



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO

MASTER INTERUNIVERSITARIO EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS

TRABAJO FIN DE MASTER

ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DE MAQUINARIA EN MINAS DE MINERAL DE HIERRO A CIELO ABIERTO

Autor: Claudio Rubio Rodríguez

Director: Gemma Marta Martínez Huerta

Codirector:

Fecha: Julio 2014



Índice de Contenidos

1	INTRODUCCIÓN.....	10
2	OBJETO y ALCANCE.....	12
3	MINERÍA A CIELO ABIERTO	13
3.1	Introducción	13
3.2	Yacimientos de mineral de hierro a cielo abierto.....	14
3.3	Operaciones básicas en minería a cielo abierto.....	17
4	ESTADO DEL ARTE	21
4.1	Evolución de la maquinaria	21
4.2	Evolución en los sistemas de gestión	24
5	MAQUINARIA MINERA	27
5.1	Criterios de selección	27
5.2	Costes operativos.....	29
5.3	Tiempos de operación	29
5.4	Modelo de planificación de maquinaria.....	30
5.5	Flota de vehículos mineros	30
5.5.1	Cargadoras	31
5.5.1.1	Palas.....	31
5.5.1.2	Excavadoras de cables.....	32
5.5.1.3	Excavadoras hidráulicas.....	35
5.5.1.4	Comparativa entre cargadoras.....	37
5.5.2	Volquetes.....	39
5.5.3	Maquinaria auxiliar.....	42
6	METODOLOGIA DE TRABAJO.....	45
6.1	Obtención de datos.....	45
6.2	Creación de la base de datos de explotaciones	48
6.3	Creación de la base de datos de maquinaria comercializada	50
6.4	Análisis de los Sistemas de gestión.	53
7	RESULTADOS	55
7.1	Resultados sobre el análisis de las bases de datos creadas	55
7.1.1	Relación entre número de vehículos y producción	57
7.1.2	Relación entre la capacidad real de carga y transporte de la flota y la producción	66
7.1.3	Áreas ocupadas.....	74
7.2	Resultados sobre el análisis de los sistemas de gestión.....	75
7.2.1	Criterios de implementación y mejoras propuestas	79
7.2.1.1	Mejoras del Hardware.....	79
7.2.1.2	Mejoras del Software.....	80

7.2.1.3	Mejoras de la red de comunicación.....	80
7.2.2	Beneficios y desventajas de los sistemas de gestión	26
8	CONCLUSIONES	78
9	REFERENCIAS	83
10	ANEXO I. FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS.....	85
11	ANEXO II. PRINCIPALES FABRICANTES MUNDIALES DE MAQUINARIA MINERA	87
12	ANEXO III: CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS VEHÍCULOS.....	90
12.1	Excavadora de Ruedas	90
12.2	Excavadora de Cables	91
12.3	Pala Cargadora	93
12.4	Volquetes	94
12.5	Bulldozers	96
12.6	Motoniveladoras	97
13	ANEXO IV: EJEMPLO DE BASE DE DATOS COMERCIALIZADAS	99
14	ANEXO V: EJEMPLO DE PLANIFICACIÓN DE MAQUINARIA EN INSTALACIONES EN PROYECTO	102

Índice de Figuras

Figura 1. Sección típica de una corta con diferentes niveles. [SIM14]	16
Figura 2. Secuencia de operaciones en minas de mineral de hierro a cielo abierto. [SIM14].....	17
Figura 3. Operaciones básicas en minería a cielo abierto. [IGM91].....	18
Figura 4. Distintas combinaciones posibles de equipos mineros. [IGM91]	20
Figura 5. Pala y vagón de carga de un ferrocarril minero en una mina de mineral de hierro en los Urales (Rusia) hacia el año 1.940. [AHM14]	22
Figura 6. Camión de agua de la marca Caterpillar CAT 769 (año 1.966). [MAC14]	22
Figura 7. Camión Dúmpfer de la marca Belaz, modelo 75710, el de mayor capacidad de carga del mercado (450 t). [BEL14]	23
Figura 8. Criterios de selección de los equipos, según las características de los mismos [IGM91]	28
Figura 9. Excavadora <i>Caterpillar</i> 6015 con la configuración del cazo frontal. [CAT14b]	35
Figura 10. Excavadora <i>Caterpillar</i> 6015 con la configuración retro del cazo. [CAT14b].....	36
Figura 11. Características principales de las excavadoras hidráulicas. [IGM91]	36
Figura 12. Ejemplo del código empleado para un vehículo.	50
Figura 13. Número medio de vehículos para una producción media de 31 Mtpa.....	55
Figura 14. Modelo de volquete Komatsu 830E, el más empleado en las explotaciones analizadas. [KOM14a]	59
Figura 15. Número de paladas necesarias para excavadoras de cables (marca <i>P&H</i>). [P&H14]	63
Figura 16. Relación de paladas de carga entre volquetes y cargadoras de la marca Komatsu. [KOM14b]	64
Figura 17. Características de los principales paquetes de gestión de flotas presentes en el mercado.....	77
Figura 18. Modelo conceptual de volquete de la empresa EFF Mining Trucks [ETF14]	81

Figura 19. Modelo conceptual de sistema autocargante para volquete de la empresa EFF Mining Trucks [ETF14].....	81
Figura 20. Esquema de simulación de desgaste de neumáticos para modelo conceptual de volquete de la empresa EFF Mining Trucks [ETF14].....	82
Figura 21. Sección típica de una cargadora de ruedas, con las medidas geométricas. [LIE14].....	90
Figura 22. Dimensiones características de una excavadora de cable. [CAT14a]	91
Figura 23. Dimensiones características de una excavadora hidráulica. [CAT14b]	93
Figura 24. Dimensiones características de un volquete convencional. [LIE14] ..	94
Figura 25. Dimensiones características de un bulldozer de orugas. [CAT14c] ...	96
Figura 26. Dimensiones características de una motoniveladora. [CAT14d]	97
Figura 27. Tabla de número de equipos y precios de la información ofrecida por Parker Bay. [PAR14].....	100

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Relación entre producción y maquinaria empleada en la explotación.....	57
Gráfico 2. Relación entre el número de volquetes y la producción anual.	58
Gráfico 3. Porcentaje de uso de cada categoría de volquete.....	59
Gráfico 4. Relación entre el número de cargadoras y la producción anual.....	60
Gráfico 5. Porcentaje de uso de cada categoría de cargadora.....	61
Gráfico 6. Relación entre el número de volquetes y el número de cargadoras.	62
Gráfico 7. Gráfico resumen de producción frente al número de cargadoras y volquetes.....	65
Gráfico 8. Relación entre el número de perforadoras y la producción anual. .	66
Gráfico 9. Gráfico Producción vs. Capacidad de la flota.....	72
Gráfico 10. Gráfico capacidad de volquetes frente a capacidad de cargadoras.	73

Índice de Tablas

Tabla 1. Características generales de las excavadoras hidráulicas. [IGM91]....	34
Tabla 2. Comparativa Excavadoras Hidráulicas vs. Excavadoras de Cables. [IGM91]	38
Tabla 3. Comparativa Excavadoras hidráulicas vs. Palas Cargadoras. [IGM91]39	
Tabla 4. Aplicaciones de los distintos tipos de volquetes. [IGM91]	41
Tabla 5. Características de la base de datos ofertada por <i>Parker Bay</i> . [PAR14]	46
Tabla 6. Número de minas por país y mineral en la base de datos de <i>Parker Bay</i> . [PAR14]	47
Tabla 7. Clasificación propuesta para los distintos tipos de maquinaria.	48
Tabla 8. Códigos usados para identificar el tipo de vehículo y la empresa fabricante del mismo.	50
Tabla 9. Códigos usados para definir la categoría del vehículo según la característica seleccionada.....	51
Tabla 10. Tabla resumen de la maquinaria analizada.....	56
Tabla 11. Ejemplo de volquete y cargadoras asociadas, con el número de paladas de llenado. [KOM14b]	64
Tabla 12. Cuadro resumen de las variables específicas obtenidas.....	68
Tabla 13. Cuadro resumen de los volquetes empleados en las minas analizadas.....	69
Tabla 14. Cuadro resumen de las cargadoras empleadas en las minas analizadas.....	71
Tabla 15. Minas y áreas totales. [INF14]	74
Tabla 16. Áreas de las instalaciones del proyecto <i>Simandou</i> en Guinea. [SIM14]	75
Tabla 17. Principales fabricantes a nivel mundial.....	88
Tabla 18. Fabricantes de maquinaria minera consultadas.....	89
Tabla 19. Nombre de las dimensiones estándar de una pala de ruedas. [LIE14]	91

Tabla 20. Nombre de las dimensiones estándar de una excavadora de cables. [CAT114b]	92
Tabla 21. Nombre de las dimensiones estándar de una excavadora de hidráulica. [CAT114c]	93
Tabla 22. Nombre de las dimensiones estándar de un volquete convencional. [LIE14]	95
Tabla 23. Nombre de las dimensiones estándar de un bulldozer de orugas. [CAT14c]	96
Tabla 24. Nombre de las dimensiones características de una motoniveladora. [CAT14d]	98
Tabla 25. Ejemplo de base de datos suministrada por la empresa Parker Bay Company.	101
Tabla 26. Ejemplo de planificación de equipos empleados a lo largo de la vida de la mina.	103
Tabla 27. Ejemplo de reemplazamiento de equipos a lo largo de la vida de la mina.	104

1 INTRODUCCIÓN

Desde su origen, la humanidad ha empleado los recursos minerales para la construcción (armas, edificaciones, viales, mobiliario, herramientas, ornamentos, etc.). El propio tránsito histórico entre la prehistoria y lo que se considera Historia de la humanidad se basa en el cambio evolutivo que tuvo lugar en la Edad de Piedra, momento en el que los homínidos empezaron a aprovechar los recursos mineros que tenían a su disposición sobre la superficie terrestre. La evolución del homo sapiens y la comprensión de cómo generar fuego permitieron el surgimiento de los primeros metales, en este caso el cobre. La aparición de la primera aleación de la historia, el bronce (aleación de cobre y estaño) y posteriormente de las primeras fundiciones de hierro permitieron a los humanos generar las primeras herramientas complejas que facilitaron la vida y permitieron el asentamiento de las primeras colonias.

Aunque inicialmente sólo los materiales que se encontraban accesibles sobre la superficie del terreno pudieron ser usados con estos fines; la modificación en la manera de extraer los minerales sobre la base del ingenio y el conocimiento humano permitió la creación de las primeras canteras. Durante la edad antigua el ejemplo más interesante del ingenio humano para la extracción de los recursos mineral puede verse en el yacimiento de oro de Las Médulas, cerca de Ponferrada (León-España). Gayo Plinio Segundo (Plinio el Viejo) relató en su libro *Naturalis Historia* la combinación de métodos a cielo abierto y subterráneos utilizados por los romanos para la obtención de oro en el yacimiento de Las Médulas. La explotación se llevó a cabo durante los siglos I y II d.C. y se calcula que se pudieron extraer unas 1500 t de oro. [ORE99]

Las explotaciones mineras apenas evolucionaron durante la edad media. Hubo que esperar hasta el siglo XVI para encontrar evoluciones significativas de la minería, compendiadas por Georgius Agricola en su libro *De Re Metalica* publicado en 1556. En esta obra, Agricola expuso diferentes conceptos referidos a tareas de exploración, extracción, tratamiento de minerales y metalurgia conocidos hasta ese momento y los que fueron utilizados durante siglos.

Las explotaciones mineras han atravesado un largo camino de perfeccionamiento, y de acuerdo a ello también el desarrollo de la maquinaria para la industria minera estuvo sometido a las mismas leyes del progreso técnico, generales por otro lado para todas las ramas de la producción, teniendo además ciertas características propias, entre las que se pueden destacar el tamaño, el coste y el consumo de combustible.

Un salto de relativa importancia en la actividad minera se dio a comienzos del siglo XX, época en la que el desarrollo de nuevas tecnologías mecánicas y de tratamiento de minerales; permitió el aprovechamiento de minerales con leyes relativamente bajas, cuyo uso era antes imposible, consiguiendo aumentar de manera notable las producciones.

El diseño de las explotaciones mineras iniciadas a partir de los años 70 se basó en un importante aumento de las dimensiones de los equipos y por la utilización casi en exclusiva de motores diésel, acoplados a transmisiones mecánicas. El desarrollo de transmisiones eléctricas para vehículos de gran tonelaje se hizo común entre los fabricantes a mediados de los 80, disponiendo actualmente en el mercado de modelos de ambos tipos.

Las unidades actuales incluyen sistemas de guiado vía satélite (GPS), sistemas de alarmas sonoras y visuales, automatizaciones de numerosas funciones, mejoras ergonómicas, pantallas de visualización de datos, etc., además de ir montados con motores mucho más eficientes, e incluso se plantean soluciones de diseño futuristas, basadas en los modelos actuales.

En la minería a cielo abierto intervienen gran cantidad de parámetros, que condicionan la rentabilidad económica de las mismas, de modo que disponer de un mayor conocimiento de estos parámetros es vital para poder desarrollar proyectos globales de explotación y gestión de la mina.

Este trabajo analiza una importante cantidad de parámetros relativos a explotaciones a cielo abierto y maquinaria empleada. Algunos de los parámetros analizados son las reservas de mineral, los niveles de extracción, tipo de maquinaria empleada, tiempos de operación, el mantenimiento de equipos, los recambios empleados o los consumos energéticos.

En la fase de análisis del proyecto se analizaron numerosas explotaciones de mineral de hierro de las principales empresas de minería mundiales, así como los principales fabricantes de vehículos y maquinaria minera y los principales suministradores de repuestos.

2 OBJETO y ALCANCE

Los objetivos principales del trabajo son:

- Recopilar datos acerca de los procesos de explotación en minas de mineral de hierro, como pueden ser superficies ocupadas, producciones anuales o maquinaria empleada, y analizar las posibles relaciones entre ellas, tanto de minas que se encuentran en fase de explotación como las que se encuentran en fase de proyecto, próximas a ser explotadas.
- Analizar las características que presentan las sistemas de gestión de los equipamientos mineros que se encuentran en el mercado, averiguando los puntos débiles que presentan y proponiendo soluciones que los implementen.

Como objetivos secundarios del trabajo pueden señalarse:

- A partir de los datos recabados durante la fase de análisis se creará una base de datos general de explotaciones, y otra que complemente ésta, que incluirá los modelos de vehículos que los principales fabricantes comercializan, señalando las principales características técnicas de los mismos.
- Generar una clasificación de los equipos en categorías numéricas que permitan agrupar los distintos vehículos de la base de datos en grupo representativos según la característica más representativa de cada vehículo.

Para realizar este estudio, se han utilizado exclusivamente datos de explotaciones de mineral de hierro a cielo abierto, con un ámbito geográfico mundial, obtenidos durante el primer semestre de 2014.

Habrá que tener en cuenta que la evolución en el diseño de los equipos, en el diseño de métodos de explotación, y los precios en la materia prima a extraer, hacen que la necesidad de disponer de los datos actualizados sea crucial para proporcionar análisis certeros, con el menor grado de error posible.

3 MINERÍA A CIELO ABIERTO

3.1 Introducción

La Real Academia Española define mineral como una sustancia inorgánica que se halla en la superficie o en las diversas capas de la corteza del globo, y principalmente aquella cuya explotación ofrece interés. [RAE14]

El concepto yacimiento hace alusión a un lugar geográfico donde se halla naturalmente un mineral en concentraciones necesarias para poder extraerlo con rentabilidad económica.

Si se clasifican los yacimientos según la zona de la corteza terrestre donde se encuentran tan sólo existirían dos tipos:

- Yacimientos a cielo abierto o superficiales.
- Yacimientos subterráneos.

La minería a cielo abierto es el conjunto de técnicas ingenieriles que se emplean para la explotación de los yacimientos a cielo abierto. Se caracteriza por mover grandes volúmenes de material con respecto de la minería subterránea, lo que implica una necesidad mayor de maquinaria, con el consiguiente coste de capital y gasto energético.

La disposición del yacimiento y el recubrimiento y las intercalaciones de estéril determinan el ratio, que es la proporción entre el estéril que hay que excavar con respecto al mineral útil que se va a explotar, un valor que puede variar muchísimo en distintas zonas de un mismo yacimiento, y es quien condiciona todos los aspectos operativos y económicos de una explotación.

Se denomina método minero al proceso iterativo, tanto desde el punto de vista temporal como espacial, que permite llevar a cabo la explotación minera de un yacimiento por medio de un conjunto de sistemas, procesos y maquinaria que operan de forma ordenada, repetitiva y rutinaria. [IGM91]

Los parámetros que influyen en la decisión del método minero de una explotación son:

- Profundidad del yacimiento.
- Forma de la mineralización.
- Buzamiento de las capas.

El parámetro que controla la rentabilidad económica de un yacimiento es la ley del mineral. Este concepto marca el contenido de un metal o mineral por unidad de peso extraído, es decir mide la cantidad de materia útil que obtenemos con respecto al total que tenemos que extraer.

La mena, roca que contiene el mineral de interés y que se envía a la planta de tratamiento, debe tener una ley que permita recuperar los costes de extracción y tratamiento y obtener un beneficio económico.

Durante la fase de exploración se deben realizar los estudios que permitan cubicar el tonelaje total y la ley media. En esta fase además se deben realizar diversos estudios de mecánica de rocas para programar el método de extracción más adecuado.

Una vez determinado el método minero adecuado para la explotación se debe definir el sistema operativo necesario. Se entiende por sistema operativo al conjunto interrelacionado de técnicas y procesos que llevan a cabo la extracción del mineral en forma repetitiva, rutinaria e iterativa. En el sistema operativo debe definirse la maquinaria de arranque, la de carga y la de transporte. [IGM91]

Existen diferentes sistemas de operación pero los más habituales son los siguientes:

- a) Sistema totalmente discontinuo
- b) Sistema mixto con trituradora estacionaria dentro de la explotación
- c) Sistema mixto con trituradora móvil dentro de la explotación
- d) Sistema continuo con trituradora móvil y arranque discontinuo
- e) Sistema con transporte mixto y arranque continuo
- f) Sistema de arranque y transporte continuo

3.2 Yacimientos de mineral de hierro a cielo abierto

De acuerdo a lo comentado en el Capítulo 3.1, existen una serie de parámetros que definen las características esenciales del diseño de una explotación a cielo abierto.

El primer parámetro importante es la forma en que se encuentra la mineralización, ya que la forma de explotación cambia notablemente si se trata de un yacimiento filoniano o es de tipo masivo. En general los asociados a la minería de hierro son los masivos. Los yacimientos masivos permiten una explotación más superficial sin la necesidad de profundizar tanto en busca de las vetas de mineral, pero presentar la necesidad de extraer más toneladas de estéril, ya que se encuentra en mayor proporción.

El segundo parámetro en importancia a la hora de clasificar los yacimientos sería el buzamiento de las capas. El buzamiento es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente del estrato o filón sobre el plano horizontal, es decir el ángulo que forma el plano del estrato con respecto a un plano horizontal. En este caso el valor de ese ángulo puede ser constante o variable a lo largo del yacimiento, lo que provoca que sea necesario modificar los sistemas de explotación.

Por tanto en la fase de exploración y cubicación del yacimiento deben quedar perfectamente definidos tanto la geometría del yacimiento como los buzamientos y espesores de las capas, para que se pueda definir el método de explotación más adecuado, el sistema o sistemas que se van a desarrollar con ese método y el número de elementos de maquinaria que son necesarios.

