$

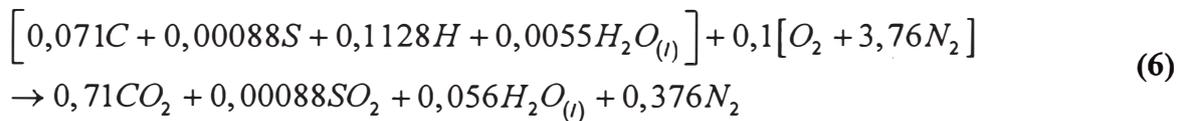
$$S: \quad 0,0281/32 = c = 0,00088 \text{ kmol SO}_2$$

$$H_2: \quad 0,1128/2 + 0,001/18 = d = 0,056 \text{ kmol H}_2\text{O (l)}$$

$$O_2: \quad (0,001/18) (1/2) + a = b + c + d/2 \Rightarrow a = 0.1 \text{ kmol O}_2$$

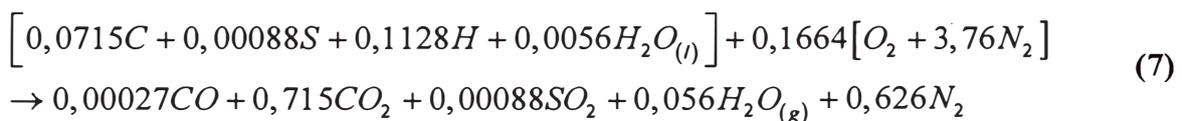
$$N_2: \quad a (79/21) = e = 0,376 \text{ kmol N}_2$$

Luego la reacción teórica es, en kmol por 1 kg de combustible:



7.2 CALCULO DEL VOLUMEN REDUCIDO EN LA EMISIÓN DE CO2

Para poder determinar la cantidad de la reducción de dióxido de carbono primero debemos calcular la masa producto de la combustión por kg de combustible quemado. La cantidad de productos de la combustión de la reacción se calcula:



$$G_{CO} = CO(\text{kmol}) \times \text{Masa Molar}_{CO} = 0,00027 \times 28 = 0,0075\text{kg} \quad (8)$$

$$G_{CO_2} = CO_2(\text{kmol}) \times \text{Masa Molar}_{CO_2} = 0,715 \times 44 = 3.146\text{kg} \quad (9)$$

$$G_{SO_2} = SO_2(\text{kmol}) \times \text{Masa Molar}_{SO_2} = 0,00088 \times 64 = 0,0563\text{kg} \quad (10)$$

$$G_{N_2} = N_2(\text{kmol}) \times \text{Masa Molar}_{N_2} = 0,626 \times 28 = 17,528\text{kg} \quad (11)$$

De la ecuación 9 determinamos que por cada Kg de combustible quemado se obtienen 3.146 kg de dióxido de carbono; sabemos que se obtuvo una reducción promedio de 4% y 5% en el consumo de combustible en el camión número tres en el 2008 y 2009 respectivamente. Por otro lado el consumo de combustible para los años que son objeto de estudio se detallan en la tabla 27, resultando en el 2008 un consumo total de 1222699.9 galones de diesel; mientras que en el 2009 se consumieron 1548871.0 galones de combustible.

Con los datos mostrados en el párrafo anterior fácilmente podemos deducir la masa total de dióxido de carbono emitido al medio ambiente, a saber:

(Densidad mínima del diesel: 820 kg/m³; Norma NTP 321.003, Anexo 3)

$$m = \rho \times V \quad (12)$$

Donde:

m: Masa en Kg

V: Volumen en m³

ρ : Densidad en Kg/m³

Reemplazando datos en la ecuación 12 tenemos el consumo de combustible en kilogramos para el 2008 y 2009 respectivamente.

$$m_{combustible} = 820 \times 0.003785 \times 1222699.9$$

$$m_{combustible_{2008}} = 3794893.68 \text{ kg}$$

$$m_{combustible} = 820 \times 0.003785 \times 1548871$$

$$m_{combustible_{2009}} = 4807230.9227 \text{ kg}$$

De la ecuación 9 sabemos que por cada Kg de combustible quemado obtenemos 3,146 kg de dióxido de carbono, entonces la cantidad total de CO₂ emitido al medio ambiente es respectivamente para el 2008 y 2009

$$m_{co_2} = 3,146 \times 3794893.68 \text{ kg}$$

$$m_{co_2} = 11938735.52 \text{ kg}$$

$$m_{co_2} = 3,146 \times 4807230.92 \text{ kg}$$

$$m_{co_2} = 15123548.48 \text{ kg}$$

Es fácil notar que la emisión del CO₂ para la operación minera aurífera es de gran magnitud e impacta negativamente al medio ambiente en el cual se desarrolla, si se aplicara el economizador de combustible a toda la flota de camiones se disminuiría la emisión de gases producto de la combustión en la misma proporción que el consumo de combustible .