Los parámetros que marcan la rentabilidad económica del yacimiento, tanto la ley media como el tonelaje, depende sobre todo el tipo de yacimiento. A parte de la clasificación por tipo de mineral extraído conviene establecer otros parámetros que permitan clasificar los yacimientos en función de criterios más operativos a la hora de planificar la explotación del mismo. Una vez obtenida una clasificación correcta del yacimiento el siguiente paso en el proceso es establecer el método minero y el sistema operativo que la explotación necesita.

En minería a cielo abierto suelen considerarse como métodos mineros los siguientes:

- Cortas
- Terrazas
- Descubiertas
- Contorno
- Canteras
- Graveras
- Especiales o mixtos

De todos los métodos mineros que se utilizan en la actualidad, el empleado casi exclusivamente en la minera de hierro, es la corta minera.

Las cortas mineras son explotaciones tridimensionales, típicas de la minería metálica, cuyas características principales son:

- Son yacimientos masivos.
- Se alcanzan profundidades importantes (hasta 300 m en Fe).
- Las capas son inclinadas.
- Los minerales explotados tienen baja ley.
- La explotación se realiza por banqueo descendente.
- Se trazan secciones verticales troncocónicas con un gran número de bancos.
- Las rocas circundantes son duras y abrasivas, por lo que se requiere perforación y voladura con explosivos como técnica de arranque.
- La carga se realiza con grandes excavadoras (o palas) y el transporte mediante dúmpers.
- Se extraen una alta cantidad de estériles y el relleno del hueco con estériles de la mina es bastante complicado.
- Presenta problemas importantes de estabilidad de taludes.

La explotación se hace por niveles con varios tajos simultáneos, pero con cierto desfase entre distintos niveles para disponer de unas plataformas de trabajo mínimas y optimizar el rendimiento de los equipos. Las pistas deben construirse y modificarse según avanza la explotación. La vida media se sitúa entre los 15 y los 20 años, pero hay explotaciones que llevan más de un siglo en funcionamiento.

El desarrollo de este tipo de explotaciones se ha basado en los sistemas de explotación discontinuos, ya que en general, en las cortas, los sistemas continuos no se pueden emplear debido a que la geometría y la topografía

de la explotación impide la colocación de trituradoras móviles y de cintas transportadoras dentro del frente y la dureza de las rocas no permiten su arranque mediante medios mecánicos siendo necesario el uso de explosivos.

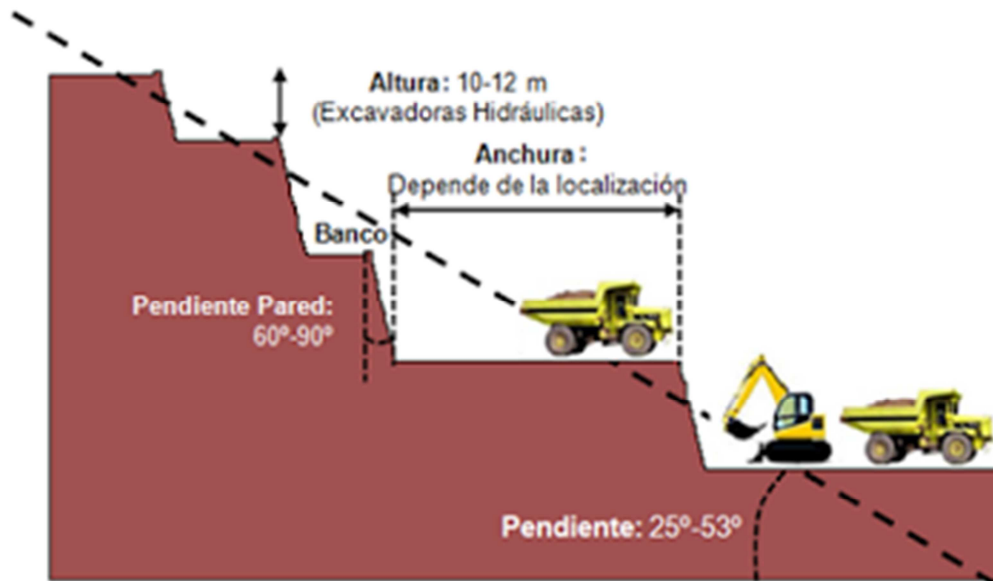


Figura 1. Sección típica de una corta con diferentes niveles. [SIM14]

La determinación del talud final e incluso de los parciales en algunas zonas de la mina, constituyen el mayor problema que debe resolverse en el diseño de la explotación. Normalmente los taludes de pared tienen pendientes casi verticales (60°-90°) y el talud final tiene una pendiente de entre 23° y 53°. [SIM13a]

El diseño de una corta consiste básicamente en el diseño del hueco, los bancos y las rampas. Estos tres factores son los que determinan el tamaño de la maquinaria que se puede usar, pero el que más influye en el diseño es el banco. Los criterios de diseño de los bancos más importantes son:

- **Altura:** 10-15 m para excavadoras y menos de 10 m para las palas.
- **Anchura:** Normalmente varía entre 3 y 5 veces la altura. (Zona de voladura, zona de carga, zona de maniobra, zona de transporte y zona de seguridad)
- **Número de bancos:** Lo normal son 4 simultáneos (1-Investigación, 2-Apertura, 3-Producción plena, 4-Finalizándose)
- **Longitud:** Debe ser directamente proporcional a la producción e inversamente proporcional a la altura.
- **Rampa:** Depende del tamaño de los volquetes y de la anchura del banco. Normalmente está entre 3 y 5 veces la altura, como en el caso del banco. La pendiente no debe exceder el límite de ascenso de la maquinaria.

En cuanto a la secuencia de operaciones de explotación en una corta de mineral de hierro, se pueden señalar las siguientes etapas:

- 1) Perforación

- 2) Voladura con explosivo
- 3) Carga con cargadora móvil (excavadora normalmente)
- 4) Transporte con volquete o camión articulado
- 5) Procesado (normalmente trituración y concentración)
- 6) Almacenamiento y/o apilado
- 7) Transporte vía ferrocarril y/o barco granelero hasta destino

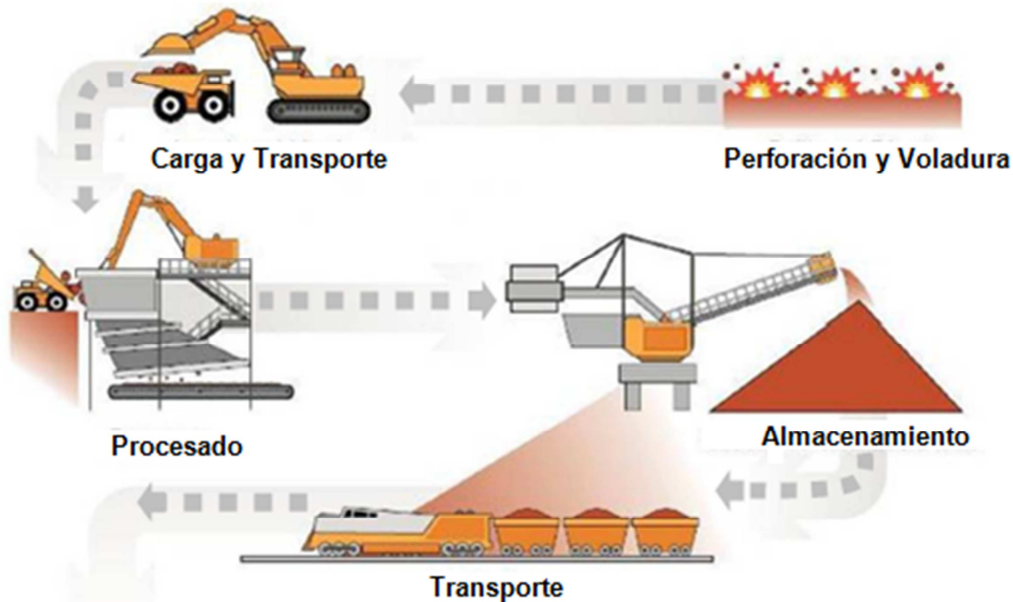


Figura 2. Secuencia de operaciones en minas de mineral de hierro a cielo abierto. [SIM14]

3.3 Operaciones básicas en minería a cielo abierto

El ciclo de explotación se define como la sucesión de operaciones básicas que se aplican en la explotación de un mineral. Según el tipo de explotación que se esté llevando a cabo aparecerán unas operaciones u otras, dependiendo de las necesidades del proceso de explotación.

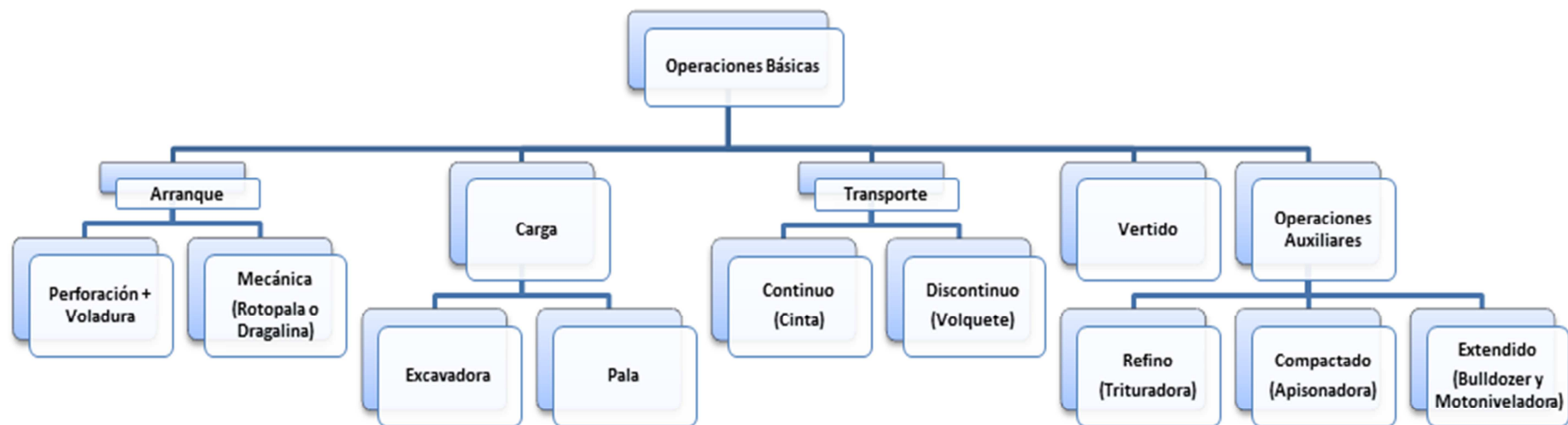


Figura 3. Operaciones básicas en minería a cielo abierto. [IGM91]

La elección de los equipos necesarios se realiza después de definir el método minero, el sistema operativo y las operaciones básicas necesarias para la explotación. El proceso productivo se define completamente al conocer todos estos parámetros.

Las combinaciones que pueden hacerse entre equipos son muy numerosas pues pueden ser varias máquinas que, con diferente diseño y forma de funcionamiento, realicen la misma operación. La tendencia actual es crear sistemas continuos que permiten abaratar costes, si bien no todas las explotaciones permiten sistemas continuos. En general las cortas mineras de gran profundidad no permiten sistemas continuos. Algunas combinaciones posibles de equipos mineros pueden verse en la Figura 4. [IGM91]

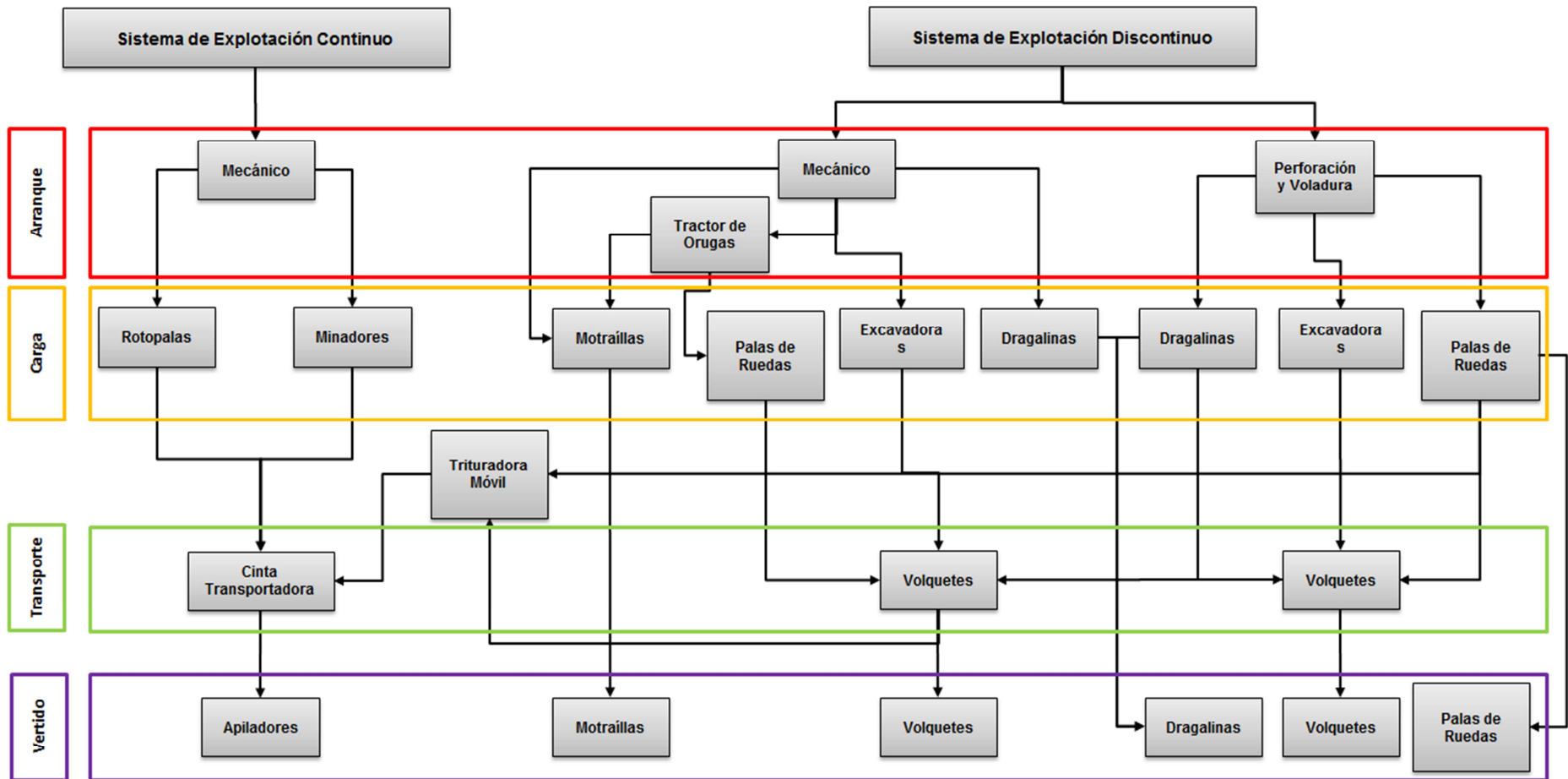


Figura 4. Distintas combinaciones posibles de equipos mineros. [IGM91]

4 ESTADO DEL ARTE

4.1 Evolución de la maquinaria

La maquinaria minera ha atravesado un largo camino de perfeccionamiento, cuyas etapas se relacionan fundamentalmente con el uso de distintos combustibles. Este proceso se ha basado históricamente en una transferencia gradual a las máquinas de las funciones físicas e intelectuales que realizaba el hombre. El desarrollo de la maquinaria para la industria minera estuvo sometido a las mismas leyes del progreso técnico material, generales para todas las ramas de la producción, pero además tuvo ciertas características propias, entre las que se pueden destacar el tamaño, el coste y el consumo de combustible. Este desarrollo fue relativamente lento hasta la revolución industrial del siglo XVIII, donde el ritmo del desarrollo tecnológico de la maquinaria empezó a acelerarse desembocando en el estado actual.

Desde la etapa de la revolución industrial la necesidad de mineral para la industria se ha incrementado exponencialmente, sobre todo combustibles fósiles como el carbón y el petróleo, y minerales metálicos. El desarrollo de la máquina de vapor y de las estructuras metálicas en construcción provocó una fuerte demanda de carbón y minerales de hierro que a su vez implicó un desarrollo de la industria minera. Hasta el siglo XIX, las explotaciones mineras se caracterizaban, salvo contadas excepciones, por ser minerías de pequeño tamaño en que todo el trabajo era realizado por personas y animales de carga. La necesidad de aumentar la producción para satisfacer la demanda creciente originó diversas invenciones que facilitaron el trabajo de extracción. La posibilidad de transportar el mineral extraído mediante ferrocarril a las plantas metalúrgicas fue uno de los pasos más importante en el desarrollo de la minería.

Otro salto de relativa importancia en la actividad minera se dio a comienzos del siglo XX con el desarrollo de nuevas tecnologías mecánicas y de tratamiento de minerales que posibilitaron el aprovechamiento de minerales con leyes relativamente bajas, cuyo uso era antes imposible, consiguiendo aumentar de manera notable las producciones. La necesidad de mecanización de los procesos para satisfacer las crecientes demandas así como el desarrollo de motores diésel y eléctricos impulsaron la aparición de los primeros elementos de maquinaria autopropulsada a principios del siglo XX.

El desarrollo tecnológico que las dos guerras mundiales supusieron para la maquinaria se vio reflejado también en el campo de la minería. Así por ejemplo la compañía norteamericana Galion Buggy Co. desarrolló hacia 1.920 el considerado primer volquete, basándose en las innovaciones que la empresa había desarrollado para el ejército estadounidense durante la 1ª Guerra Mundial. Estos modelos tenían un chasis en forma de T y motores Ford. [WOO01]



Figura 5. Pala y vagón de carga de un ferrocarril minero en una mina de mineral de hierro en los Urales (Rusia) hacia el año 1.940. [AHM14]

La evolución de la maquinaria tras la 2ª guerra mundial tendió a la mecanización de todas las labores mineras, y al aumento del tamaño de los elementos de la maquinaria. El diseño de los equipos evolucionó, y se perfeccionó hasta adoptar las formas que hoy día se consideran clásicas, como pueden ser los dúmpers o los bulldozers, elementos que habiendo sido muy desarrollados desde sus inicios mantienen en esencia la misma forma que los primeros diseños.



Figura 6. Camión de agua de la marca Caterpillar CAT 769 (año 1.966). [MAC14]

Posteriormente, con la crisis del petróleo a comienzos de los años 70, durante la cual se produjo una elevación desproporcionada de los precios de los

derivados petrolíferos, las empresas explotadoras se vieron forzadas a considerar sistemas continuos de extracción, basados fundamentalmente en el transporte por cintas, debido a las ventajas económicas que ofrecía la energía eléctrica generada con otros combustibles más baratos, como el carbón.

La evolución en el diseño de la maquinaria minera iniciada en los años setenta comenzó con un fuerte y rápido aumento de las dimensiones de los equipos y por la utilización casi en exclusiva de robustos motores diésel de régimen lento y aspiración natural, que se acoplaban a transmisiones mecánicas. Paralelamente, algunos fabricantes desarrollaron máquinas con transmisiones eléctricas, dotadas de grupos electrogeneradores arrastrados por motores diésel. Esta tendencia no se generalizó debido a problemas de disponibilidad y fiabilidad que surgieron. Sin embargo el desarrollo de transmisiones eléctricas para vehículos de gran tonelaje si se hizo común entre los fabricantes, disponiendo actualmente en el mercado tanto de modelos de transmisiones hidráulicas como eléctricas.

La necesidad de garantizar la viabilidad económica de unas explotaciones a cielo abierto cada vez más grandes, con mucha más maquinaria y muchos más trabajadores, provocó durante las últimas décadas del siglo XX una importante evolución de la maquinaria creando un sector industrial muy notable en el que aparecieron en el mercado numerosas empresas que en actualidad son grandes multinacionales, como *Caterpillar* (EEUU), *Komatsu* e *Hitachi* (Japón) o *Liebherr* (Suiza).

La tendencia actual del mercado es la creación de maquinaria de gran tamaño que permita optimizar las operaciones de carga y transporte. La evolución sufrida por la maquinaria se ha traducido en un incremento importante de los rendimientos, un mejor aprovechamiento energético, una mayor disponibilidad de la maquinaria y, en esencia, en un abaratamiento de costes. Las unidades actuales incluyen sistemas de guiado vía satélite (GPS), sistemas de alarmas sonoras y visuales, automatizaciones de numerosas funciones, mejoras ergonómicas, pantallas de visualización de datos, etc., además de ir montados con motores mucho más eficientes que han permitido a los fabricantes desarrollar máquinas impensables hace décadas. Un buen ejemplo de esto es el modelo 75710 de la marca bielorrusa Belaz, un dúmper capaz de cargar hasta 450 t de material en cada viaje. Este modelo mide 20 m de largo y 8 de alto, siendo actualmente el camión autopropulsado más grande jamás construido por el hombre. [BEL14]



Figura 7. Camión Dúmper de la marca Belaz, modelo 75710, el de mayor capacidad de carga del mercado (450 t). [BEL14]

4.2 Evolución en los sistemas de gestión

Se podría definir sistema de gestión de una explotación minera como el conjunto de herramientas que permiten llevar a cabo las operaciones de explotación, controlando de manera eficiente los tiempos y costes de operación.

El coste de extraer recursos naturales desde su yacimiento se relaciona directamente con su concentración. Por ello el costo de extracción obviamente debe ser menor que el valor comercial del material que es extraído para que la operación sea económicamente factible.

De este modo una vez calculados los equipos necesarios para la operación de la mina, se hace necesario implementar una correcta operativa de los mismos, de modo que se eliminen y si no es posible se acorten los tiempos muertos en que algún equipo podría estar inoperativo, bien por circunstancias propias del proceso, bien por paradas planificadas, bien por imprevistos, o por cualquier otro caso.

Todos estos tiempos muertos, afectarán al coste final de la unidad de mineral extraído, por lo que es un factor importante a tener en cuenta dentro de la operación económica de una explotación de estas características.

Desde la implantación de los vehículos de tracción mecánica en las minas a cielo abierto, la planificación de las operaciones básicas de explotación la realizan los ingenieros de minas encargados de cada instalación de manera manual. Los capataces eran los encargados de ejecutar sobre el terreno las planificaciones de las operaciones, por lo que el riesgo de accidentes y los fallos de sincronización entre las diferentes máquinas eran frecuentes.

Este hecho provocó que muchas empresas explotadoras empezaran a planificar sistemas de gestión que eliminaran en la medida de lo posible la acción humana y primara las operaciones ejecutadas de manera automática.

De acuerdo a la bibliografía consultada existen actualmente varias explotaciones que han empezado a utilizar sistemas parcialmente automatizados de gestión de la maquinaria. A partir de este hecho, se observó que los fabricantes punteros de maquinaria ofrecen o está desarrollando este tipo de sistemas.

También empresas mineras como *Rio Tinto*, están implementando sistemas de automáticos para la operación de maquinaria en sus explotaciones, con grandes inversiones económicas en este sentido.

Este hecho pone de manifiesto la importancia que la correcta operativa y manejo de todo el proceso minero tienen, de cara a optimizar los costes de explotación y el precio final del mineral extraído.

Diversos sistemas de gestión de maquinaria minera han sido desarrollados usando tecnologías como GPS, tacógrafos, ordenadores, etc. que permiten obtener datos en tiempo real sobre el estado de la maquinaria. Estos sistemas

automatizan los procesos, disminuyendo así los costes de operación y los riesgos laborales de los operadores.

Los parámetros más importantes que desarrollan estos sistemas son la geolocalización del vehículo y el consumo de combustible. El conocimiento de la posición y el estado real de la maquinaria permite la planificación en tiempo real de las operaciones optimizando el proceso extractivo. Actualmente existen soluciones comerciales compuestas por conjuntos hardware-software que permite obtener los datos en tiempo real y presentarlos al operador en la cabina del vehículo.

Casi todos los sistemas que se pueden encontrar en el mercado se basan en la geolocalización vía GPS, que capta los datos y los envía tanto al ordenador de a bordo como a un ordenador central. De esta manera el operador puede ver desde la propia cabina parámetros fundamentales para el control del vehículo como la velocidad, las revoluciones, las posiciones de los vehículos colindantes, la ruta que debe seguir, los tiempos de viaje, etc. Todos estos datos son grabados, lo que permite que puedan ser tratados por unidades centrales que permitan extraer informaciones relevantes y conseguir planificaciones más eficaces que pueden ser modificadas en tiempo real según las necesidades de la producción.

Los sistemas de gestión de flotas tienen dos importantes funciones, por un lado situar el vehículo en la explotación y por otro lado controlar el consumo de combustible. La última generación de ordenadores dotados de GPS son capaces de localizar la posición del vehículo con gran precisión, pero los sistemas GPS sufren muchas desviaciones en las oquedades provocadas por los métodos de explotación por lo que se han empezado a desarrollar sistemas de geolocalización local, con antenas repetidoras instaladas directamente en la explotación que solucionan este problema.

En los últimos años, alguna de las mayores compañías del sector de la maquinaria minera, como Caterpillar o Komatsu, e incluso alguna ajena a este sector como la alemana Leica, han desarrollado paquetes completos de herramientas, tanto hardware como software, que permiten la captación de datos y el procesamiento de la información de todos los vehículos de la flota.

Actualmente en el mercado existen numerosas herramientas, siendo las más destacadas:

- *Leica Geosystems Mining*
- *Wencomine*
- *Caterpillar Mine Star*
- *Carlson Software*
- *Komatsu FrontRunner*
- *Modular Mining Systems*

El sistema *Komatsu FrontRunner* es el que se encuentra en una fase más retrasada, ya que *Komatsu* sólo lo ha desarrollado a petición de sus clientes. El sistema de momento se está centrando en la herramienta de automatización total de los vehículos, es decir la conducción de los vehículos sin necesidad de conductor en el vehículo. [KOM13]

Caterpillar y *Leica* ofrecen el paquete más completo, incluyendo herramientas de gestión, automatización, mantenimiento, control del personal, riesgos laborales, etc. La multinacional japonesa de maquinaria minera *Komatsu* ha sido la última en incorporarse al mercado, y ha desarrollado un sistema de gestión automática llamado *FrontRunner* a petición de los clientes.

4.2.1 Beneficios y desventajas de los sistemas de gestión

Los principales beneficios que aportan los sistemas de gestión de la flota serían:

- a) Seguridad Tecnológica: El desarrollo de estas herramientas facilita la resolución de problemas relacionados con la seguridad de la información.
- b) Mantenimiento: Permitiría mejorar la eficiencia del mantenimiento ya que se podrían planificar las operaciones de mantenimiento con suficiente antelación.
- c) Centralización: La instalación de un sistema propio permitiría la centralización de los servicios de varias explotaciones en un solo centro de trabajo.
- d) Sistema GPS local: Permite minimizar los defectos de la aplicación GPS vía satélite, asegurando una mejor cobertura en la explotación y hace que el sistema sea modular y ampliable.

Las principales desventajas que se encuentran en la instalación de los sistemas de gestión serían:

- a) Falta de experiencia: Los elementos de Hardware exigen una tecnología muy compleja que incluye el montaje de los elementos en la unidad y su posterior puesta en marcha en cada vehículo.
- b) Mercado cerrado: Se trata de un mercado casi oligopólico, en que unas pocas empresas controlan casi todos los clientes.
- c) Inversión económica: Los costes de instalación parecen ser bastante elevados, ya que la inversión en materiales y el coste de instalación es muy notable.
- d) Errores del GPS: El desarrollo de un sistema local de posicionamiento de los vehículos no impide que el sistema GPS siga teniendo fallos en este tipo de terrenos.
- e) Desarrollo tecnológico: La constante evolución de estos sistemas implica la necesidad de llevar una estricta vigilancia tecnológica, que permita conocer novedades comerciales de los paquetes.

5 MAQUINARIA MINERA

5.1 Criterios de selección

Una vez localizado un yacimiento de mineral y realizados los estudios de viabilidad técnico-económica, en los que ya se ha debido calcular el número de equipos de maquinaria que deben emplearse, se inicia la etapa de selección de equipos. Para la selección de los equipos han de tenerse en cuenta una serie de criterios basados en la situación geográfica, las características de la mineralización y los parámetros de la explotación.

Las dimensiones de los vehículos de la flota están relacionadas directamente con las dimensiones del banco y la rampa y el número de ellos directamente con la producción.

Una vez establecidos los criterios propios de la explotación, se deben determinar aquellos que están directamente relacionados con el equipo. Normalmente se deben fijar unos objetivos específicos para cada equipo y ponderar el peso de cada objetivo. En este apartado suelen usarse metodologías de análisis multicriterio para seleccionar el equipo correcto.

Algunos de los criterios que deben tenerse en cuenta en la toma de decisiones se exponen en la Figura 8.

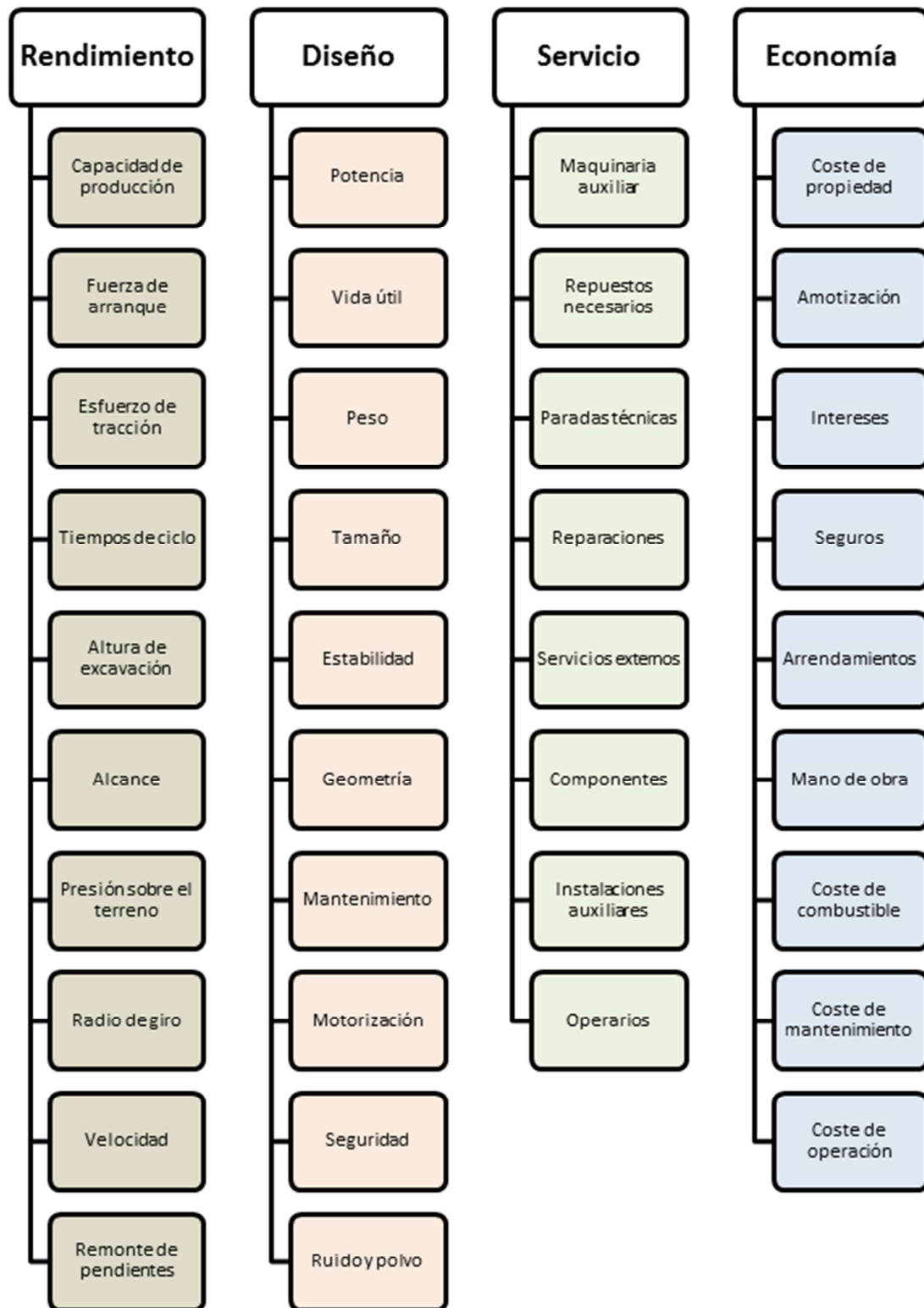


Figura 8. Criterios de selección de los equipos, según las características de los mismos [IGM91]

5.2 Costes operativos

Se definen los costes operativos como los gastos de en los que incurren una empresa explotadora para desarrollar todas las operaciones de extracción del mineral. Dentro de los costes de operación deben incluirse:

- Costes de mano de obra (gerencia, administración, conductores, etc.)
- Costes de mantenimiento
- Costes de combustibles

Los costes operativos más difíciles de estimar son los costes de mantenimiento., en los que se deben tener en cuenta:

- El coste de reparaciones
- El coste de las piezas de recambio
- El coste de los consumibles
- El coste del personal dedicado a las tareas de mantenimiento

La forma más extendida de calcular estos costes se realiza a partir de los costes básicos de operación por hora para cada tipo de equipo. Es importante señalar que debe tenerse en cuenta que de los costes por mantenimiento no incluirán combustibles (diésel-gasolina) y electricidad.

5.3 Tiempos de operación

Como se indicó en el Capítulo 3.3 el ciclo de explotación minera se compone de varias etapas, por lo que el tiempo de operación será la suma de los tiempos unitarios de cada etapa. De las cuatro etapas del ciclo minero, ver Figura 3, la que determina el ritmo de operación por ser la más lenta, es la etapa de perforación y voladura. Esto es debido a que el proceso de ruptura de la roca madre por parte de los instrumentos de corte requiere mucho tiempo, al que hay que añadir la carga de explosivos dentro de los barrenos, que por motivos de seguridad debe hacerse lentamente. Las etapas de carga y transporte se desarrollan conjuntamente, y si la planificación es adecuada la velocidad de las mismas es alta e influye poco en el tiempo final de operación.

Por tanto, el tiempo de operación de la maquinaria en minería a cielo abierto suele calcularse de acuerdo a dos categorías:

- 1) Perforadoras
- 2) Cargadora + Volquete

Las operaciones auxiliares de vertido, extendido o compactado suelen hacerse simultáneamente, siempre y cuando las características geométricas y topográficas del banco explotado lo permitan. En bancos grandes es normal realizar operaciones de perforación en la zona delantera del banco mientras se realiza la carga y el transporte en las zonas anteriores, que han sido voladas previamente.

Asimismo habrá que considerar otros tiempos en el ciclo de explotación que influyen en el tiempo de operación, como pueden ser los tiempos de

repostajes, cambios de operadores en los equipos, reparaciones imprevistas, etc.

La correcta planificación de los tiempos de operación implica una mejora en la producción, dado que se acortan los tiempos muertos, periodos de paro de la maquinaria, etc.

Para cada equipo pueden establecerse factores de disponibilidad mecánica y utilización, de tal modo que la disponibilidad mecánica será un porcentaje que represente las horas durante las que el equipo no pueda ser utilizado debido a tareas de mantenimiento (planificadas) o averías (no planificadas).

El hecho de disponer de una base de datos de maquinaria posibilita la disponibilidad de datos relativos a los tiempos de operación de los equipos, para de esta manera establecer unos parámetros de operación y una correcta explotación de la mina.

5.4 Modelo de planificación de maquinaria

Un ejemplo de planificación de la maquinaria necesaria para la operación de una mina se presenta en el Capítulo 14 (Anexo V), donde se muestran la incorporación progresiva de equipos, así como el reemplazo o la retirada de los mismos de acuerdo a la vida útil.

Se puede observar en la Tabla 26 que el reemplazo de maquinaria, de acuerdo a la vida útil estimada, comienza a partir del séptimo año de operación.

Esta información es muy útil en proyectos nuevos, para estimar las necesidades de capital que este concepto requerirá, así como el momento en el periodo de operación de la mina.

En el Capítulo 14 (Anexo V), puede verse un ejemplo real de la planificación de equipos establecida para un nuevo proyecto minero: *Mills Lake Deposit* de la *Kamistiatusset (Kami) Iron Ore Property* en la Península de Labrador, para la empresa *Alderon Iron Ore Corp.*

5.5 Flota de vehículos mineros

En las cortas mineras típicas de las explotaciones de mineral de hierro, las limitaciones de espacio que se provocan al tener que avanzar en profundidad hacen que la maquinaria que se puede usar esté limitada en tamaño. Además los procesos de arranque en general no se pueden automatizar debido a la dureza media de las rocas, por lo que es necesario el arranque con explosivo

Se puede concluir que debido a estos dos factores y de acuerdo a los datos que ofrecen las bases de datos de minería consultadas, que se detallan en el Capítulo 10 (Anexo I) y en el Capítulo 11 (Anexo II), la combinación de maquinaria más utilizada es:

- 1) Perforadora
- 2) Cargadoras:
 - a. Excavadoras de cables
 - b. Excavadoras hidráulicas
 - c. Palas cargadoras
- 3) Volquete y/o camiones articulados
- 4) Motoniveladora y/o Bulldozer
- 5) Vehículos Auxiliares

Sin duda los dos elementos de la maquinaria que determinan el buen curso de la explotación son las cargadoras y los volquetes. Estos dos elementos son los encargados del acarreo del mineral desde el yacimiento hasta la planta de tratamiento.

Dentro de las cargadoras se dispone de un gran número de combinaciones de acuerdo a las posibles configuraciones de equipos en cuanto a motorizaciones y tipos y formas de las cucharas. De modo general, se pueden diferenciar las cargadoras de uso común en minería en Palas y en Excavadoras (bien sean de cables o hidráulicas)

Atendiendo a las necesidades de la explotación se deben usar unas u otras, siendo utilizadas como norma general las palas como equipos auxiliares (realizan funciones de carga a trituradoras, molinos, movimientos entre pilas de mineral, etc.), y las excavadoras como equipos principales en los tajos, es decir las que cargan el mineral arrancado en el volquete. [IGM91]

El transporte en las explotaciones mineras a cielo abierto, así como también en numerosas ocasiones en la obra pública, se realiza frecuentemente mediante el empleo de volquetes, debido a las ventajas que presentan. Entre ellas la maniobrabilidad, ya tienen radios de giros mucho menores que los camiones articulados. Además existe una gran variedad de modelos en el mercado que permiten obtener vehículos de distintos tamaños sin ningún problema, pudiendo incluso obtener unidades que permiten la descarga lateral o por el fondo en vez de la descarga clásica por la zona trasera del volquete.

5.5.1 Cargadoras

Existen tres modelos de cargadoras en el mercado. En líneas generales pueden clasificarse en función de su uso en:

- **Palas:** Operaciones auxiliares
- **Excavadoras de cables:** Minería de gran tamaño
- **Excavadoras hidráulicas:** Minería de tamaño medio o pequeño

5.5.1.1 Palas

Existen dos tipos de unidades, que se diferencian en el tren de rodaje:

- Palas montadas sobre orugas.
- Palas montadas sobre ruedas.

En minería son las palas de ruedas las de aplicación casi exclusiva.