CONCLUSIONES

1. Mediante un campo magnético podemos mejorar la eficiencia del combustible, provocando cambios específicos a nivel molecular, con lo que facilitamos la combustión. Las moléculas de combustible se separan más fácilmente, reaccionando mejor con el oxígeno.
2. El uso de magnetizadores en la alimentación de combustible permite un apreciable ahorro en el consumo de combustible y resulta muy atractivo para las empresas por las ventajas económicas que conlleva. Para nuestro caso se pudo demostrar que el ahorro energético puede alcanzar valores de hasta 5%.
3. Los dispositivos magnéticos o magnetizadores activan y polarizan las moléculas de combustibles (moléculas hidrocarbonadas) que tienen orientaciones al azar. Esto se consigue cambiando el spin del electrón del hidrógeno presente en las moléculas de una fuerte carga positiva y reorganizando la estructura molecular completa. La molécula activada de combustible atrae iónicamente a los átomos de oxígeno en las cámaras de combustión creando una molécula de combustible altamente oxigenada, lo cual produce un incremento en la eficiencia del proceso de combustión

(proceso de combustión mas uniforme con mayor eficiencia en la recuperación de calor o en su transformación a energía mecánica), menos depósitos en los dispositivos de combustión y una reducción en la emisión de gases tóxicos e hidrocarburos sin quemar.

4. La adecuada aplicación del tratamiento magnético del combustible diesel, posibilita el aumento de la eficiencia de trabajo del motor y la reducción de sus indicadores de consumo de combustible.
5. Con un buen mantenimiento del vehículo se puede lograr el uso de combustible de forma eficiente, sin embargo existen varios factores que afectan el consumo de combustible.
 - a. Es importante mantener los parámetros de operación del motor diesel en condiciones ideales de operación, se debe llevar el control periódico del sistema de admisión de aire, la sincronización del tiempo de inyección del combustible, la holgura de las válvulas y la atomización del combustible si el combustible no es bien atomizado, no se puede lograr una buena combustión, lo que causará baja potencia de motor, gases de escape más oscuros, y aumento del consumo de combustible.
 - b. Hay dos tipos de neumáticos; neumáticos diagonales y neumáticos radiales. Los neumáticos radiales tienen menos resistencia a la rodadura y generan entre un 5% a 15% menos consumo de combustible que los

neumáticos diagonales, es fácil notar que los neumáticos radiales favorecen el uso eficiente del combustible.

- c. El mantenimiento periódico de las vías es de suma importancia por que permite mantener los valores de la resistencia a la rodadura en valores mínimos.
6. El consumo de combustible para el camión 730E Nro. 3 en el 2008 fue de 22.88 galones por hora, que representa una reducción en el gasto energético de 4%. En el 2009 el gasto energético fue de 23.94 galones por hora que representa una reducción en el gasto energético del 5%, se recomienda extender el uso del magnetizador en la línea de alimentación de combustible a toda la flota de camiones mineros.
7. La emisión del CO₂ para la operación minera aurífera es de gran magnitud e impacta negativamente al medio ambiente en el cual se desarrolla, si se aplicara el magnetizador de combustible a toda la flota de camiones se disminuiría la emisión de gases producto de la combustión en la misma proporción que el consumo de combustible.

BIBLIOGRAFIA

1. Rossi, G. 1990. Bio hydrometallurgy. McGraw-Hill, NY, 609 pp.
2. Komatsu 2004. Shop Manual 730E Dump Truck.
3. **<https://quickserve.cummins.com/info/index.html>**
4. <http://www.freepatentsonline.com/>
U.S. Patent 3,830,621 - Process and Apparatus for Effecting Efficient Combustion.
U.S. Patent 4,188,296 - Fuel Combustion and Magnetizing Apparatus used therefor.
U.S. Patent 4,461,262 - Fuel Treating Device.
U.S. Patent 4,572,145 - Magnetic Fuel Line Device.
U.S. Patent 5,124,045 - Permanent Magnetic Power Cell System for Treating Fuel Lines for More Efficient Combustion and Less Pollution.
U.S. Patent 5,331,807 - Air Fuel Magnetizer.
U.S. Patent 5,664,546 - Fuel Saving Device.
U.S. Patent 5,671,719 - Fuel Activation Apparatus using Magnetic Body.
U.S. Patent 5,829,420 - Electromagnetic Device for the Magnetic Treatment of Fuel.
5. Nilsson, J./ Randhen, J. Environmental Impacts and Health Aspects in the Mining Industry, Master of Science Thesis Sweden, 2008, 130 pp.
6. Fuel Consumption Guide 2009, Association of international automobile manufacturers of Canada.

ANEXOS

ANEXOS

- 1.- Diagramas de flujo del proceso general de la operación minera.
- 2.- Cotización del magnetizador de combustible
- 3.- Especificaciones del diesel
- 4.- Especificaciones camión Komatsu 730E.
- 5.- Ángulos de inclinación de pendiente positiva en la ruta de análisis.