Las operaciones que realizan las palas en minería a cielo abierto:

- a) Carga de volquetes, vagones o tolvas
- b) Carga y transporte en cortas distancias: Desde el frente a la trituradora, desde el apilamiento hasta la planta de tratamiento, etc.)
- c) Como máquina auxiliar: Limpieza de tajos antes de la voladura, preparación de rampas, apertura de tajos antes de electrificar, construcción y limpieza de pistas de transporte, etc.
- d) Como máquina de empuje: Sustituyendo a los bulldozers en la limpieza de los tajos después de la voladura o en el extendido de material en la escombrera, etc.

Una de las características más importantes de este tipo de cargadoras es el tamaño del cazo de carga. Cazo más grandes suponen aumentos en el tamaño de los equipos, pero este mayor tamaño no permite a éstas trabajar en bancos altos ni descargar en grandes volquetes y tolvas, ya que la altura de descarga no tiene porqué aumentar en función de la dimensión de la máquina. Es decir, no hay una relación directa entre el tamaño del cazo y el tamaño del equipo. Las máquinas de mayor tamaño si presentan como ventaja una mayor resistencia estructural y capacidad de arranque. Además del tamaño del cazo, el tamaño de las ruedas y la velocidad de desplazamiento no aumentan proporcionalmente con la dimensión del equipo.

El aumento del tamaño de los equipos implica la necesidad de una mayor potencia del motor, y por tanto mayor consumo de combustible. A su vez motores más grandes exigen chasis más resistentes y pesados. Esto hace que palas excesivamente grandes presentes problemas de estabilidad en terrenos irregulares, por lo que los fabricantes han limitado notablemente el tamaño de las palas, a favor de las excavadoras. En la práctica el tamaño medio de las cazos de las palas suele estar comprendido entre los 8 y los 13 m³ de capacidad.

Los parámetros que influyen en la productividad de una la cargadora son: [IGM91]

- Fuerza de penetración.
- Fuerza de tracción.
- Fuerza de arranque.
- Fuerza de elevación.
- Distancia de maniobra.
- Tipo de carga en el cazo.

5.5.1.2 Excavadoras de cables

Las innovaciones tecnológicas y de diseño, introducidas a lo largo del tiempo, han tenido como misión mejorar el cuádruple objetivo que se requiere de éstas máquinas:

- Productividad elevada
- Coste unitario bajo
- Facilidad de mantenimiento
- Disponibilidad alta

Existen dos tipos de excavadoras de cables, las diseñadas para cargar sobre otro equipo, normalmente volquetes, y las excavadoras de desmonte, que descargan directamente en el vertedero situado en el hueco creado anteriormente.

El principal criterio de diseño de este tipo de excavadoras es la capacidad nominal del cazo, que es función de la densidad del material a cargar y de la longitud de la pluma. Un incremento en cualquiera de estos dos parámetros puede obligar o bien a una reducción del tamaño del cazo o bien a limitar el volumen de cada palada para no sobrepasar a capacidad de elevación y mantener el equilibrio de la máquina. Este hecho hace que muchos fabricantes suelen suministrar distintos cazos para un mismo equipo.

La excavación se consigue mediante la combinación de dos movimientos, por un lado la elevación del cazo y por otro lado el empuje de la pluma. Estas máquinas son capaces de excavar desde los materiales más blandos a los más resistentes.

Normalmente los fabricantes ofrecen la posibilidad de elegir la longitud de la pluma, lo que posibilita alcanzar una determinada geometría de excavación, lo que hace que a pesar de tener tamaños considerables puedan trabajar en tajos reducidos.

Las características generales más sobresalientes de las excavadoras de cables pueden verse en la Tabla 1:

Altura de Excavación	10-20 m	Peso	Muy Alto
Altura de vertido	6-12 m	Chasis	Compacto y Robusto
Sistema de Traslación	Orugas	Fiabilidad	Elevada
Motor	Eléctrico	Pendientes	Pequeñas
Coste de operación	Bajo	Tipo de firme	Muy Regular
Producción	Elevada	Presión sobre el suelo	0,2-0,35 MPa 2-3.5 kg/cm ²
Estabilidad	Elevada	Selectividad del Material	Nula
Velocidad de Desplazamiento	Muy baja (≈ 1,5 km/h)	Movilidad	Limitada
Seguridad de Operación	Muy alta	Vida útil	>60.000 h

Tabla 1. Características generales de las excavadoras hidráulicas. [IGM91]

Los principales inconvenientes de las excavadoras son:

- La capacidad de excavación es reducida por debajo del nivel de orugas.
- Requieren un equipo auxiliar en el tajo, normalmente un bulldozer, que ayude a compactar el material para poder mantener una producción elevada.
- El personal de operación requiere una mejor cualificación que los de las palas.
- El mantenimiento de la máquina debe hacerse en el tajo, lo que implica mayores dificultades.

Las inversiones elevadas en este tipo de máquinas hacen que sólo se consideren en proyectos de una larga duración, por lo que son los equipos idóneos para las minas a cielo abierto de gran tamaño. [IGM91]

A la hora de seleccionar una excavadora para una explotación los parámetros que deben tenerse en cuenta son:

- La producción horaria (m³/h o bien t/h)
- El tipo de material cargado (Blando, Medio, Duro o Muy Duro)
- El tipo de arranque (Arranque Directo o perforación y voladura)

- La densidad de la roca
- Las dimensiones del banco y las pistas

Una vez conocidos estos parámetros se pueden establecer las características geométricas y mecánicas que debe tener el equipo apropiado para la explotación.

5.5.1.3 Excavadoras hidráulicas

Las excavadoras hidráulicas constituyen en la actualidad, tras haber alcanzado su madurez, un equipo alternativo de excavación y carga, tanto en las explotaciones mineras como en las obras públicas, al mismo tiempo que los modelos más pequeños, son unas máquinas auxiliares insustituibles para la apertura de zanjas y cimentaciones, demolición de estructuras, etc. [IGM91]

Las excavadoras hidráulicas se clasifican en función de la posición que tiene el cazo de carga con respecto al chasis. Siguiendo este criterio existen dos tipos de excavadoras hidráulicas:

- Excavadoras Frontales
- Retroexcavadoras

La diferencia de diseño entre estas unidades se centra en el sentido de movimiento de los cazos y en la geometría de los equipos de trabajo. Normalmente, los fabricantes ofrecen un mismo chasis con posibilidad de montar ambas configuraciones.



Figura 9. Excavadora Caterpillar 6015 con la configuración del cazo frontal. [CAT14b]



Figura 10. Excavadora *Caterpillar* 6015 con la configuración retro del cazo. [CAT14b]

Las principales características de las excavadoras hidráulicas se presentan en la Figura 11.

Características Excavadoras Hidráulicas	
	Diseño compacto
	Peso reducido
	Gran flexibilidad
	Velocidad de desplazamiento $\approx 2,4$ km/h
	Luz del chasis inferior de 0,5 a 1 m
	Adaptación perfecta a firmes irregulares
	Presiones sobre el terreno bajas ($0,9$ a 2 kg/cm ²)
	Admite trenes de rodaje de ruedas y orugas
	Opera en pendientes de hasta el 60 %
	Remontan pendientes muy fuertes (80 %)
	Altas velocidades de rotación (2,5 a 5 rpm)
	Fuerzas de penetración altas (arranque directo de materiales de dureza media)
	Versatillidad en la orientación del cazo
	Factor de llenado del cazo muy elevado
	Gran control de la descarga en los volquetes
	Necesitan poco espacio de maniobra
	Consumos menores que las excavadoras de cables
	Alta eficiencia de trabajo
	Costes de operación e inversión menores que las de cables
	Vida útil: 35.000 h

Figura 11. Características principales de las excavadoras hidráulicas. [IGM91]

A la hora de seleccionar una excavadora para una explotación los parámetros que deben tenerse en cuenta son:

- La producción horaria (m^3/h o bien t/h)
- El tipo de material cargado (Blando, Medio, Duro o Muy Duro)
- El tipo de arranque (Arranque Directo o Perforación y Voladura)
- La densidad de la roca

Contrariamente a las excavadoras de cables, en las hidráulicas el tamaño de los bancos y las pistas no es un factor determinante en la selección, ya que estos equipos tienen un tamaño muy reducido y suelen adaptarse sin problema a toda clase de frentes.

Una vez conocidos estos parámetros se pueden establecer las características geométricas y mecánicas que debe tener el equipo apropiado para la explotación.

5.5.1.4 Comparativa entre cargadoras

A la hora de seleccionar un equipo u otro para operar en un tajo deben tenerse en cuenta las características de cada tipo de equipo, el tamaño y la adaptación al terreno existente.

En líneas generales las palas sólo se usan en operaciones auxiliares y no suelen operar directamente en los frentes. Si los bancos son lo suficientemente anchos y las alturas de los taludes importantes, conviene usar excavadoras de cables, ya que aumentan significativamente la capacidad de acarreo con respecto a las hidráulicas, y además presentan una vida útil mucho mayor.

Sin embargo, en la mayoría de las cortas metálicas de mineral de hierro, los bancos y las bermas no permiten la operación de excavadoras de cables, por lo que es necesario emplear como vehículo de acarreo las excavadoras hidráulicas.

En la Tabla 2 se detalla una comparativa entre las excavadoras de cables y las hidráulicas.

Característica	Hidráulica	de Cables
Inversión	Media	Alta
Vida útil media	5-10 años	20-30 años
Coste de operación	Medio	Bajo
Capacidad del cazo	Hasta $26 m^3$	Hasta $50 m^3$
Desgaste de dientes	Bajo	Alto
Factor de llenado de cazo	Alto	Medio

Tiempo de llenado	Bajo	Alto
Velocidad de traslación	Alta	Baja
Remonte de pendientes	Hasta el 60 %	Hasta el 5 %
Trabajo en pendientes	Hasta el 18 %	Hasta el 5 %
Visibilidad de operación	Reducida	Amplia
Gasto energético específico	Alto	Bajo
Control de la descarga	Bueno	Malo
Posibles daños en volquetes	Poco probable	Probable

Tabla 2. Comparativa Excavadoras Hidráulicas vs. Excavadoras de Cables. [IGM91]

Las conclusiones más importantes de la comparativa expuesta en la Tabla 2 son:

- A igualdad de posibilidades de selección las excavadoras de cables son más efectivas y productivas.
- A igualdad de posibilidades de selección las excavadoras de cables tienen una vida útil mucho mayor y por tanto una mejor amortización.
- Si el tajo es pequeño o el terreno produce muchos repiés con las voladuras hay que emplear las hidráulicas.
- Si es necesario un arranque selectivo no se puede optar por las excavadoras de cables.
- La seguridad de operación es mucho mayor en las excavadoras de cables, tanto para riesgos de accidentes como riesgos en los daños a otros vehículos.

En la Tabla 3 se detalla una comparativa entre las excavadoras hidráulicas y las palas cargadoras.

Característica	Excavadora Hidráulica	Pala Cargadora
Inversión	Media	Media
Vida útil media	5-10 años	≈ 5 años
Coste de operación	Medio	Alto
Capacidad del cazo	Hasta 26 m ³	Hasta 26 m ³
Fuerza de excavación	Grande	Pequeña
Tipo de terreno	Compacto	Compacto o con materiales sueltos
Nivel de operación	Por encima o por debajo de la máquina	Por encima de la máquina
Altura de operación	Elevada	Media
Altura de banco	Grandes	Pequeñas
Anchura de banco	Baja	Media

Tabla 3. Comparativa Excavadoras hidráulicas vs. Palas Cargadoras. [IGM91]

Las conclusiones más importantes de la comparativa expuesta en la Tabla 3 son:

- A igualdad de posibilidades de selección las excavadoras se usan en el frente de explotación y las palas como máquinas auxiliares.
- En frentes con alturas de banco importantes se debe operar con excavadora.
- La inversión económica y la vida útil son similares en ambos tipos.
- Los tamaños y la capacidad de carga del cazo son también similares.
- A igualdad de posibilidades de selección las palas pueden operar ciclos de trabajos más largos que las excavadoras.

5.5.2 Volquetes

El transporte de materiales rocosos en las explotaciones mineras a cielo abierto, así como en la obra pública, se realiza con mucha frecuencia mediante el empleo de volquetes, debido a las ventajas que presentan. Las principales ventajas se exponen a continuación:

Sus principales ventajas son:

- Son muy flexibles en cuanto a las distancias recorridas
- Son capaces de transportar cualquier tipo de material
- Fácilmente adaptables a cualquier ritmo de producción
- Pueden desplazarse sin problema por los bancos
- Son capaces de remontar pendientes importantes
- Capaces de desplazarse por firmes y pistas irregulares
- Existencia de gran número de modelos en el mercado
- Fácilmente controlables, incluso de manera automática
- Mano de obra cualificada.

Las unidades actualmente disponibles pueden clasificarse, según su diseño y modo operativo, en cuatro categorías.

- Volquetes
- Camiones de descarga lateral
- Camiones de descarga por el fondo
- Unidades especiales

Si bien es cierto que hay en el mercado disponibilidad de equipos de estas 4 categorías, los volquetes son casi en exclusiva los utilizados en minería metálica. Este hecho es debido sobre todo a que su tamaño se adapta perfectamente a las dimensiones de los bancos, pueden remontar pendientes elevadas manteniendo una velocidad de desplazamiento aceptable y porque permite una versatilidad de uso mucho mayor en las acciones de carga y descarga del material.

Los volquetes se subdividen a su vez en tres categorías que se clasifican según sea la conexión que se establece entre el chasis del volquete y la caja que debe contener la carga.

- **Convencionales:** Chasis y caja forman un único conjunto rígido.
- **Articulados:** Chasis y caja forman un único conjunto pero la conexión es articulada.
- **Tráilers:** Chasis y caja están separados en dos piezas, cabina tractora y cuba de transporte.

Las aplicaciones a las que se destinan cada tipo se presentan en la Tabla 4.

Tipo de Volquete	Aplicación
Convencional	Transporte de material grueso y granulometría variable
	Necesidad de remontar fuertes pendientes
	Falta de espacio de operación en la zona de carga y/o en la de descarga
	Necesidad de hacer una carga selectiva
Articulado	Necesidad de maniobrabilidad en zonas amplias
	Pistas en mal estado
	Climatología adversa
	Transporte de materiales blandos o medios
Tráiler	Necesidad de maniobrabilidad en zonas amplias
	Necesidad de recorrer grandes distancias
	Necesidad de disminución del gasto de neumáticos
	Pistas horizontales o de poca pendiente

Tabla 4. Aplicaciones de los distintos tipos de volquetes. [IGM91]

A la hora de seleccionar el volquete adecuado para una explotación deben tenerse en cuenta una serie de parámetros: [IGM91]

- Producción horaria (m³/h o bien t/h)
- Tipo de material cargado (Blando, Medio, Duro o Muy Duro)
- Condiciones ambientales (altitud, temperatura, climatología, etc.)
- Condiciones de las pistas (longitud, pendientes, anchos, radios de giros, etc.)
- Zona de carga (anchos, tipo de suelo, tipo de cargadora empleada, equipos auxiliares, etc.)
- Zona de descarga (anchos, tipo de suelo, si se descarga sobre tolva o sobre apilamiento, equipos auxiliares, etc.)
- Mano de obra (conductores)

Una vez conocidos estos parámetros se pueden establecer las características geométricas y mecánicas que debe tener el equipo apropiado para la

explotación. Los parámetros que deben establecerse en la selección se exponen a continuación:

- Capacidad de la caja
- Tipo de distribución de la carga
- Potencia necesaria
- Tipo de transmisión
- Tipo de chasis
- Tipo de frenos
- Modelos de neumáticos
- Diseño de la cabina

5.5.3 Maquinaria auxiliar

En las explotaciones a cielo abierto existe una serie de elementos de maquinaria, llamada maquinaria auxiliar que puede no estar directamente relacionada con la producción u otras máquinas de arranque y transporte que no suelen estar aplicadas para cortas metálicas.

Algunas de estas máquinas son:

- 1) **Perforadoras:** Tanto la perforación como la voladura son las operaciones unitarias más importantes dentro de la actividad minera, ya que son las que determinan la velocidad de producción. Perforaciones lentas implican pocas voladuras diarias y como consecuencia se obtienen producciones bajas. [IGM91].
- 2) **Bulldozers:** En cuanto a los bulldozers su misión es empujar el mineral arrancado y apilarlo para facilitar las labores de carga. En el mercado existen dos tipos, que se diferencian en el tren de rodaje. Por un lado están los que se montan sobre orugas, que son los más empleados en minería, y pueden usarse sobre cualquier tipo de firme, y los que se montan sobre ruedas, que se usan de manera muy escasa en minería, siendo más una derivación de las palas cargadoras que una evolución de los tractores tradicionales. Son equipos de una gran versatilidad, por lo que se pueden, además del movimiento de tierras en los frentes, en otros trabajos como el arranque y el transporte, en rocas blandas y en distancias cortas respectivamente. A la hora de seleccionar el bulldozer más adecuado para una explotación deben tenerse en cuenta una serie de parámetros: [IGM91]
 - Cantidad de material tratado (m^3/h)
 - Tipo de material tratado (Blando, Medio, Duro o Muy Duro)
 - Condiciones ambientales (altitud, temperatura, climatología, etc.)
 - Condiciones del firme
 - Potencia de empuje requerida
 - Necesidad de ripado
 - Distancia de empuje
 - Mano de obra (conductores).

- 3) **Motoniveladoras:** Las motoniveladoras son máquinas cuya misión es repartir, nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material. También se usan como maquinaria auxiliar para realizar perfilados de taludes y de excavaciones y conservación de cunetas y canales perimetrales.

Las aplicaciones más comunes de este tipo de vehículos son:

- Nivelar terrenos
- Esparcir el material descargado por volquetes
- Conformar pistas y bancos
- Refinado de explanadas
- Mezclar materiales
- Excavación y reperfilado de cunetas
- Conservación de taludes y cunetas
- Repperfilado de taludes
- Mantenimiento de pistas
- Apoyo de bulldozers

A la hora de seleccionar la motoniveladora más adecuada para una explotación deben tenerse en cuenta una serie de parámetros: [MOR09]

- Cantidad de material tratado (m^3/h)
- Velocidad de operación
- Tipo de material tratado (Blando, Medio, Duro o Muy Duro)
- Condiciones ambientales (altitud, temperatura, climatología, etc.)
- Longitud efectiva de la hoja
- Área y presión efectiva de operación
- Potencia de empuje requerida
- Necesidad de ripado
- Mano de obra (conductores)

Una vez conocidos estos parámetros se pueden establecer las características geométricas y mecánicas que debe tener el equipo apropiado para la explotación.

El tamaño de los bancos y las pistas puede ser un factor determinante en la selección, ya que estos equipos pueden llegar a ser bastante largos y requerir importantes radios de giro. Suelen adaptarse bien a bancos de gran tamaño y a terrenos llanos amplios aunque tengan tamaños importantes, siempre y cuando la geometría lo permita. Esto debe tenerse en cuenta a la hora de seleccionar el equipo.

- 4) **Dragalinas:** Es un equipo indicado para realizar excavaciones bajo su nivel de sustentación en terrenos blandos, fangosos o sumergidos. Presenta un gran alcance, que le permite excavar una gran área sin desplazarse o desplazándose por terreno firme. Este mismo alcance le posibilita descargar lejos del sitio de excavación y formar montones altos con el material extraído. Es típica de explotación de gran tamaño, de tipo terraza, debido a sus grandes dimensiones. [IGM91].
- 5) **Cinta transportadora:** Sistema de transporte del material, normalmente no se usa dentro del tajo pero sí como elemento de transporte entre la zona de descarga del volquete y la planta de

tratamiento, ya que aminora notablemente el gasto energético. Presentan una eficiencia muy alta, en torno a l 75 %, siendo mucho mayor cuando las distancias son importantes y los desniveles a salvar son significativos. Se trata de un sistema más rígido que el transporte mediante volquetes, por lo que exige una planificación más exigente y cuidadosa. Facilitan las descargas tanto en ferrocarril como en barco granelero. [IGM91].

- 6) **Rotopalas:** Es una máquina de producción continua en la que las funciones de arranque, carga y transporte se realizan a la vez, separadas en zonas de la máquina. Las dos primeras funciones se realizan en el rodete, dotado de cangilones, y la última mediante un sistema de cintas transportadoras. Se aplica en minería de grandes dimensiones y con materiales blandas (lignito y bauxita principalmente). [IGM91].
- 7) **Mototraíllas:** Es un equipo se utiliza para mover cantidades importantes de tierra. Se aplica en materiales poco consolidados, realizando tanto la operación de arranque como la de transporte. Se aplican sobre todo para el movimiento de tierra vegetal, la excavación de estériles, extracción de minerales blandos, restauración de terrenos y construcción de pistas. [IGM91].
- 8) **Camiones cisterna:** Se usan para transportar hasta el frente de explotación agua, combustible para los otros vehículos o lubricante para el mantenimiento de los equipos móviles. Suelen llevar la misma motorización y el mismo chasis que el modelo equivalente de volquete, pero se montan con una cuba en vez de una caja. Una variedad importante de estos vehículos son los camiones cargadores del explosivo, que van cargados en la cisterna del explosivo con el que se rellena el barreno.
- 9) **Otros vehículos de servicio:** En esta categoría se agrupan vehículos de transporte de personal (microbuses, furgonetas, coches, etc.), torres de iluminación móviles para producciones nocturnas, camiones bombas, camiones grúa, grúas tipo pluma, tráilers de plataforma para el transporte de la maquinaria, camiones de montaje y desmontaje de neumáticos, etc.

6 METODOLOGIA DE TRABAJO

6.1 Obtención de datos

El primer punto de este estudio ha sido recoger toda la información disponible de manera libre sobre explotaciones a cielo abierto de mineral de hierro, para a partir de ahí:

- Analizar el tipo y número de equipos usados en las explotaciones.
- Analizar las posibles relaciones entre el número de vehículos, sus características fundamentales y la producción de la mina.
- Modelizar el perfil de cada explotación.
- Establecer una clasificación de cada tipo de vehículos en función de la característica fundamental de cada vehículo.
- Crear una base de datos con la información recogida que permita realizar informes y consultas.
- Crear una base de datos anexa a la anterior que recopile la información más relevante acerca de los vehículos comercializados por los principales fabricantes mundiales.
- Estableciendo el número óptimo de vehículos, el tipo y el tamaño de los mismos, en función de la producción.

La información se ha obtenido a través de publicaciones especializadas en minería, empresas mineras, empresas de tratamiento de minerales, principales fabricantes mundiales de maquinaria, empresas consultoras, empresas financieras, etc.

Debido a la presencia en el mercado de decenas de minerales diferentes y con el fin de acotar la ingente cantidad de información existente, la realización de este estudio se centra exclusivamente en obtener y procesar los datos de explotaciones a cielo abierto de mineral de hierro, bien en funcionamiento actualmente o en fase de proyecto.

Actualmente no existe una base de datos que englobe todas las explotaciones y todos los fabricantes. Por tanto la información se encuentra desperdigada por diferentes publicaciones mineras, fabricantes, explotadores, etc. Por tanto, el primer paso en el proceso fue obtener de cada fuente los distintos datos y el segundo agruparlos por características comunes en una base de datos.

Dentro de la información de pago puede destacarse la presencia de la base de datos que ofrece la compañía estadounidense *The Parker Bay Company*. Esta base de datos se ofrece en formato de *Microsoft Access* y se compone a su vez de dos tablas de datos, por un lado una para minas y por otro lado una para los vehículos, siendo las características principales de ambas, las que se exponen en la Tabla 5.

Características	
Tabla de Minas	Tabla de Equipos
Operador	Tipo
Nombre de la mina	Fabricante
Código identificativo	Modelo
Propietario	Número de serie
Dirección postal	Tamaño (Capacidad, Carga Útil, Potencia, etc.)
Localización	Especificaciones
Contacto telefónico	Categoría
Contacto web	Año de fabricación
Mapas	Precio de mercado aproximado
Fecha de inicio	País de origen
Mineral(es) producido(s)	Estado de operación (En Venta, Alquilado, Aparcado, etc.)
Producción anual	

Tabla 5. Características de la base de datos ofertada por *Parker Bay*. [PAR14]

De acuerdo a los datos que ofrece de manera pública esta compañía, existen actualmente unos 65.000 vehículos mineros en las explotaciones mineras, de los cuales 38.500 son volquetes, lo que supone casi un 60 % del total. El número de vehículos que hay en las explotaciones de mineral de hierro es aproximadamente de 7.000, lo que supone casi un 11 % de los vehículos totales.

La base de datos tiene pocos datos sobre China y las antiguas repúblicas de la Unión Soviética. Contiene cerca de 1.600 explotaciones, incluyendo alguna clausurada recientemente, de las cuales 1.300 están activas. Se incluyen minas

localizadas en 100 países diferentes. En cuanto al número de minerales hay hasta 30 diferentes en la base de datos.

País	Carbón	Cobre	Hierro	Oro	Otros	Total
Australia	64	5	26	15	72	182
Brasil	1	4	13	1	10	29
Canadá	22	5	5	10	43	85
Chile	1	24	4	2	14	45
China	10	1	8	-	-	19
India	27	1	4	-	6	38
Indonesia	20	1	-	1	21	43
México	3	4	4	15	6	32
Perú	-	10	1	6	5	22
Rusia	41	-	8	9	8	66
Sudáfrica	16	-	6	1	30	53
Estados Unidos	210	18	8	21	164	421
Otros	70	36	19	55	129	309
Total	485	109	106	136	508	1344

Tabla 6. Número de minas por país y mineral en la base de datos de Parker Bay. [PAR14]

En la misma web se ofrece una clasificación de la maquinaria en categorías según la característica más reseñable de cada tipo de vehículo, agrupando los equipos por intervalos. A partir de esta clasificación se estableció una nueva clasificación por grupos para cada tipo de equipo, de acuerdo a la característica que se propone en la clasificación de *Parker Bay* (carga útil para los volquetes y las cargadoras, potencia para bulldozers y motoniveladoras y fuerza de perforación para las perforadoras), estableciendo tres categorías para cada uno tipo de vehículo. Esta clasificación se realizó fundamentalmente con fines estadísticos, para que los datos agrupados resultasen más significativos. Los grupos estadísticos creados en esta clasificación pueden verse en la Tabla 7.

CARACTERÍSTICA	BULDOZERS		
Potencia (kW)	< 350	350-650	> 750
CARACTERÍSTICA	MOTONIVELADORAS		
Potencia (kW)	< 160	160-350	> 350
CARACTERÍSTICA	CARGADORAS		
Carga Útil (t)	< 40	40-63	> 63
CARACTERÍSTICA	VOLQUETES		
Carga Útil (t)	< 154	154-255	> 255
CARACTERÍSTICA	PERFORADORAS		
Fuerza Perforación (kN)	< 34	34-45	> 45

Tabla 7. Clasificación propuesta para los distintos tipos de maquinaria.

Todos los datos recogidos en estos documentos se han recabado entre los meses de enero y abril de 2014.

En el Capítulo 13 (Anexo IV) se verá con más detalle un ejemplo de la base de datos suministrada por esta empresa, facilitada a modo de muestra en el momento de solicitar presupuesto para adquisición de la misma.

6.2 Creación de la base de datos de explotaciones

A partir de los datos recabados se construyó una base de datos propia, que recopila y agrupa todos los datos obtenidos de las distintas fuentes consultadas. Los datos recabados se refieren fundamentalmente a las instalaciones y los medios materiales que tiene, pero en base de datos también se han introducido otros aspectos más generales, considerados como representativos, de modo que se dispusiera de datos comunes a todas, para un posterior estudio comparativo.

La base de datos se ha desarrollado en entorno de Microsoft Access, introduciendo los datos inicialmente en una tabla de Excel. En esta tabla se han reflejado los datos públicos disponibles.

Los datos obtenidos se han reflejado siguiendo las siguientes categorías:

- 1) **País:** País en el que se encuentra la explotación.
- 2) **Latitud/Longitud:** Coordenadas geográficas.
- 3) **Área:** Extensión total de la explotación, incluyendo las cortas y las construcciones auxiliares.
- 4) **Propietario:** Empresa u organización propietaria de la explotación.
- 5) **Explotador:** Empresa u organización que se ocupa de la gestión de la explotación.
- 6) **Producción:** Producción anual (Mt/año)

- 7) **Tipo de yacimiento:** Tipología mineral del yacimiento explotado.
- 8) **Reservas:** Reservas de mineral estimadas en la explotación (Gt).
- 9) **Procesado in situ:** Relación de operaciones de procesamiento del mineral extraído, en las instalaciones de la propia explotación, previas a su expedición.
- 10) **Año de inicio:** Fecha de comienzo de la explotación, o de comienzo estimado en las que están en fase de proyecto.
- 11) **Vida útil:** Duración estimada de las labores de explotación.
- 12) **Potencia demandada:** Potencia eléctrica necesaria estimada para el funcionamiento de la instalación.
- 13) **Consumo anual:** Consumo eléctrico anual necesario estimado para el funcionamiento de la instalación.
- 14) **Bloque de maquinaria:** En este bloque se detalla de acuerdo a los datos obtenidos, la relación de maquinaria utilizada en las explotaciones, de acuerdo a las siguientes características:
 - Tipo de equipo
 - Número de equipos
 - Marca del equipo
 - Modelo del equipo
 - Potencia del equipo en kW
 - Fuerza de perforación en kN (de acuerdo a la clasificación expuesta en la Tabla 7 específica para las perforadoras)
 - Peso bruto del equipo en kg
 - Intervalo de carga útil en t (de acuerdo a la clasificación expuesta en la Tabla 7, aplicable para cargadoras y volquetes)
 - Capacidad del equipo en m³ (aplicable para cargadoras y volquetes)
 - Ancho de cuchilla en mm (aplicable para bulldozers y motoniveladoras)
 - Intervalo de potencia en kW (de acuerdo a la clasificación expuesta en la Tabla 7, aplicable para bulldozers y motoniveladoras)
 - Tamaño estándar de la cuba en l (aplicable exclusivamente para camiones de agua)
- 15) **Bloque de ferrocarril:** En este bloque se detalla de acuerdo a los datos obtenidos, la disposición de transporte por ferrocarril para transporte de mineral, de acuerdo a las siguientes características:
 - Tipo de ferrocarril
 - Distancia a recorrer en km
 - Equipo de que se tratar
 - Número de vagones y locomotoras del ferrocarril
 - Marca de la locomotora
 - Modelo de la locomotora
 - Número de Conductores
- 16) **Empleados:** Hace referencia al número de trabajadores empleados en la explotación.

- 17) **Puerto:** Hace referencia al puerto de embarque asociado a la explotación.
- 18) **Explosivo:** Hace referencia al tipo de material explosivo utilizado en la explotación para realizar las voladuras.

6.3 Creación de la base de datos de maquinaria comercializada

Debido a la gran cantidad de vehículos recopilados en la base de datos, se decidió crear un código alfanumérico propio que facilitara la búsqueda y la identificación de cada elemento introducido en la misma.

El código consiste en 5 letras iniciales, siendo las dos primeras las que indican el tipo de vehículo, y las 3 últimas la marca, seguidas de 4 números que representan por parejas, la categoría en la cual se engloba el equipo y el modelo en concreto dentro de esa categoría.

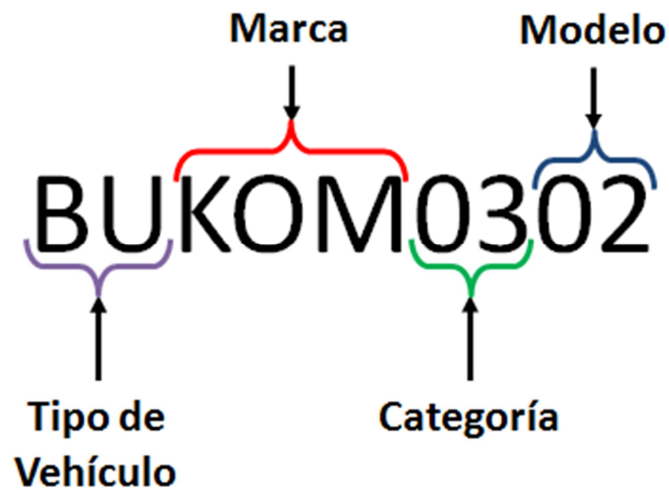


Figura 12. Ejemplo del código empleado para un vehículo.

Tipo	Código	Empresa	Código
Bulldozers	BU	<i>Atlas Copco</i>	ATL
Camiones de Agua	WT	<i>Belaz</i>	BEL
Cargadoras	CA	<i>Bucyrus</i>	BUC
Motoniveladoras	MO	<i>Caterpillar</i>	CAT
Mototraíllas	MT	<i>Cubex</i>	CUB
Perforadoras	PE	<i>Doosan</i>	DOO
Trituradoras	TR	<i>Hitachi</i>	HIT
Vehículos de Servicio	MS	<i>Komatsu</i>	KOM
Volquetes	VO	<i>Letourneau</i>	LET

Tabla 8. Códigos usados para identificar el tipo de vehículo y la empresa fabricante del mismo.

En la Tabla 8 se exponen los códigos implementados para identificación del tipo de vehículo y la marca, mientras que en la Tabla 9 se expone el código para identificar la categoría donde se agrupa el equipo, según la característica seleccionada para cada tipo de vehículo.

Al igual que la base de datos descrita en el Capítulo 6.3, esta base de datos se ha desarrollado en entorno de Microsoft Access, introduciendo los datos inicialmente en una tabla de Excel. En esta tabla se han reflejado los datos públicos disponibles a través de los catálogos comerciales que exponen las compañías representadas en la Tabla 18.

BULDOZERS							
Categoría Potencia (kW)	< 350		350-650			> 750	
Subcategoría Potencia (kW)	< 350		350-450	550-650	> 750		
Código	01		02	03	04		
MOTONIVELADORAS							
Categoría Potencia (kW)	< 160		160-350			> 350	
Subcategoría Potencia (kW)	< 160		160	200	> 350		
Código	05		06	07	08		
CARGADORAS							
Categoría Carga Útil (t)	< 40		40-63			> 63	
Subcategoría Carga Útil (t)	< 20	20-25	30-35	40-50	63	77	> 90
Código	09	10	11	12	13	14	15
VOLQUETES							
Categoría Carga Útil (t)	< 154		154-255			> 255	
Subcategoría Carga Útil (t)	< 90	90-110	127-150	154-190	218-255	290	308-363
Código	16	17	18	19	20	21	22
PERFORADORAS							
Categoría Fuerza Perforación (kN)	< 34		34-45			> 45	
Subcategoría Fuerza Perforación (kN)	< 23	27	34	45	54	> 60	
Código	23	24	25	26	27	28	

Tabla 9. Códigos usados para definir la categoría del vehículo según la característica seleccionada.

Los parámetros que se incluyeron en la tabla Excel fueron:

- 1) **Tipo:** Se clasifican:
 - Bulldozer
 - Camión de agua
 - Cargadora
 - Dragalina
 - Motoniveladora
 - Mototraílla
 - Perforadora
 - Trituradora
 - Vehículo de servicio
 - Volquete
- 2) **Marca:** Fabricante del vehículo
- 3) **Modelo:** Nombre según su identificación comercial
- 4) **Potencia:** Potencia neta medida en kW
- 5) **Fuerza de perforación:** Máxima fuerza de perforación (kN) de las perforadoras.
- 6) **Peso bruto:** Hace referencia al peso máximo del equipo. En el caso de disponer de varios valores posibles, dadas las posibles configuraciones del equipo se ha tomado un valor promedio de todos los valores facilitados en el catálogo.
- 7) **Intervalo de carga útil:** Hace referencia a los intervalos de carga en los que se agrupan volquetes y cargadoras, de acuerdo a las categorías expuestas en la Tabla 7.
- 8) **Capacidad:** Es capacidad de la cuchara de la cargadora o la caja del volquete, medida en m³. En el caso de disponer de varios valores posibles, dadas las posibles configuraciones del equipo se ha tomado un valor promedio de todos los valores facilitados en el catálogo.
- 9) **Ancho cuchilla:** Es valor máximo de la anchura (mm) de la cuchilla u hoja de trabajo de los bulldozers y las motoniveladoras.
- 10) **Intervalo de potencia:** Hace referencia a los intervalos de potencia en los que se agrupan los bulldozers y las motoniveladoras, según las categorías expuestas en la Tabla 7.
- 11) **Tamaño de cuba estándar:** Es la capacidad en litros de la cuba de los camiones cisterna (de agua).
- 12) **Área de contacto:** Es el área de contacto (m²) del tren de rodaje montado sobre oruga con el suelo. Normalmente se aplica a los bulldozers.
- 13) **Maquinaria asociada:** En este apartado se especifican los equipos sugeridos por los fabricantes como óptimos para el mejor funcionamiento del vehículo. Se aplica a volquetes y cargadoras.

6.4 Análisis de los sistemas de gestión

Paralelamente a la creación de las bases de datos se analizaron los principales sistemas de gestión que se indicaron en el Capítulo 4.2.

Para realizar este análisis se consultaron las páginas webs oficiales de los siguientes sistemas y empresas:

- *Leica Geosystems Mining*
- *Wencomine*
- *Caterpillar Mine Star*
- *Carlson Software*
- *Komatsu FrontRunner*
- *Modular Mining Systems*

Una vez consultados todos los datos disponibles en sus catálogos comerciales se realizó una comparativa extrayendo las características más importantes de cada paquete de herramientas. La comparativa se realizó mediante una tabla de Excel, en la que se introdujeron los datos obtenidos.

Las características que se estudiaron para cada sistema fueron:

A partir de esa comparativa se extrajeron una serie de conclusiones sobre los defectos que presentan estos paquetes y se propusieron una serie de medidas de mejora e implementación de los mismos, introduciendo los parámetros básicos que debería cumplir un sistema de gestión global de la maquinaria si se realizara desde cero. Los parámetros estudiados son: [CAR14] [CAT14] [KOM14] [LEI14] [MOD14] [WEN14]

- 1) **Hardware:** Si la herramienta analizada es un equipo de Hardware o no.
- 2) **Software:** Si la herramienta analizada es un programa d Software o no.
- 3) **Mantenimiento:** Si la herramienta analizada se emplea en el mantenimiento de la maquinaria o no.
- 4) **Seguridad:** Si la herramienta analizada se emplea en la seguridad de las operaciones o no.
- 5) **Optimización:** Si la herramienta analizada se emplea para obtener optimizaciones de los tiempos y costes de operación o no.
- 6) **Automatización:** Si la herramienta analizada se emplea para automatizar total o parcialmente las operaciones de explotación o no.
- 7) **Tiempo real:** Si la herramienta analizada se emplea para la captación de datos de operación en tiempo real o no.
- 8) **Instalado en el vehículo:** Si la herramienta es un equipo de Hardware o programa de Software que necesita ser instalado en el interior del vehículo o no.
- 9) **Instalado en PC central:** Si la herramienta es un equipo de Hardware o programa de Software que necesita ser instalado en un ordenador central o no.