Diagrama 3D-LX-01. Lixiviación en Pilas

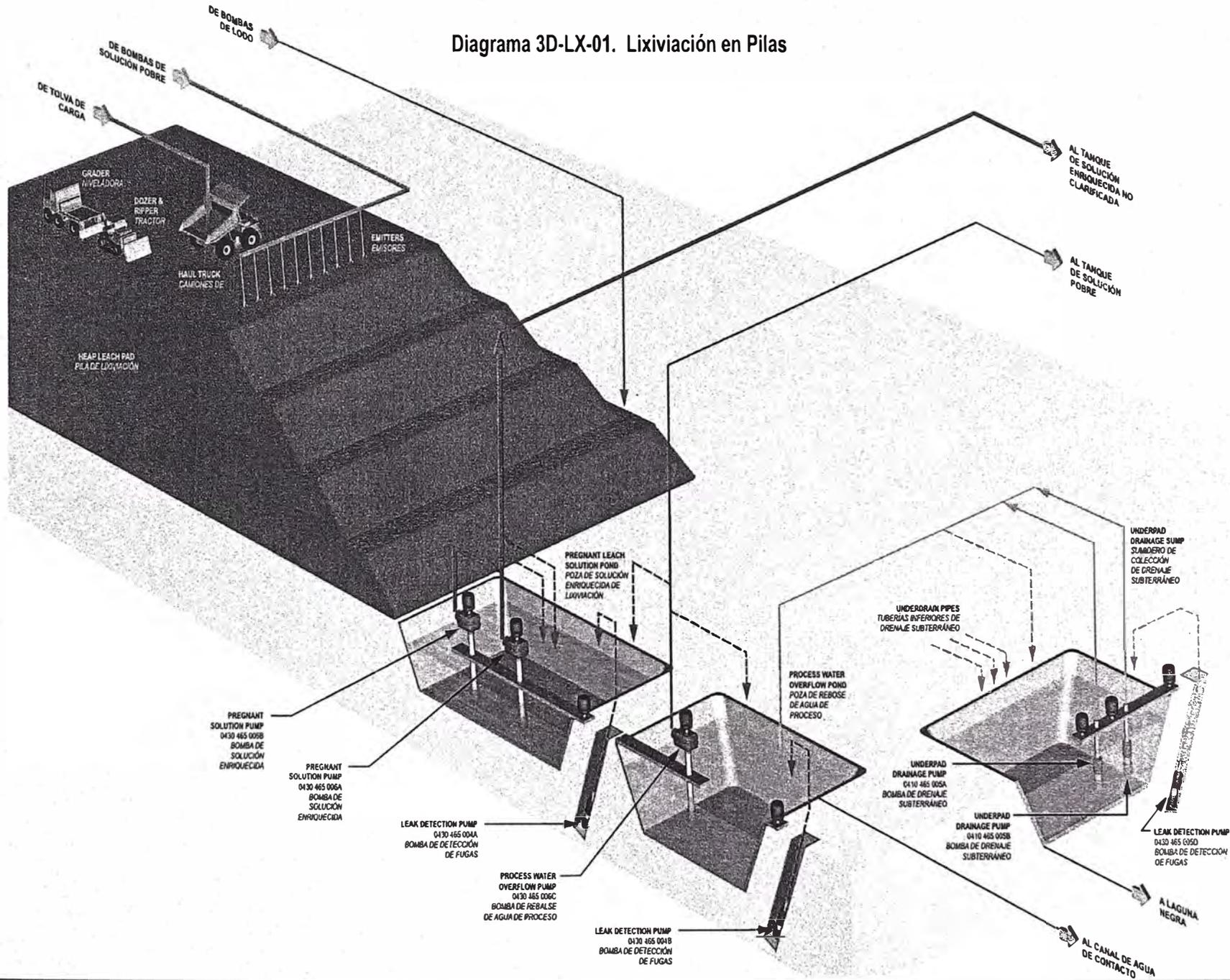


Diagrama DE-CH-01. Disposición de Equipos en el Área de Chancado y Carga de Camiones