- 10) **GPS:** Si la herramienta analizada dispone de sistema de geolocalización vía GPS o no.
- 11) **WiFi:** Si la herramienta analizada permite la transmisión de información vía WiFi o no.
- 12) **3G:** Si la herramienta analizada permite la transmisión de información vía red 3G o no.
- 13) **CAD:** Si la herramienta analizada es compatible con los programas CAD de dibujo o no.
- 14) **Característica Principal:** Señala cual es la característica más relevante, la que define la esencia de la herramienta.

7 RESULTADOS

El análisis de resultados se clasifica en función de dos datos: producción de la explotación y número de equipos, estableciendo relaciones entre cantidad de material extraído, y número de equipos necesarios para ello de acuerdo a su carga útil. Asimismo se han establecido correlaciones entre los diferentes equipos utilizados en el proceso productivo.

7.1 Resultados sobre el análisis de las bases de datos creadas

Mediante el análisis de los datos recogidos en la base de datos descrita en los Capítulos 6.2 y 6.3, se intentaron establecer posibles relaciones entre las capacidades de producción anual de cada explotación y el número de equipos de maquinaria empleados.

Para realizar este estudio se realizó inicialmente un filtrado de los datos creando una tabla resumen que aglutinara las minas analizadas, con el tipo y número de elementos de maquinaria que tienen. Este filtrado se expone en la Tabla 10.

El primer análisis de los datos expuestos en la Tabla 10 indica que se tienen datos representativos de 17 explotaciones mineras, que presentan 457 volquetes, de los cuales se tiene información de la marca y modelo de 386 unidades, y 163 cargadoras, de las cuales se tiene a su vez información de la marca y modelo de 142 unidades.

En cuanto a la maquinaria auxiliar, respecto a la maquinaria de perforación se conocen datos de 77 unidades, de los bulldozers se tiene información acerca de 54 unidades, y las motoniveladoras presentan 74 unidades en la base de datos.

El número medio de vehículos de cada tipo para una producción media estimada de 31 Mtpa (millones de toneladas por año) puede verse en la Figura 13.

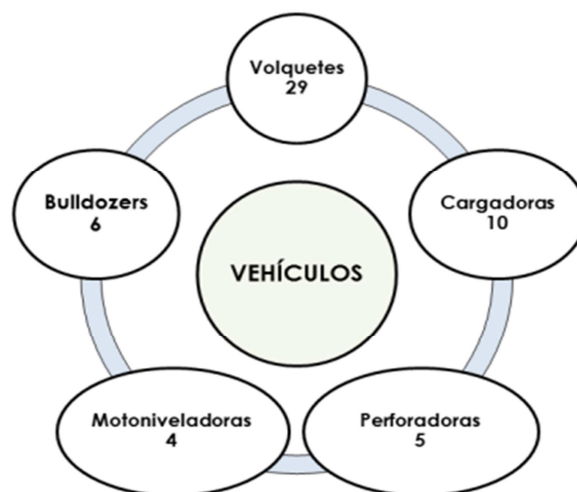


Figura 13. Número medio de vehículos para una producción media de 31 Mtpa.

Análisis de las Necesidades de Maquinaria en Minas de Mineral de Hierro a Cielo Abierto.

Mina	Producción (Mtpa)	Volquetes				Cargadoras				Perforadoras	Motoniveladoras	Bulldozers
		Nº	<154 t	154-255 t	>255 t	Nº	<40 t	40-63 t	>63 t			
Hamersley	107	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	8	N.I.	N.I.
Simandou	95	62	N.I.	N.I.	N.I.	9	N.I.	N.I.	N.I.	8	9	8
Kami	60	31	0	0	31	8	3	5	0	4	4	7
Yandicoogina	53.7	23	0	23	0	9	7	2	0	3	2	5
Hope Downs	31.7	22	0	22	0	12	9	3	0	8	6	4
West Angelas	29.5	43	0	38	5	5	N.I.	N.I.	N.I.	6	4	7
Mt Tom Price	28	35	4	31	0	12	3	9	0	N.I.	4	5
Mont-Wright	24	30	0	30	0	3	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.
Brockman 4	22	22	4	18	0	10	4	6	0	5	2	6
Carol Lake	17	28	0	23	5	6	0	6	0	8	N.I.	N.I.
Marandoo	15	16	0	16	0	9	9	0	0	3	2	3
Channar	11	32	9	21	0	16	9	5	0	5	5	8
Khumani	10	11	N.I.	7	N.I.	3	3	0	0	3	N.I.	N.I.
Eastern Range	9.4	32	9	21	0	16	9	5	0	5	5	8
Brockman	8.7	22	4	18	0	15	15	0	0	3	3	2
Nammuldi	6	22	4	18	0	16	16	0	0	3	3	2
Paraburdoo	2.1	26	4	21	0	14	9	5	0	5	5	9
TOTAL	530	457	38	307	41	163	96	46	0	77	54	74
PORCENTAJE			10%	80%	11%		68%	32%	0%			
MEDIA	31.18	29	3	20	3	10	7	4	0	5	4	6

Tabla 10. Tabla resumen de la maquinaria analizada.

7.1.1 Relación entre número de vehículos y producción

Tras analizar los datos mostrados en la Tabla 10, se hizo una valoración para comprobar la relación de la maquinaria con la producción obtenida. Esta relación gráfica puede verse en el Gráfico 1.

Se comprueba que no existe una relación directa entre número de equipos necesarios y producción anual, al menos con los datos recabados. Es más, en el caso de las cargadoras, las motoniveladoras, las perforadoras y los bulldozers, todas las explotaciones disponen de un número de equipos similar, independientemente de la producción, dado que es necesario disponer de un número mínimo de equipos para poder mantener unos mínimos volúmenes de explotación. A la vista del Gráfico 1, se puede concluir que el número de volquetes parece ser el parámetro que más puede influir en la producción.

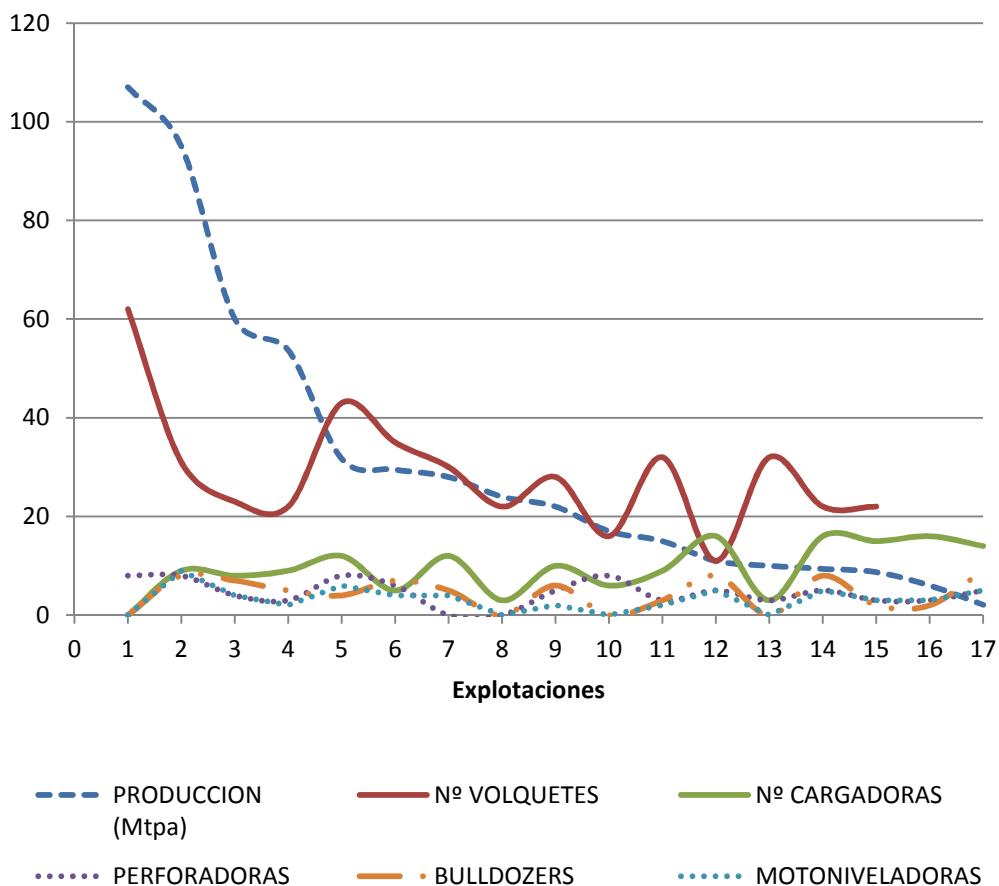


Gráfico 1. Relación entre producción y maquinaria empleada en la explotación.

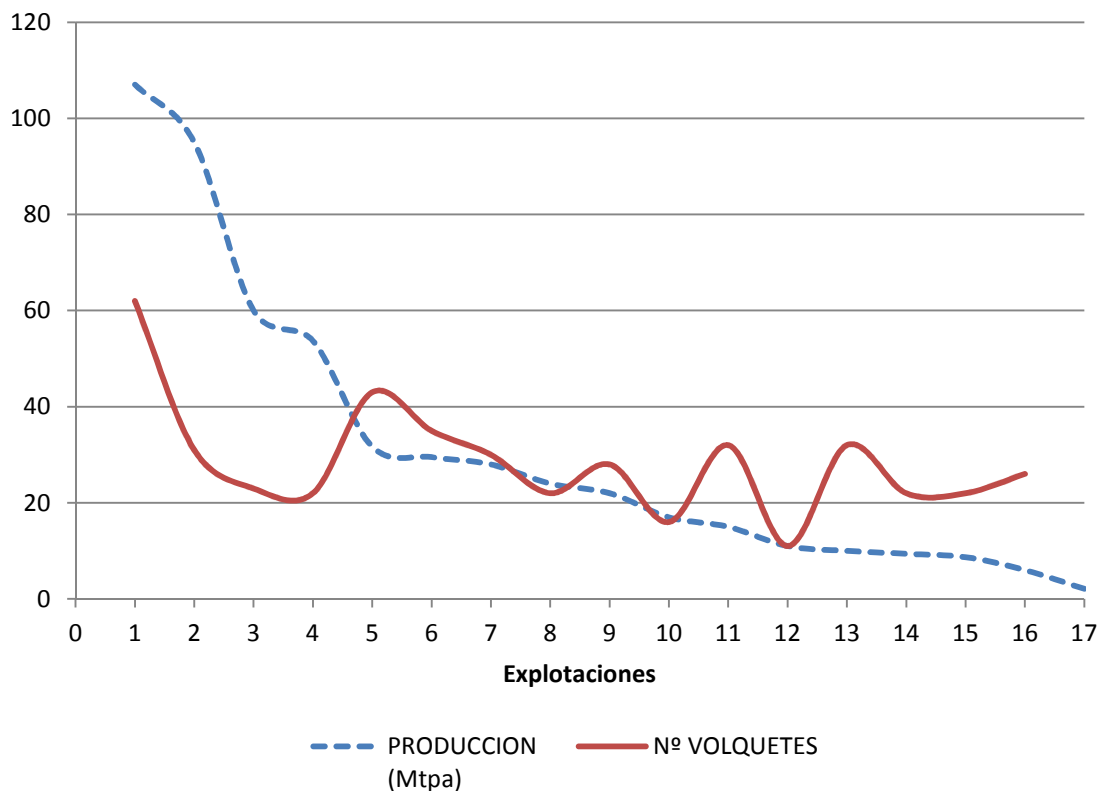


Gráfico 2. Relación entre el número de volquetes y la producción anual.

En el Gráfico 2 puede observarse una ampliación del Gráfico 1, en la que se han filtrado sólo los datos correspondientes al número de volquetes y a la producción.

A la vista de los resultados que ofrece el Gráfico 2, si parece existir una ligera relación entre el número de volquetes y la producción anual de las minas. Como parecía lógico a mayores producciones es necesario un mayor número de volquetes, aunque dado el limitado número de casos disponibles no se puede afirmar esta relación con total rotundidad. Debido a la naturaleza cambiante de los entornos mineros no se ha contemplado en esta relación la influencia que podría tener la distancia que recorren los volquetes, desde el tajo hasta la zona de descarga del material la cual podría influir notablemente en esta relación.

En cuanto al tipo de volquete empleado, en la mayor parte de las explotaciones se emplean vehículos de tamaño medio (Categoría: 154-255 t, subcategorías 19 y 20 de la Tabla 7). Hasta el 79,5 % de los volquetes empleados en este tipo de explotación pertenece a esta categoría, como se refleja en el Gráfico 3.

Análisis de las Necesidades de Maquinaria en Minas de Mineral de Hierro a Cielo Abierto.

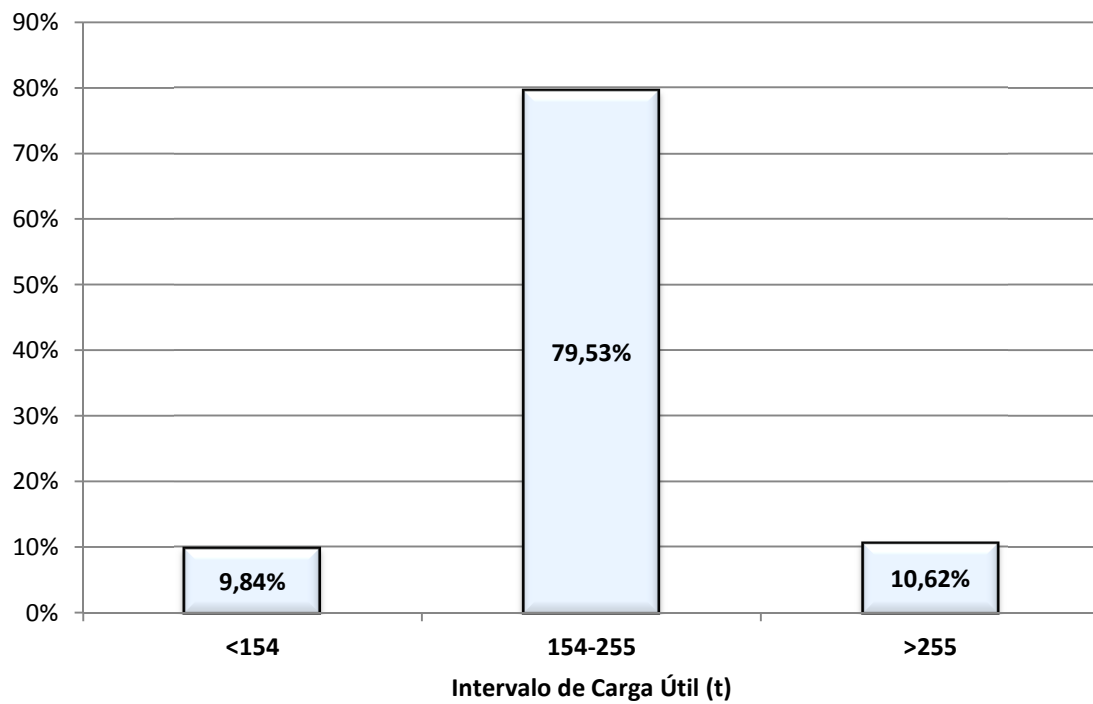


Gráfico 3. Porcentaje de uso de cada categoría de volquete.

De los modelos disponibles en el mercado los utilizados con mayor frecuencia pertenecen a la marca *Komatsu*, y se trata de los modelos 830E y 730E.



Figura 14. Modelo de volquete Komatsu 830E, el más empleado en las explotaciones analizadas. [KOM14a]

En el Gráfico 4 se presentan las curvas de producción frente a número de cargadoras. Se puede observar que no existe una relación directa entre la producción anual y el número de cargadoras, es decir independientemente de la producción, todas las explotaciones mantienen un número mínimo de cargadoras necesarias para mantener la producción. En conclusión cada explotación debe disponer de un número mínimo de cargadoras, pero no así de volquetes, ya que bastaría con programar más viajes de los mismos para mover una producción. Con una sola cargadora se pueden llenar numerosos volquetes en el frente.

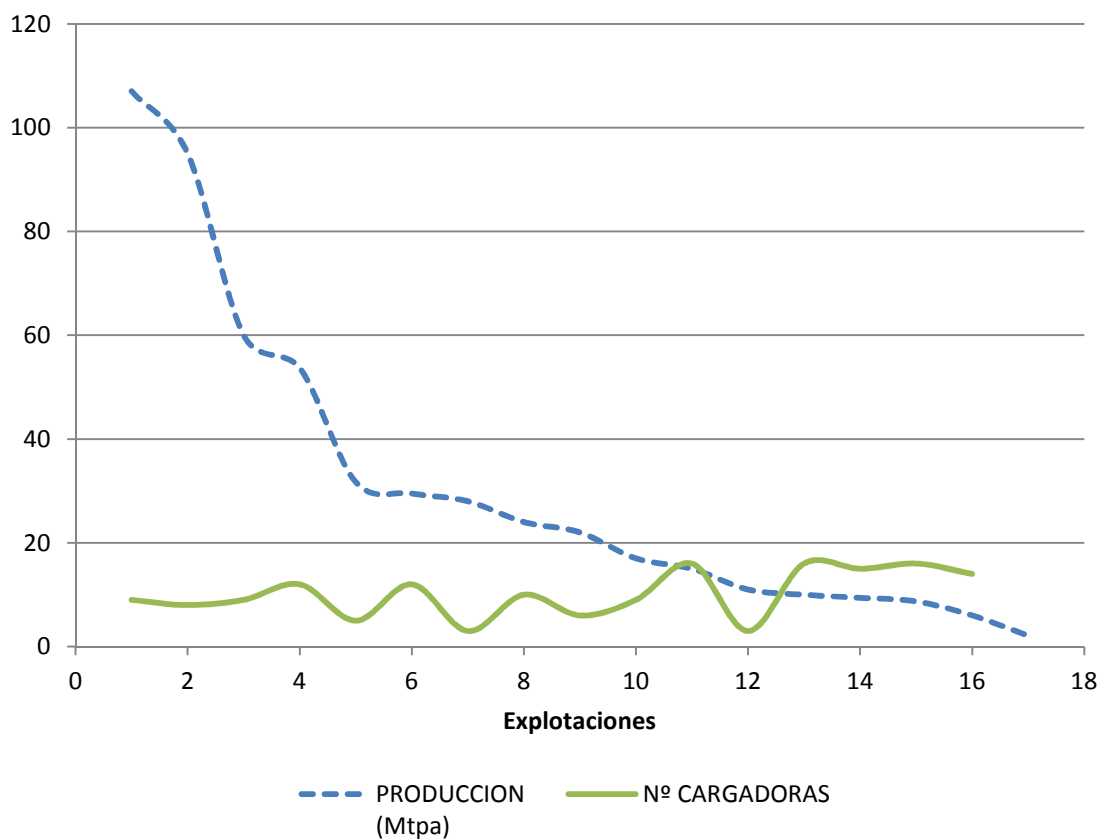


Gráfico 4. Relación entre el número de cargadoras y la producción anual.

De acuerdo con los datos recogidos en la Tabla 10, puede observarse que todas las explotaciones disponen de una combinación de cargadoras de tamaño medio, destinadas a las labores de carga en los tajos de explotación, y de cargadoras pequeñas destinadas a labores auxiliares, siendo mayor el número de las segundas que de las primeras (68 % frente al 32 %), es decir se necesita un número pequeño de cargadoras en las frentes para llenar los volquetes, normalmente se asocian 1 o 2 cargadoras por frente, y se encargan de llenar toda la flota de volquetes. En ninguna de las minas estudiadas se utilizan cargadoras de la categoría mayor, lo cual se debe a que el tamaño de los tajos y las bermas de la explotación hace inviable su uso. En el Gráfico 5 se recoge en forma de porcentajes el número de cargadoras de cada categoría empleadas.