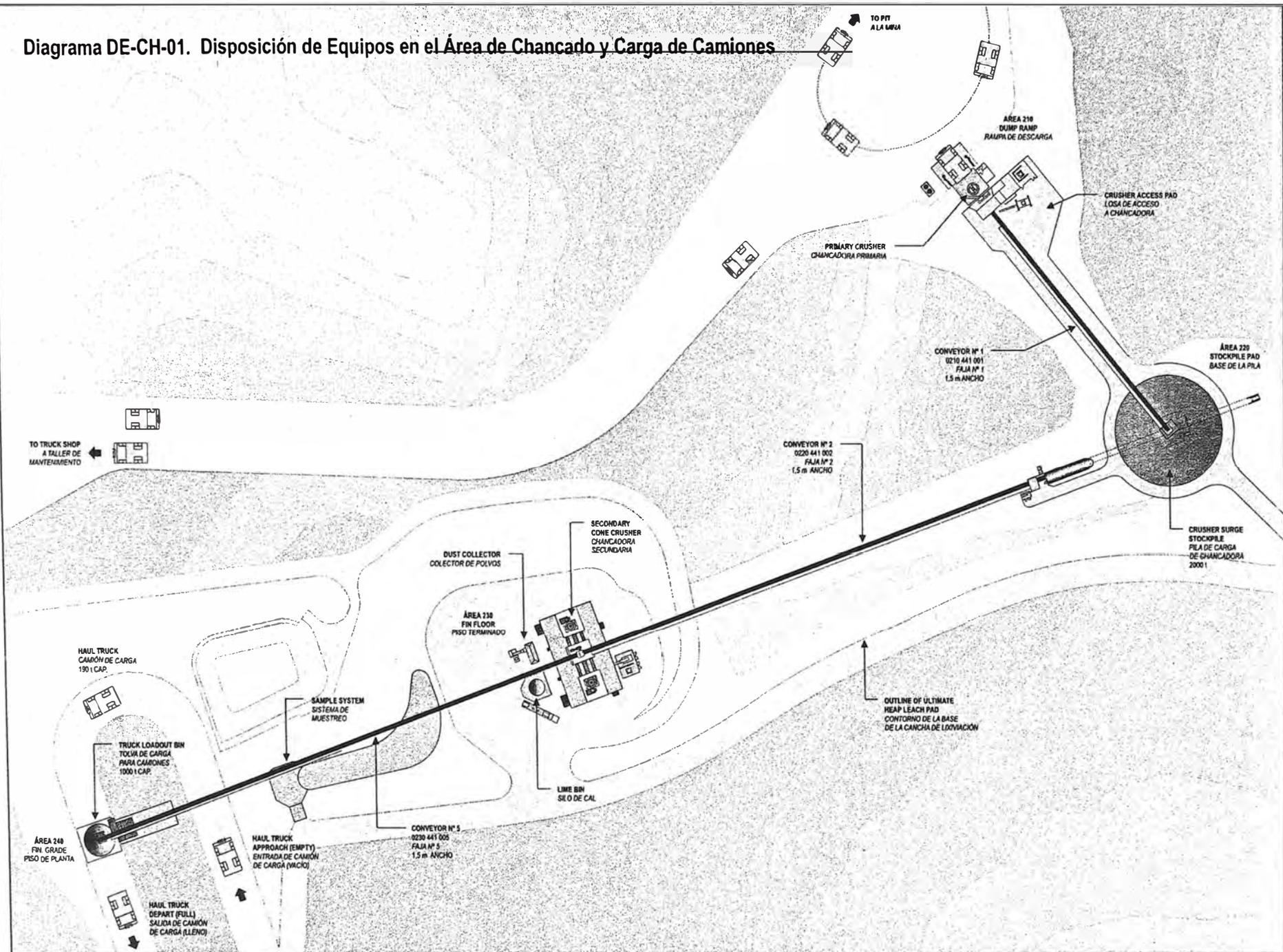


Diagrama 3D-CH-02. Chancado Secundario

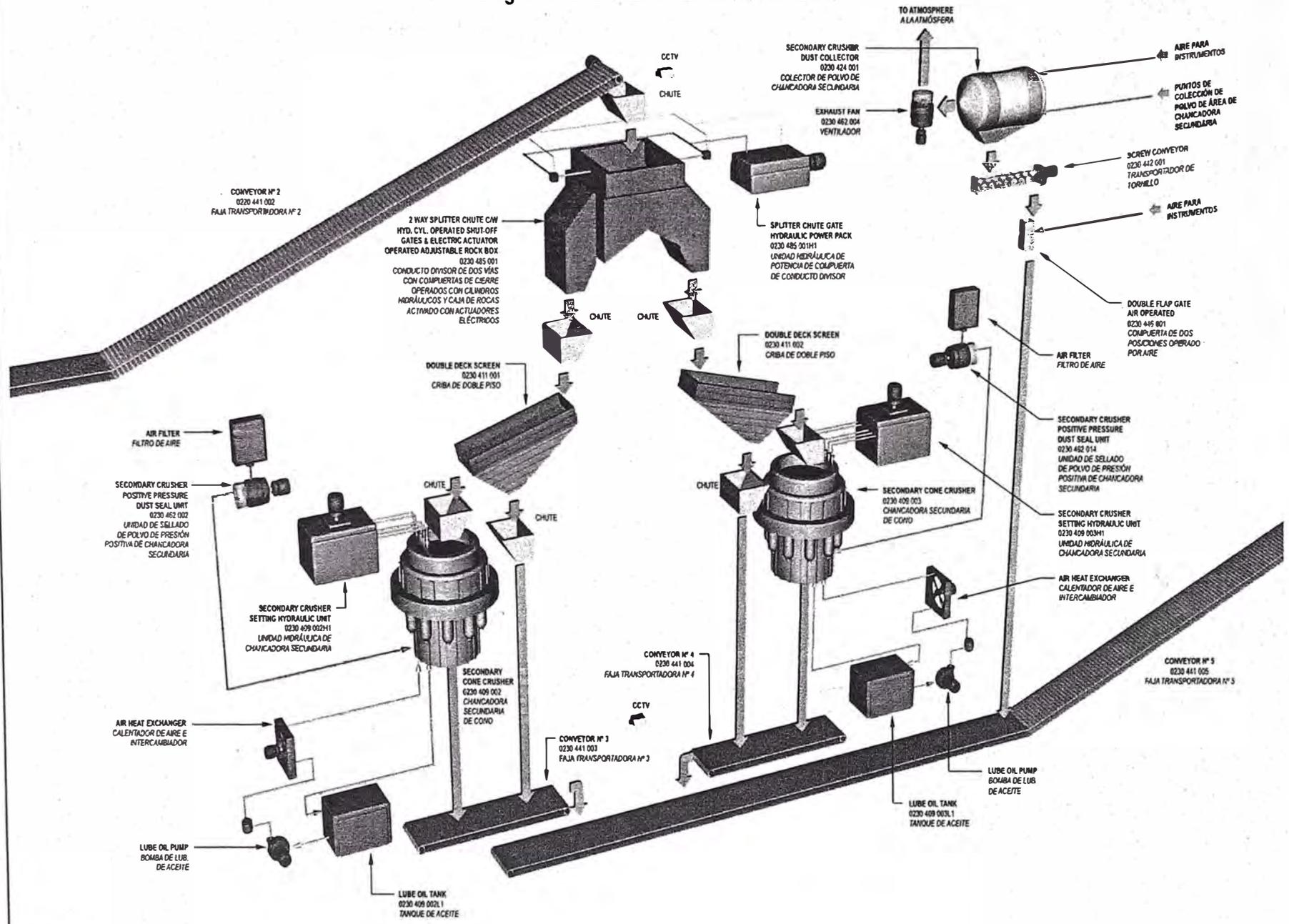
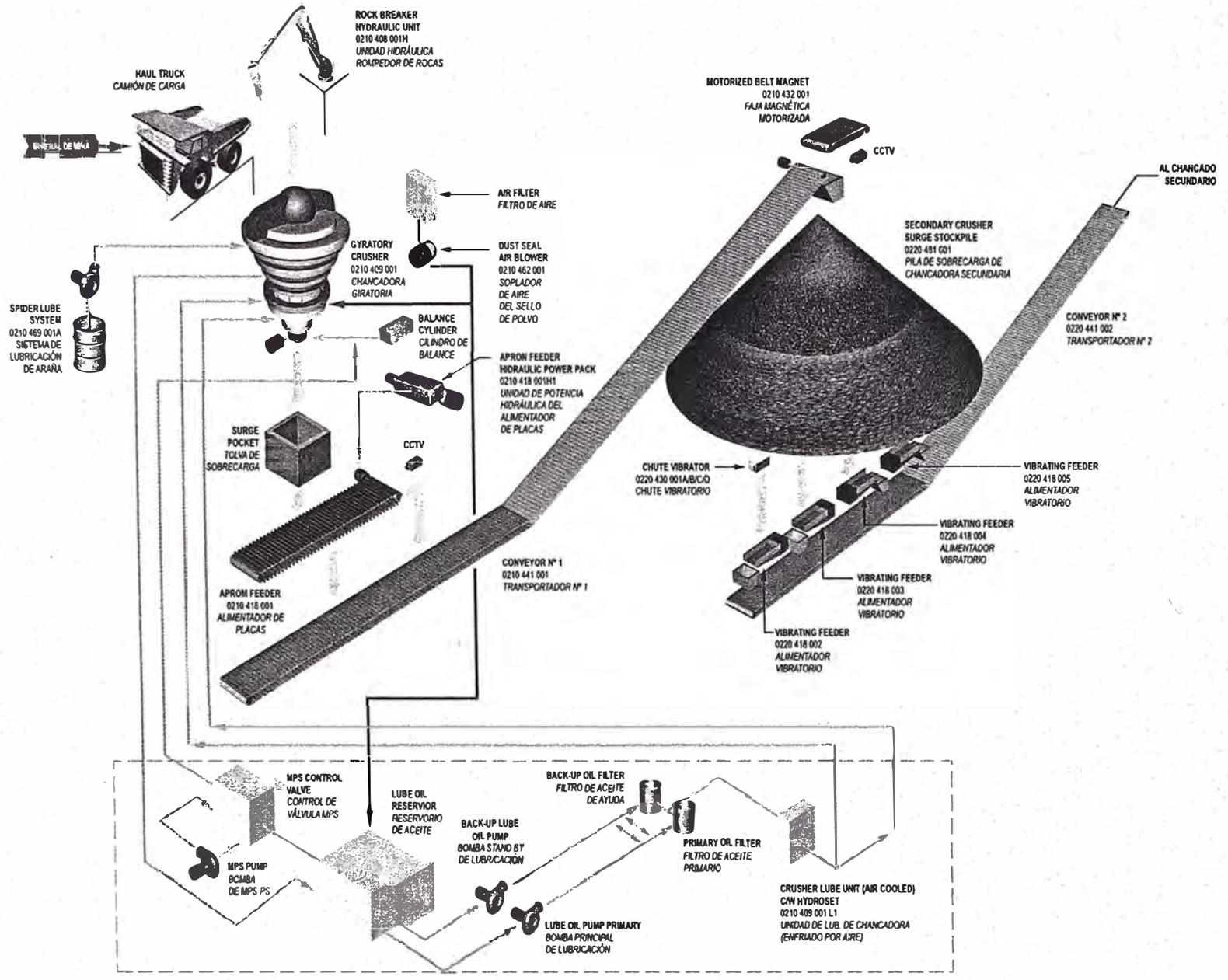


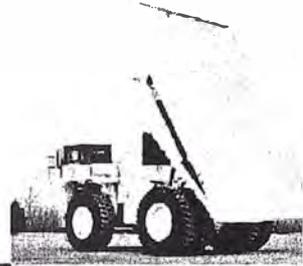
Diagrama 3D-CH-01. Chancado Primario y Apilamiento



KOMATSU®

730E

MAXIMUM GVW
324322 kg 715,000 lb
GROSS HORSEPOWER
1491 kW 2,000 HP



ELECTRIC DRIVE TRUCK

Photo may include optional equipment.

730E ELECTRIC DRIVE TRUCK

SPECIFICATIONS



ENGINE

Make and model	Komatsu SSA16V159
Fuel	Diesel
Number of cylinders	16
Operating cycle	4 stroke
*Rated brake power	1491 kW 2,000 HP @ 1900 rpm
**Flywheel power	1388 kW 1,860 HP @ 1900 rpm
Weight (wet)	5294 kg 11,670 lb

NOTE: This engine includes the Engine Monitor System

*Rated brake power is the output of the engine as installed in this machine, at governed rpm and with engine manufacturer's approved fuel setting. Accessory losses included are water pump, fuel pump and oil pump.

**Flywheel power is the rated power at the engine flywheel minus the average accessory losses. Accessories include fan and charging alternator. Rating(s) represent gross engine performance in accordance with SAE J1349 conditions.



ELECTRIC DRIVE

AC/DC CURRENT

Alternator	G.E. GTA-22
Control	Statex III Fuelsaver
*Motorized wheels	G.E. 788
**Ratio	26.825:1
Speed (maximum)	55.7 km/h 34.6 mph

*Wheel motor application depends upon gross vehicle weight, haul road grade, haul road length, rolling resistance and other parameters. Komatsu and G.E. must analyze each job condition to assure proper application.