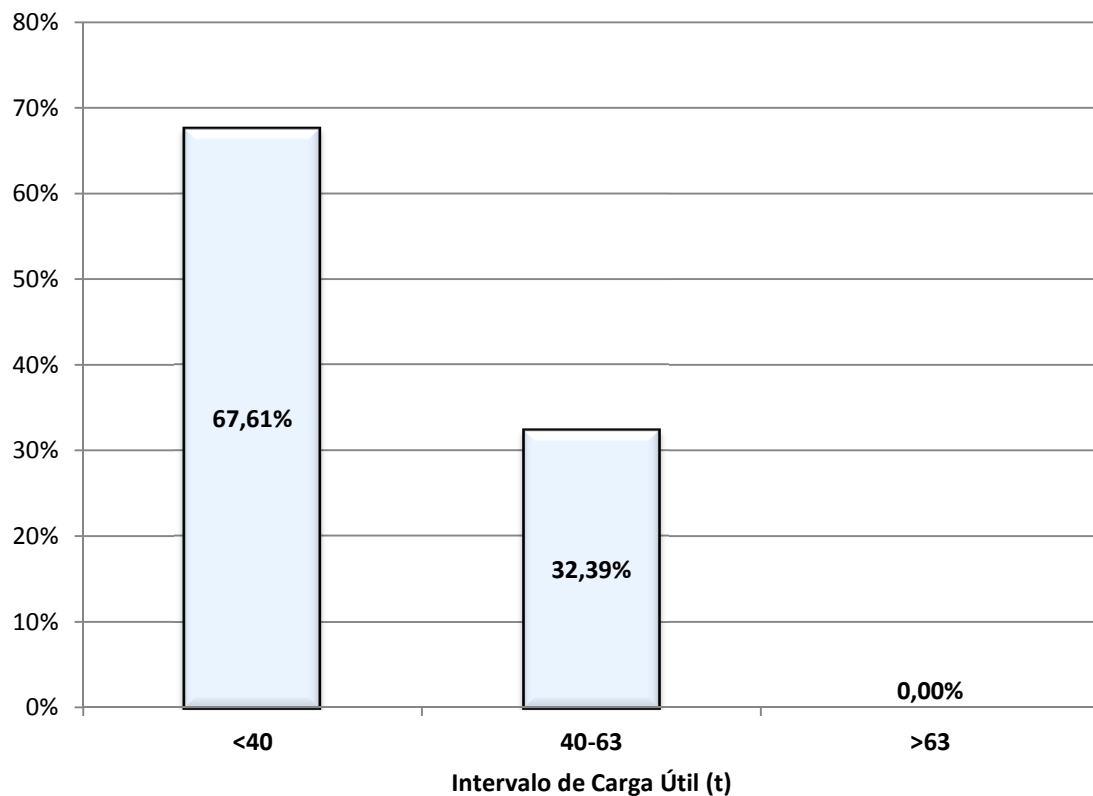


Gráfico 5. Porcentaje de uso de cada categoría de cargadora.

Respecto a los modelos más empleados, existe gran variedad en cuanto a fabricantes siendo los mayoritariamente adquiridos de las marcas *Komatsu*, *Hitachi* y *Caterpillar*, líderes por otro lado en la fabricación de estos equipos.

El siguiente paso del análisis fue buscar la relación que pudiera existir entre el número de cargadoras y el de volquetes. Como se indica en el Capítulo 5.5 estos dos vehículos son los decisivos a la hora de programar la producción, y son los dos que están más íntimamente relacionados entre sí. En el Gráfico 6 puede observarse que parece existir una relación N° Volquetes-N° Cargadoras, ya que las curvas de volquetes y cargadoras siguen trayectorias bastante paralelas, es decir a mayor número de volquetes, mayor es número de cargadoras necesarias. Dado que el número de cargadoras tiene un valor mínimo por debajo del cual no se puede explotar al ritmo deseado, puede concluirse lo mismo debe para los volquetes.

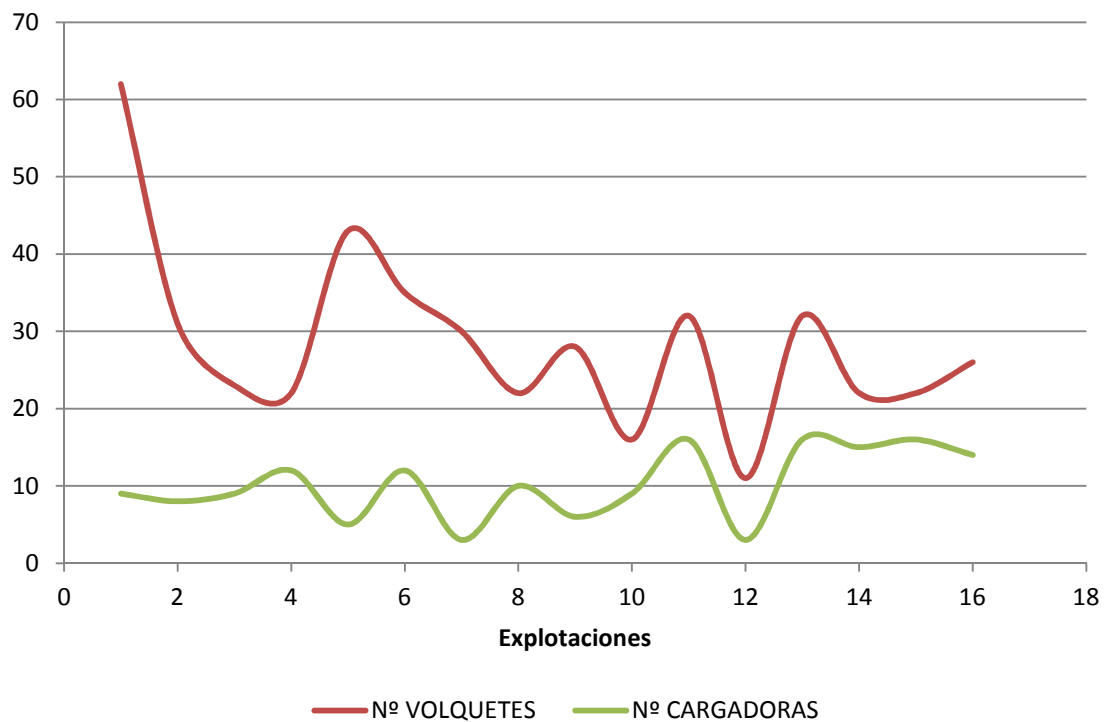



Gráfico 6. Relación entre el número de volquetes y el número de cargadoras.

La relación entre los volquetes y las cargadoras no acaba sólo en el número, sino que prosigue con la relación entre el número de paladas que necesita la cargadora para llenar la caja del volquete. El número de paladas necesarias delimita el tiempo de carga necesario, que debe ser incluido en el cálculo del tiempo de viaje de cada volquete. Por tanto se debe ajustar lo más posible el número de paladas de carga, es decir, no usar cargadoras excesivamente pequeñas para volquetes grandes, porque el número de paladas se incrementaría notablemente, aumentando el tiempo de viaje, y por tanto se aumentaría el consumo de gasóleo y se disminuiría la productividad.

En general son los propios fabricantes de cargadoras los que indican en sus catálogos comerciales el volquete adecuado, y suelen recoger tablas y gráficos que indican el número de paladas necesarias para llenar la caja del volquete.



	1900AL	2300XPC	2800XPC
Nominal Pay Load	18 mt	45.4 mt	59.0 mt
	20 st	50 st	65.0 st
SAE struck	9.9 m ³	18.3 - 25.5 m ³	26.8 - 33.6 m ³
	13.0 yd ³	24.0 - 33.0 yd ³	35.0 - 44.0 yd ³
Nominal Dipper Capacity - SAE 2:1	10.7 m ³	20.2 - 27.8 m ³	29.2 - 36.6 m ³
	14 yd ³	26.7 - 36.7 yd ³	38.1 - 47.9 yd ³
Truck Class Match			
360t - 400st (400 mt)			6 Pass
300t - 330st (330 mt)		7 Pass	5 Pass
218t - 240st (240 mt)		5 Pass	4 Pass
181t - 200st (200 mt)	10 Pass	4 Pass	3 Pass
154t - 170st (170 mt)	9 Pass	3 Pass	3 Pass
136t - 150st (150 mt)	8 Pass	3 Pass	2 Pass
109t - 120st (120 mt)	6 Pass	2 Pass	2 Pass

Figura 15. Número de paladas necesarias para excavadoras de cables (marca P&H). [P&H14]

En la Figura 15 pueden verse 3 modelos de excavadoras de cables de la marca P&H, con la capacidad nominal de carga y el número de paladas necesarias para llenar un volquete. Por ejemplo, para llenar un volquete de 120 t, el modelo 1900AL necesita 6 paladas, ya que su carga nominal es de 18 t, mientras el modelo 2800XPC sólo necesita 2 paladas al tener una carga nominal de 59 t. En el caso del modelo 1900AL, el tiempo de carga se incrementa hasta el triple que el tiempo de carga del modelo 2800XPC. En la selección de una cargadora u otra, además de los criterios expuestos en el Capítulo 5.5.1 debe tenerse en cuenta el volquete asociado en el frente.

La relación de paladas puede encontrarse tanto en los catálogos de especificaciones técnicas de las cargadoras como en el caso de los volquetes. En la Figura 16 puede observarse la relación que la marca *Komatsu* incluye en los catálogos tanto de volquetes como de cargadoras. En el caso de P&H incluía volquetes genéricos, ya que esta empresa sólo fabrica modelos de cargadoras, pero *Komatsu* ofrece a sus clientes tanto cargadoras como volquetes, por lo que indica la maquinaria asociada y el número de paladas. Así por ejemplo para un volquete 830E, el más usado en las minas analizadas, *Komatsu* asigna como cargadoras asociadas los modelos PC4000, PC5500 y PC8000. En la Tabla 11 se ejemplifica el uso de este tipo de información.

Typical Number of Passes to Load

		Komatsu Trucks							
		HD785 100 ton	HD1500 159 ton	730E 200 ton	830E-AC 244 ton	860E-1K 280 ton	930E-4 320 ton	930E-4SE 320 ton	960E 360 ton
KOMATSU EXCAVATORS	PC2000 15.7 yd ³	4	7						
	PC3000 19.5 yd ³	4	6	7					
	PC4000 29 yd ³	3	4	5	6	6			
	PC5500 37 yd ³		3	4	5	5	6	6	7
	PC8000 55 yd ³				3	3	4	4	5

Nominal truck payload rating (short tons)
Bucket ratings are based on 1780 kg/lcm 3,000 lbs/lcy material density.

Figura 16. Relación de paladas de carga entre volquetes y cargadoras de la marca Komatsu. [KOM14b]

Volquete	Capacidad (m ³)	Cargadora	Capacidad (m ³)	Paladas
830E	117	PC8000	42	3
		PC5500	29	5
		PC4000	22	6

Tabla 11. Ejemplo de volquete y cargadoras asociadas, con el número de paladas de llenado. [KOM14b]

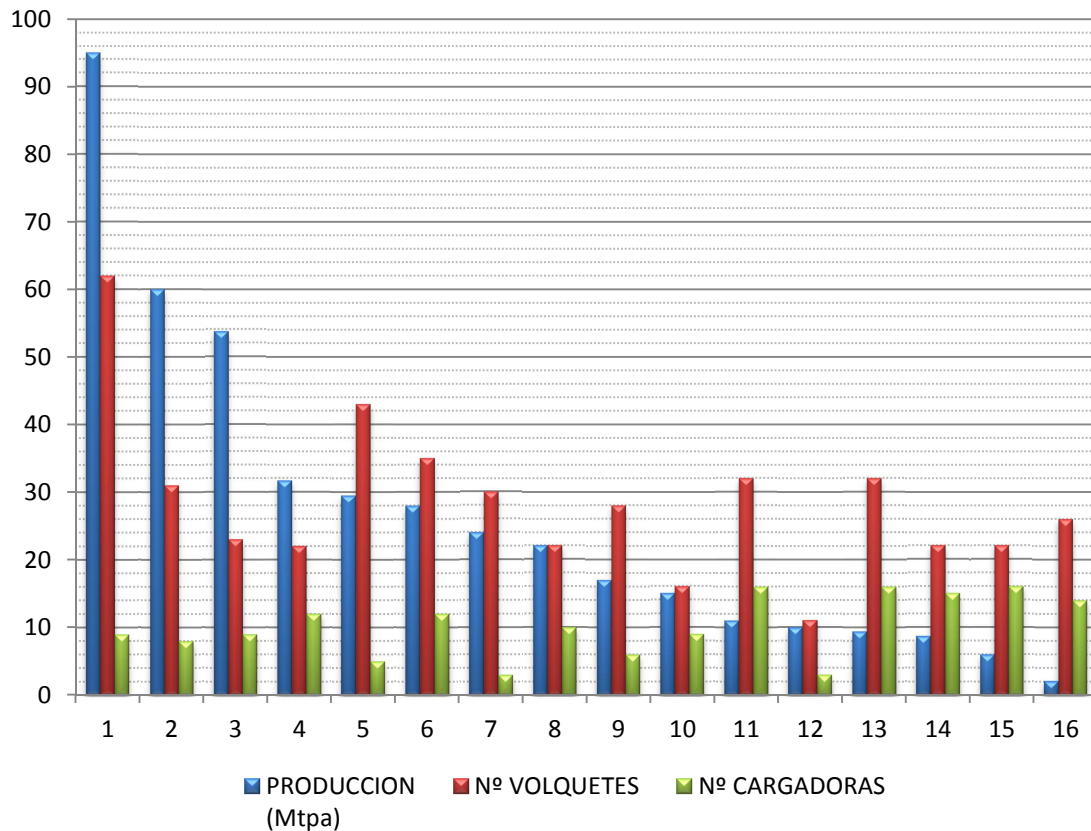


Gráfico 7. Gráfico resumen de producción frente al número de cargadoras y volquetes.

En cuanto a la maquinaria auxiliar, todas las explotaciones deben disponer de un número mínimo de bulldozers y motoniveladoras, para el correcto desarrollo de las labores. En principio no parece que exista una relación directa entre estos elementos y la producción, ya que ninguno de estos dos vehículos suelen estar directamente relacionados con las labores de arranque, carga y transporte.

Sin embargo los equipos que si pueden tener una notable influencia en la producción de la mina son las perforadoras. Normalmente el número de perforadoras de las explotaciones analizadas es bajo (ver Tabla 10). Esto indica que el número de perforadoras, como sucedía con la maquinaria de movimiento de tierra, debe tener un mínimo que asegure poder mantener el ritmo de producción. Debido a que el sistema de arranque es discontinuo en este tipo de explotación, las acciones de perforación se realizan mientras se carga y transporta en la parte anterior del banco, por lo que se puede programar el uso de estos equipos convenientemente, sin necesidad de tener disponibles un gran número de ellos. Por consiguiente, no se observa tampoco que exista una relación directa entre la producción y el número de perforadoras, como indica el Gráfico 8.

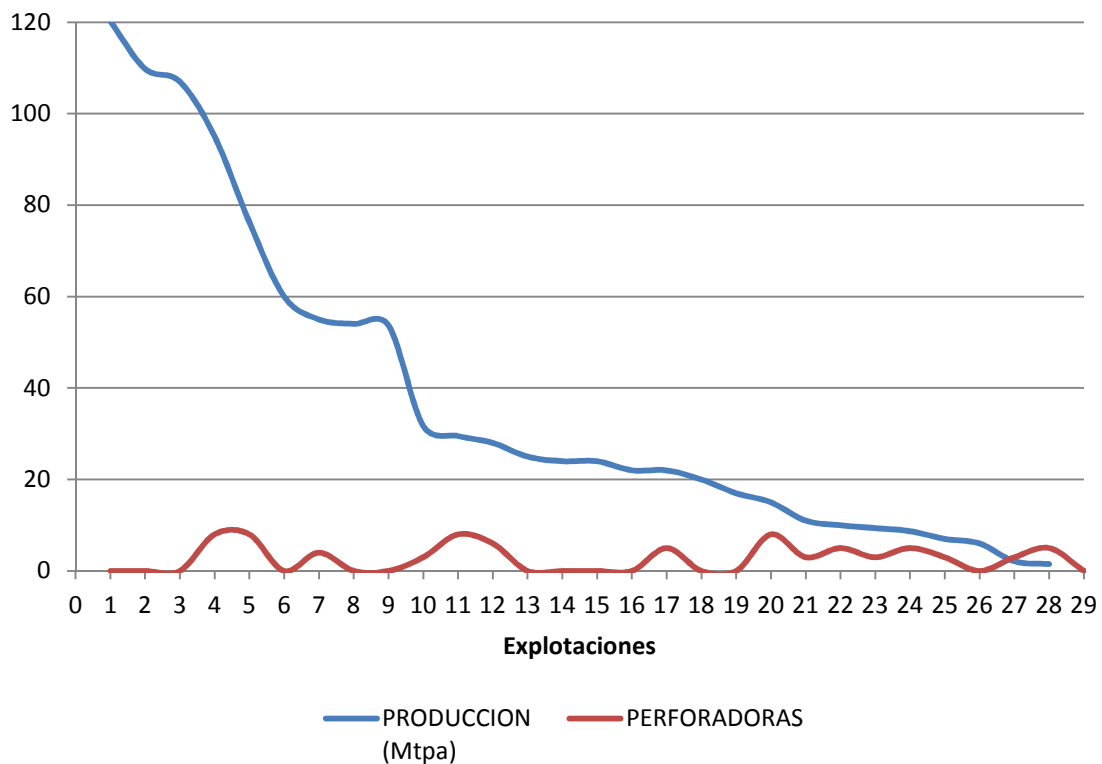


Gráfico 8. Relación entre el número de perforadoras y la producción anual.

7.1.2 Relación entre la capacidad real de carga y transporte de la flota y la producción

Visto los resultados obtenidos en el Capítulo 7.1.1, el siguiente paso en la realización del estudio fue el obtener relaciones específicas, es decir fijar la relación producción vs. Capacidad real de la flota y no con el número de vehículos disponibles.

Para ello se analizaron convenientemente los datos recopilados en la base de datos descrita en el Capítulo 6.2. Tras un análisis detallado de los mismos y observando las ubicaciones geográficas de cada una de las explotaciones se concluyó que varias explotaciones tenían los parques de maquinaria conjuntos. Las minas que se analizan pertenecen en su mayoría a la empresa británica *Rio Tinto*, que explota más de una docena de minas en la cuenca ferrítica de Pilbara en Australia Occidental.

En esta cuenca se encuentran varias minas juntas en una extensión de terreno relativamente pequeña, por lo que en realidad podrían considerarse como una sola, con varios frentes de arranque diferentes. Este es el caso de las minas de Channar, Eastern Range y Paraburdoo por un lado y Brockman y Nammuldi por otro. Por tanto se agrupó la maquinaria y la producción de estas minas para poder obtener estas categorías específicas.

En la Tabla 12 se expresan los datos obtenidos y los ratios calculados entre las capacidades totales de las flotas de cargadoras y volquetes, tomando como parámetro de referencia el volumen de la caja del vehículo que indica el

fabricante en los catálogos de especificaciones técnicas, frente a la producción de la explotación analizada expresada en millones de toneladas anuales (Mtpa).

En la Tabla 13 se exponen los datos de todos los volquetes de cada explotación, separados por las categorías expuestas en la Tabla 7, detallándose el volumen de la caja estándar y la capacidad total de la flota de cada explotación. En el cálculo de esta capacidad no se ha incluido ningún factor de simultaneidad, ya que con la información obtenida no podía saberse el ratio de uso de cada elemento, y por tanto cuantos volquetes trabajan simultáneamente y cuantos se encuentran parados en cada turno de trabajo, por lo que se considera la capacidad de la flota como la suma de todos los elementos.