**Optional ratios available.



TIRES AND RIMS

Rock service, tubeless, tires

*Standard tire	37.00 R57
Standard five (5) piece rim	

686 mm x 1488 mm x 152 mm 27" x 57" x 6" patented Phase II New Generation rim assembly with patented 152 mm 6" double forged flanges. Not interchangeable with other manufacturers' rims due to improved design for greater load support and longer fatigue life. Rated at 827 kPa 120 psi cold inflation pressure.

Typical tire weight	18371 kg 40,500 lb
---------------------	--------------------

*Tires should meet application requirements for speed, load, compound, inflation pressure, ply rating or equivalent, etc.



BODY

All-welded steel flat floor body with horizontal bolsters and full canopy. Eyebrow, rear wheel rock ejectors, body up cable and rubber mounts on frame are standard. Pivot exhaust heating optional.

Bottom plate	19 mm 0.75" 1034 mPa 150,000 psi tensile strength steel (two-piece)
Front sheet	12 mm 0.47" 690 mPa 100,000 psi tensile strength steel
Side sheet	9 mm 0.35" 690 mPa 100,000 psi tensile strength steel
Struck	77 m ³ 101 yd ³
Standard SAE heaped 2:1	111 m ³ 145 yd ³
Standard Komatsu body weight	25612 kg 56,464 lb



CAB

Advanced Operator Environment with integral 4-post ROPS/FOPS structure (meets J1040 Apr88), adjustable air suspension seat with lumbar support and arm rests, passenger seat, maximum R-value insulation, tilt and telescoping steering wheel, electric windshield wipers with washer, tinted safety glass, power windows, Komatsu Payload Weighing System, 55,000 Btu/hr heater and defroster, 21,600 Btu/hr air conditioning (HFC - 134A refrigerant).



FRAME

Advanced technology, full butt-welded box-sectional ladder-type frame with integral ROPS supports, integral front bumper, rear tubular cross members, steel castings at all critical stress transition zones, rugged continuous horseshollar.

Plate material	482.6 mPa 70,000 psi tensile strength steel
Casting material	620.5 mPa 90,000 psi tensile strength steel
Rail width	279 mm 11"
Rail depth (minimum)	813 mm 32"
Top and bottom plate thickness	32 mm 1.25"
Side plate thickness	19 mm 0.75"
Drive axle mounting	High-mount ball and socket joint at front
Drive axle alignment	Swing link between frame and axle



BRAKING SYSTEM

Service brakes: all-hydraulic actuated

Front	Wheel speed disc. Three calipers on a 1168 mm 46.0" O.D. disc.
Rear	Dual disc armature speed. Two 635 mm 25" O.D. discs per side. One caliper per disc.
Emergency brakes	Automatically applied prior to hydraulic system pressure dropping below level required to meet secondary stopping requirements.
Wheel brake locks	Switch activated
Parking brakes	Spring-applied, hydraulically released, with speed application protection.
Electric dynamic retarder (max.)	2759 kW 3,700 hp
Continuously rated blown grids	Two-speed overspeed retarding.
Extended range retarding	Reverse retarding.



SUSPENSION

HYDRAIR® II

Variable rate hydro-pneumatic with integral rebound control.	
Maximum front stroke	335 mm 13.2"
Maximum rear stroke	279 mm 11.0"
Maximum rear axle oscillation	±9.75°



COOLING SYSTEM

L&M radiator assembly with sight gauge. Deaeration-type top tank. Dual pass cooling.

Radiator frontal area	4.33 m ² 46.6 ft ²
-----------------------	--



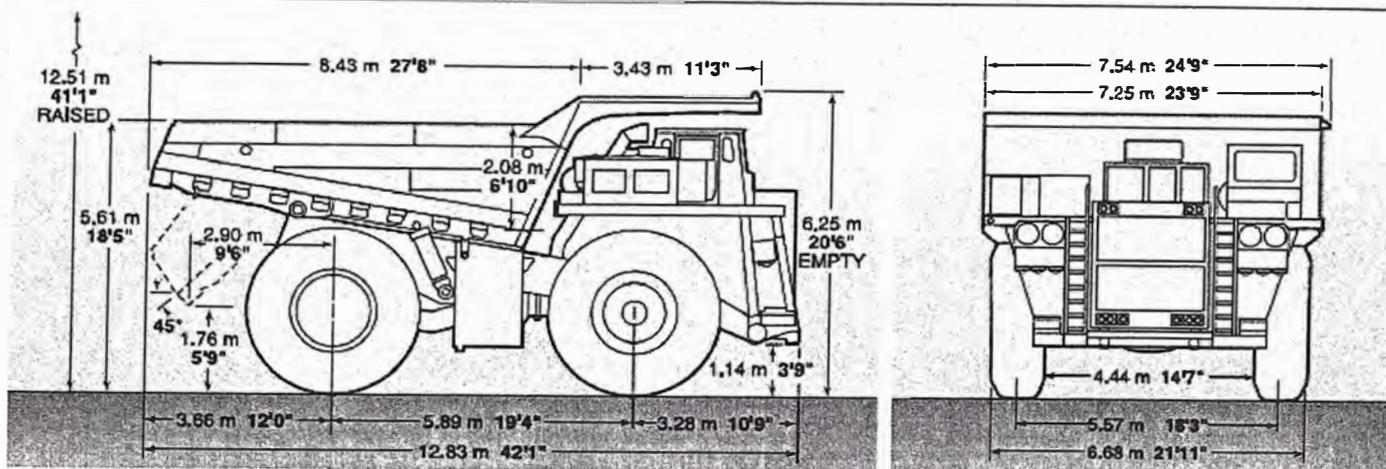
SERVICE CAPACITIES

Cooling system	409 L	108 U.S. gal
*Crankcase	223 L	59 U.S. gal
Hydraulic system	731 L	193 U.S. gal
Motor gear box	40 L	10.5 U.S. gal
Fuel	3217 L	850 U.S. gal

*Includes lube oil filters



DIMENSIONS



All dimensions are with 111 m³ 145 yd³ body.

Bodies	Struck	2:1 Heap	Loading Height*
Standard	77 m ³ 101 yd ³	111 m ³ 145 yd ³	5.61 m 18'5"

*Exact load height may vary due to tire make, type, and inflation pressure.



HYDRAULIC SYSTEM

Steering Accumulator-assisted with twin cylinders provide constant rate steering. Emergency power steering automatically supplied by accumulator (meets SAEJ1511)

Turning circle diameter (SAE) 28.0 m 92 ft

Reservoir 731 L 193 U.S. gal

Filtration In-line replaceable elements

Suction Single, full-flow, 100 mesh

Hoist and steering Dual, full-flow, in-line, high-pressure

Brake component cabinet Above-deck, easily accessible with diagnostic test connector.

Hoist Two 3-stage dual-acting outboard cylinders, internal cushion valve.

Hoist times

Power-up loaded 21 sec

Power-down 15 sec

Float-down empty 22 sec

Pumps

Hoist Gear-type pump with output of 513 lpm 135.6 gpm @ 1900 rpm and 17240 kPa 2500 psi

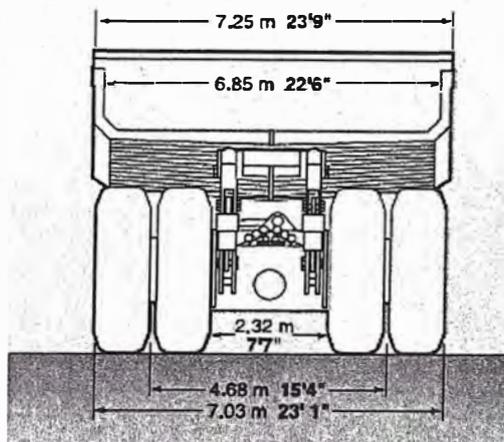
Steering and brake Vane-type pump with output of 235 lpm 62.0 gpm @ 1900 rpm and 18960 kPa 2,750 psi

System relief pressures

Hoist 17240 kPa 2,500 psi

Steering and brake 27580 kPa 4,000 psi

Quick disconnects standard for powering disabled truck and for system diagnostics.



ELECTRICAL SYSTEM

4 x 8D 1450 CCA, 12 volt batteries, in series/parallel, bumper-mounted with disconnect switch.

Alternator 24-volt, 260 amp

Lighting 24-volt

Cranking motors two/24-volt



WEIGHT DISTRIBUTION

Empty vehicle weight (wet, 100% fuel, no options, std Komatsu body, std tires)

Front axle 66840 kg 147,357 lb 48%

Rear axle 73752 kg 162,593 lb 52%

Total EVW 140592 kg 309,950 lb

Gross vehicle weight (Nominal)

Front axle 107026 kg 235,950 lb 33%

Rear axle 217296 kg 479,050 lb 67%

Total 324322 kg 715,000 lb

Nominal payload* 183730 kg 405,050 lb

203 U.S. ton

*Nominal payload is defined by Komatsu America Corporation's payload policy documentation. In general, the nominal payload must be adjusted for the specific vehicle configuration and site application. The figures above are provided for basic product description purposes. Please contact your Komatsu distributor for specific application requirements.



STANDARD EQUIPMENT

- 7-step (ERR) Extended Range Retarding
- Air cleaners, Donaldson SRG
- Alternator (24 volt/260A)
- Auto lubrication system
- Batteries (4 x 8D, 1450 CCA 12 volt)
- Battery charging cable and socket
- Body left-side canopy protector
- Body over center device
- Brakes: Front wheel speed disc; rear - dual disc armature speed
- Electric start
- Fast-Fill Fuel System (in tank, right side)
- FLOC - fast lube oil change
- Filters, high pressure hydraulic
- Gate valves on hydraulic tank
- Komatsu control cabinet
- Komatsu Payload Weighing System—PLM III
- Mirrors, LH flat and RH rectangular convex
- Mud flaps
- Muffled exhaust, deck-mounted
- On board load box
- Power supply, 24 volt and 12 volt DC
- Quick disconnects (hoist, steering)
- Removable power module unit (radiator, engine, alternator, blower)
- Rock ejectors
- Radiator sight gauge
- Retard speed control
- Retard grids, continuous rated, 14 element
- Reverse retarding
- Thermostatic fan clutch
- Two-speed overspeed retarding
- Vari-volt alternator control
- Vertical ladders

SAFETY:

- All hydraulic service brakes with emergency auto apply
- Battery disconnect switch
- Body up cable
- Brake lock and drive system interlock
- Circuit breakers, 24 volt
- Dynamic retarding with continuous rated grids

- Engine shutdown at ground level
- Exhaust blankets
- Hoist propulsion interlock
- Horns (back-up, front - electric)
- Integral roll-over protection (ROPS)
- Maintenance and power lockout
- Parking brakes with warning light and speed application protection
- Power steering w/auto emergency steering
- Protective deck handrails
- Pump driveline protector
- Radiator fan guard
- Seat belts 76 mm 3" retractable
- Skid-resistant coating on walkways

STANDARD HIGH VISIBILITY DELUXE CAB:

- Air cleaner vacuum gauges
- Air conditioner HFC 134A
- Alarm System warning lights (red)
 - Accumulator pre-charge
 - Coolant low level w/alarm
 - Coolant high temperature w/alarm
 - Electric drive system cooling blower w/alarm
 - Electric system fault w/alarm
 - Hydraulic oil level w/alarm
 - Hydraulic oil temperature w/alarm
 - Low engine oil pressure w/alarm
 - Low brake pressure w/alarm
 - Motorized wheel temperature stop engine w/alarm
 - Steering pressure w/alarm
- AM/FM cassette radio, XM capable
- Engine monitoring system
- Digital tachometer and speedometer
- Dome light
- Double door seals
- Engine hourmeter, oil pressure gauge, water temperature gauge
- Engine shutdown w/5 minute delay timer
- Floor mat
- Fuel gauge in cab and on tank
- Gauges (w/back light)
- Headlight switch
- Heater and defroster (heavy-duty)
- Heater switch

- High beam selector and indicator
- Indicator lights (amber):
 - 5-minute idler timer
 - Auto lube alarm
 - Check engine w/alarm
 - Circuit breaker tripped
 - Dynamic retarding
 - Dump body up
 - Hydraulic oil filter
 - Low fuel level
 - Manual back-up lights
 - Park brakes applied
 - Retard speed control
 - Service brakes
 - Starter circuit
- Horn (center of steering wheel)
- Independent brake/retarder pedals
- RS232 port - Statex III-PLM III
- Insulation (Max R-Value)
- Oil pressure gauge
- Operator seat, adjustable w/air suspension, lumbar support and arm rests
- Panel lighting (adjustable)
- Passenger seat
- Power windows
- Pressurized cab air system
- Starter key switch
- Sunvisor (adjustable)
- Tilt and telescoping steering wheel
- Voltmeter (battery output)
- Wheel brake lock w/drive system interlock
- Windshield wipers, dual, washer (electric)
- Windshield (tinted safety plate)

LIGHTING:

- Back-up lights-rear mount (2)
- Brake and retard lights on top of cab
- Clearance lights (amber-front; red-rear)
- Control cabinet service light
- Dynamic retarding, rear (2)
- Headlights - (4) halogen
- Ladder lights
- Manual back-up light, switch and indicator
- Service light in rear axle
- Stop and tall lights (2)
- Turn signals
- Under-hood service lights



OPTIONAL EQUIPMENT

(Optional equipment may change operating weight).

- Additional high-mounted headlights
- Air cleaner evacuators
- Arctic protection package (suspensions, antifreeze/lube below -40° C)
- Back-up lights, deck mounted
- Body liners*
- Exhaust-heated body
- Filtered air inlet system
- Fire extinguisher 9 kg 20 lb
- Fog lights—Halogen (2) lower grille
- Hot start (engine oil, coolant, hydraulic tank)
- Hubometer (miles or kilometers)
- Modular Mining System (MMS) ready
- Motorized wheel ratio's (higher/lower)
- Mufflers between frame rails
- Pressure fueling, LH remote*
- Radiator shutters
- Trolley assist package
- Service Center—RH
- Special language decals

*Available factory-installed or non-installed. All other options and accessories listed are available factory installed only.

AESS564-03

©2005 Komatsu Printed in USA

DK11(1.5M) C

11/05 (EV-1)

KOMATSU®

Ángulos de inclinación de pendiente positiva (%)							
Nro.	Incline Angle	Fuel Rail	Fuel Consumption (GI)	Nro.	Incline Angle	Fuel Rail	Fuel Consumption (GI)
1	1.55	26.05	0.007338	29	7.06	96.12	0.030172
2	2.09	15.90	0.005537	30	5.64	97.59	0.003822
3	3.73	41.96	0.016629	31	5.37	96.48	0.032184
4	0.03	4.73	0.001204	32	6.52	93.81	0.020924
5	0.85	3.63	0.000933	33	5.42	96.33	0.000241
6	0.30	3.41	0.000821	34	6.46	96.31	0.023189
7	0.46	3.84	0.000974	35	7.12	96.91	0.024422
8	0.14	3.84	0.001527	36	4.77	98.32	0.00224
9	0.08	3.84	0.002091	37	3.51	95.56	0.051531
10	0.19	3.84	0.001436	38	5.20	95.85	0.02975
11	0.25	3.14	0.001449	39	7.44	97.30	0.004759
12	0.19	3.13	0.001189	40	4.55	95.39	0.003682
13	0.19	3.84	0.000058	41	4.77	93.81	0.028085
14	0.41	3.83	0.000066	42	5.42	96.15	0.000828
15	0.25	3.84	0.001244	43	2.15	74.82	0.016281
16	0.25	4.54	0.001347	44	1.93	17.22	0.000497
17	1.93	7.48	0.002171	45	6.62	93.80	0.030427
18	3.24	54.04	0.001117	46	7.77	96.12	0.030921
19	0.68	28.02	0.0165	47	6.79	96.27	0.004647
20	0.30	25.72	0.006441	48	4.66	97.77	0.058259
21	3.84	52.16	0.024134	49	0.57	4.42	0.001899
22	5.81	96.31	0.017914	50	3.62	26.17	0.007863
23	6.08	94.50	0.025644	51	3.02	12.85	0.003855
24	6.41	96.46	0.000295	52	1.77	3.21	0.000794
25	5.75	95.55	0.046839	53	2.37	3.84	0.000014
26	7.50	96.43	0.028222	54	3.35	5.16	0.000461
27	6.52	93.33	0.001842	55	0.74	12.34	0.002784
28	6.62	96.11	0.05604				