En la Tabla 14 se realiza la misma exposición de datos para las cargadoras, con los mismos criterios que se siguieron para los volquetes. En este caso se ha hecho una salvedad. Aquellas máquinas cuya capacidad fuera inferior a 10 m³ no fueron incluidas como cargadoras de volquetes. Esto es debido a que máquinas tan pequeñas, en general palas cargadoras, no tienen altura suficiente de brazo para descargar sobre la caja del volquete, por lo que son empleadas en trabajos auxiliares, como puede ser la alimentación de tolvas, el movimiento de tierras auxiliando bulldozers o motoniveladoras, etc.

Explotación	Producción (Mtpa)	Capacidad Total Volquetes (m ³)	Ratio Volquete/Producción	Capacidad Total Cargadoras (m ³)	Ratio Cargadora/Producción	Ratio Volquete/Cargadora
Kami	60,0	5.921,0	98,7	161,2	2,7	36,7
Yandicoogina	53,7	2.291,0	42,7	269,0	5,0	8,5
Hope Downs	31,7	2.574,0	81,2	240,0	7,6	10,7
Mt Tom Price	28,0	3.787,0	135,3	272,9	9,7	13,9
Mont-Wright	24,0	3.300,0	137,5	105,0	4,4	31,4
Channar Eastern Range Paraburdoo	22,5	3.194,5	142,0	164,3	7,3	19,4
Brockman 4	22,0	2.256,6	102,6	160,4	7,3	14,1
Carol Lake	17,0	3.546,0	208,6	184,8	10,9	19,2
Marandoo	15,0	1.232,0	82,1	145,6	9,7	8,5
Brockman Nammuldi	14,7	1.546,0	105,2	221,8	15,1	7,0
Media	48,5	3.595,3	74,2	223,4	5,1	18,7

Tabla 12. Cuadro resumen de las variables específicas obtenidas.

Análisis de las Necesidades de Maquinaria en Minas de Mineral de Hierro a Cielo Abierto.

Minas	Producción (Mtpa)	Volquetes Totales	Categoría < 154			Categoría 154-255			Categoría > 255			Capacidad Total (m³)
			Nº	Modelo	Capacidad (m³)	Nº	Modelo	Capacidad (m³)	Nº	Modelo	Capacidad (m³)	
Brockman Nammuldi	14,7	22	4	KOM HD785-7	40,0	18	KOM 730E	77,0				1.546,0
Brockman 4	22,0	22	3	CAT 777F	60,2	16	KOM 830E-AC	117,0				2.256,6
			1	CAT 3900D	50,0	2	KOM 730E	77,0				
Carol Lake	17,0	28				23	KOM 830E	117,0	5	KOM 930E	171,0	3.546,0
Channar Eastern-Range Paraburdoo	22,5	32	5	CAT 777D	60,1	20	TER MT4400	122,0				3.194,5
			4	CAT 785C	78,0	1	CAT 793	142,0				
Hope Downs	31,7	22				22	KOM 830E	117,0				2.574,0
Kami	60,0	31							31	KOM 930E-4SE	191,0	5.921,0
Marandoo	15,0	16				16	KOM 730E	77,0				1.232,0
Mont-Wright	24,0	30				30	N.I.	110,0				3.300,0
Mt Tom Price	28,0	35	4	KOM HD785-7	40,0	31	KOM 830E-AC	117,0				3.787,0
West Angelas	29,5	43				10	KOM 730E	77,0	5	KOM 930E	171,0	4.901,0
						28	KOM 830E	117,0				
Yandicoogina	53,7	23				10	KOM 730E	77,0				2.291,0
						13	KOM 830E	117,0				

Tabla 13. Cuadro resumen de los volquetes empleados en las minas analizadas.

Análisis de las Necesidades de Maquinaria en Minas de Mineral de Hierro a Cielo Abierto.

Minas	Producción (Mtpa)	Cargadoras Totales	Categoría < 40			Categoría 40-63			Categoría > 63			Capacidad Total (m³)
			Nº	Modelo	Capacidad (m³)	Nº	Modelo	Capacidad (m³)	Nº	Modelo	Capacidad (m³)	
Brockman Nammuldi	14.7	11	4	CAT 992G	12.3							221.8
			3	CAT 993K	23.7							
			2	KOM WA 1200	35.0							
			1	HIT EX 1900	15.0							
			1	HIT EX 2500	16.5							
Brockman 4	22.0	6				3	HIT 5500-6	29.0				160.4
						2	L1850	25.2				
						1	HIT 3600-6	23.0				
Carol Lake	17.0	6				4	P&H H2800	33.6				184.8
						2	LET L1850	25.2				
Channar Eastern Range Paraburdoo	22.5	8	1	HIT EX 2500	16.5	1	O&K RH200C	30.5				164.3
			1	CAT 992	12.3	4	HIT EX 3600	23.0				
			1	KOM WA 900	13.0							
Hope Downs	31.7	10	3	KOM WA 1200	35.0	2	HIT EX 5500	29.0				240.0
			3	KOM WA 900	13.0	1	HIT EX 3600	23.0				
			1	HIT EX 1900	15.0							

Análisis de las Necesidades de Maquinaria en Minas de Mineral de Hierro a Cielo Abierto.

Kami	60.0	5				1	LET L1850	25.2	4	CAT 6060FSE	34.0	161.2
Marandoo	15.0	7	2	HIT EX 2500	16.5							145.6
			1	LIE R994	18.0							
			2	CAT 992G	12.3							
			2	KOM WA 1200	35.0							
Mont-Wright	24.0				3	N.I.	35.0				105.0	
Mt Tom Price	28.0	11	1	O&K RH 120	17.0	3	HIT EX 3600	23.0				272.9
			1	KOM WA 1200	35.0	2	O&K RH 170	21.0				
						1	HIT EX 5500	29.0				
						1	O&K RH 200C	30.5				
						2	LET L1850	25.2				
Yandicoogi na	53.7	7	6	KOM WA 1200	35.0	2	HIT EX3600	23.0				269.0
			1	KOM WA 900	13.0							

Tabla 14. Cuadro resumen de las cargadoras empleadas en las minas analizadas.

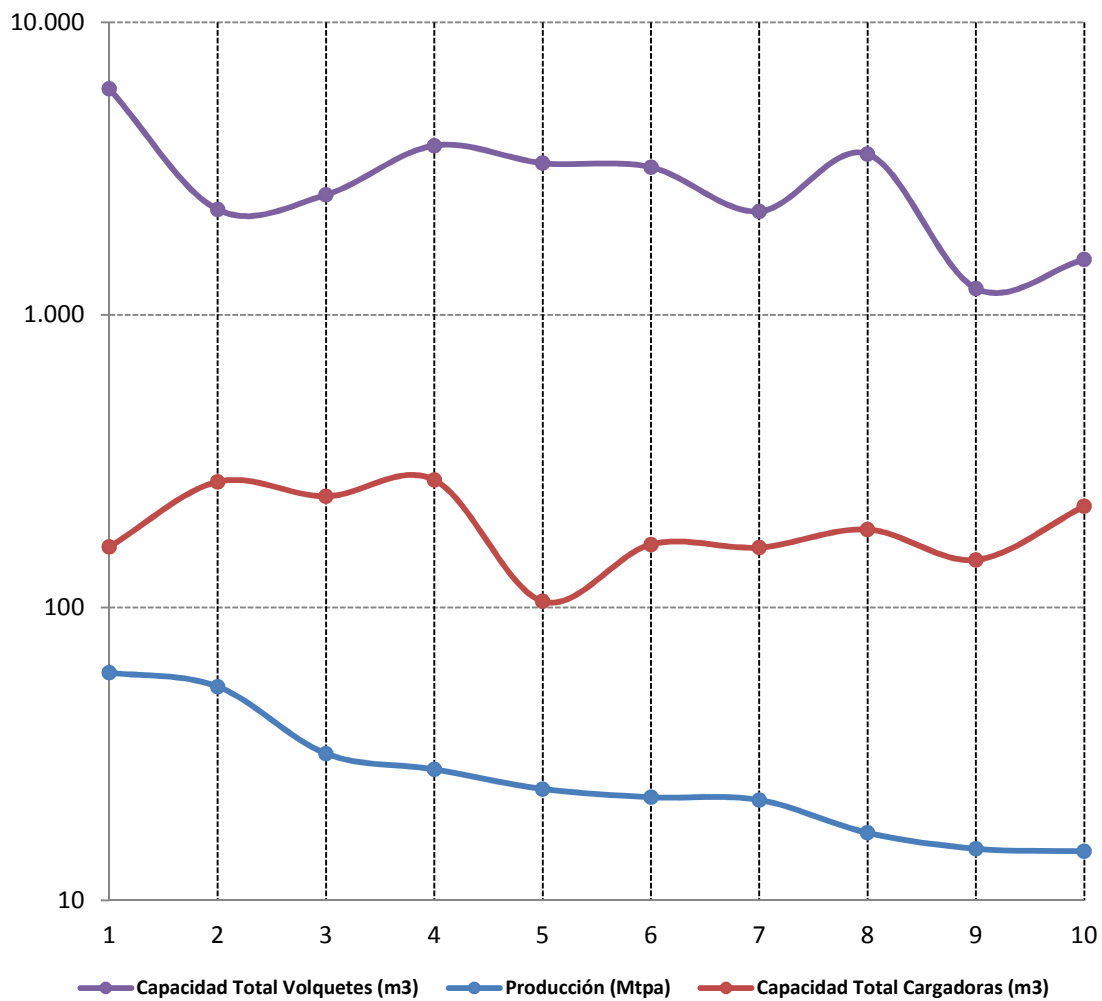


Gráfico 9. Gráfico Producción vs. Capacidad de la flota.

En el Gráfico 9 se exponen las gráficas de la producción frente a la capacidad real de la flota. Las variables específicas tienden a seguir caminos similares a las absolutas, expuestas en el Capítulo 7.1.1. Cabe indicar que el eje de ordenadas se presenta en escala logarítmica para facilitar la visión de las curvas.

No parece observarse una relación muy clara entre la producción y el número de volquetes, si bien es cierto que ambas siguen un proceso descendente. Existe un valor anómalo que rompe esa tendencia, la mina 8, que corresponde con la mina Carol Lake. Esta mina canadiense, copropiedad de *Rio Tinto* y *Mitsubishi*, tiene una capacidad de carga de volquetes muy alta, ya que presenta un ratio capacidad de carga (m³) frente a producción de casi 209, ver Tabla 12, triplicando el promedio de este dato para las demás minas. Este valor anómalo puede deberse a la climatología de la zona, en la península del Labrador, lo que puede influir en el rendimiento de las máquinas y en la programación de los viajes.

En cuanto a la relación producción capacidad total de las cargadoras, como ya indicaban las variables absolutas (ver Gráfico 4) no parece existir una

relación directa entre ambas. Como se indicó en el Capítulo 7.1.1, existe un número mínimo de cargadoras para mantener la producción, por lo que la capacidad de carga de las cargadoras es bastante estable, salvo el caso de la mina de Mont Wight que presenta un valor anómalo por lo bajo.

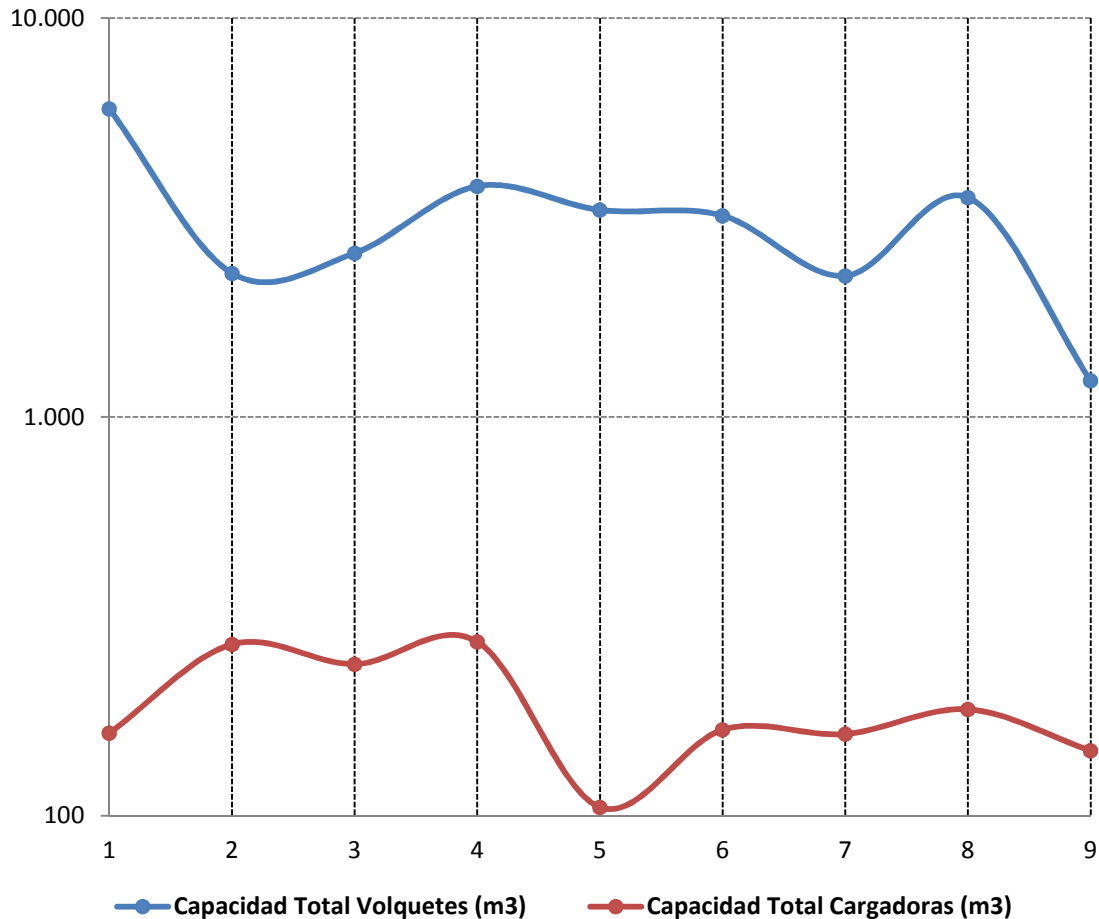


Gráfico 10. Gráfico capacidad de volquetes frente a capacidad de cargadoras.

Como se indicó en Capítulo 7.1.1 lo que si parece existir es una relación grande entre los volquetes y las cargadoras. En el Gráfico 6 podía observarse como el número total de elementos de ambos tipos de vehículos seguían trayectorias casi paralelas. En el caso de la variable específica, como se observa en Gráfico 10, las curvas no siguen una tendencia tan clara, seguramente debido a que el número de casos no es muy alto y a que el caso anómalo de la mina de Mont Wight vuelve a distorsionar el resultado.

Si parece confirmarse que a mayor producción las explotaciones tienden a usar máquinas más grandes, pero no necesariamente a aumentar el número de unidades. La tendencia actual del mercado es construir máquinas más grandes, con mayor capacidad de carga por viaje o palada, disminuyendo así el tiempo de operación. La inserción de sistemas de control remoto o automatización completa de la operación de cargadoras y volquetes facilita que estos sean cada vez más grandes.

7.1.3 Áreas ocupadas

Existe muy poca información acerca de las superficies que ocupan las explotaciones mineras. Este hecho podría deberse a dos factores:

- 1) Muchas minas se encuentran alejadas de zonas pobladas, situándose en zonas desérticas o selváticas, por lo que el número de hectáreas ocupadas no es relevante, ya que disponen de concesiones muy amplias de terreno.
- 2) En numerosas ocasiones las minas se amplían posteriormente a la concesión inicial, debido a que los yacimientos son mayores de lo que se había cubicado inicialmente. Por este motivo muchas veces las superficies ocupadas crecen bastante, lo que implica mayores impactos. Con el fin de evitar problemas legales y sociales se tiende a no promocionar estos datos.

Mina	País	Propietario	Área (ha)	Producción (Mtpa)
Mont Wight	Canadá	Arcelor Mittal	24.100	24
Kryviy Rih	Ucrania	Arcelor Mittal	4.085	24
Kami	Canadá	Alderon Iron Ore	7.625	60
Simandou	Guinea	Rio Tinto	6.400	95

Tabla 15. Minas y áreas totales. [INF14]

En único caso encontrado en que se refieren desglosadamente al área ocupada por cada parte se encuentra en el documento de la empresa *Rio Tinto* acerca del proyecto de la mina de Simandou en Guinea, *Simandou SEIA Volume I Mine, Chapter 2: Project Description The Simandou Mine, Rio Tinto Ltd.*

Análisis de las Necesidades de Maquinaria en Minas de Mineral de Hierro a Cielo Abierto.

Instalación	Área (ha)	Observaciones
Frente Ouéléba	780	47.5 Mtpa
Frente Pic de Fon	550	47.5 Mtpa
Escombrera Ouéléba	200	
Escombrera Pic de Fon	300	
Escombrera Canga Est	50	
Escombrera Ouéléba (2)	120	En reserva por si es necesaria una cuarta escombrera
Planta de tratamiento	70	Incluye trituradoras, almacenes, oficinas, laboratorios, talleres, etc.
Apilamientos	60	Incluye la estación de carga del ferrocarril
Poblado minero	50	
Zona de seguridad	2.550	Polvorín, depuradora de aguas, central eléctrica, parque de maquinaria, etc.
Carreteras y cintas transportadoras	1.670	52 km de carreteras internas 40 km de carretera de acceso 13,5 km de cinta desde los frentes a la planta 2 km de cinta desde la planta a los apilamientos
Total	6.400	°

Tabla 16. Áreas de las instalaciones del proyecto Simandou en Guinea. [SIM14]

7.2 Resultados sobre el análisis de los sistemas de gestión

Actualmente en el mercado existen numerosas herramientas, siendo las más destacadas: [CAR14] [CAT14] [KOM14] [LEI14] [MOD14] [WEN14]

- *Leica Geosystems Mining*
- *Wencomine*

- *Caterpillar Mine Star*
- *Carlson Software*
- *Komatsu FrontRunner*
- *Modular Mining Systems*

Caterpillar y *Leica* ofrecen el paquete más completo, incluyendo herramientas de gestión, automatización, mantenimiento, control del personal, riesgos laborales, etc. La multinacional japonesa de maquinaria minera *Komatsu* ha sido la última en incorporarse al mercado, y ha desarrollado un sistema de gestión automática llamado *FrontRunner* a petición de los clientes, siendo el que se encuentra en una fase más retrasada, ya que *Komatsu* sólo lo ha desarrollado a petición de sus clientes. El sistema de momento se está centrando en la herramienta de automatización total de los vehículos, es decir la conducción de los vehículos sin necesidad de conductor en el vehículo. [KOM13]

La presencia de las herramientas de automatización de los movimientos de la maquinaria que ofrecen *Leica* y *Caterpillar* los convierten en los paquetes más desarrollados, aunque el proceso de automatización se encuentra todavía en una primera fase, que avanzará en los próximos años con el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas.

Los dos factores más importantes a la hora de decidir qué sistema debe implementarse en una explotación son la disponibilidad de la herramienta de automatización (ya sea total o parcial) y el desarrollo de un sistema de posición local, que elimine los problemas de cobertura que plantea el GPS vía satélite en las oquedades mineras.

Basándose en la información comercial que presentan las compañías que han desarrollado las herramientas puede concluirse que *Leica* presenta el paquete más completo, ya que tiene comercializado un sistema de posicionamiento local, llamado *JPS*. Los paquetes más básicos son los que presentan *Wenco* y *Carlson Software*.

Las características más importantes de cada paquete de herramientas de gestión se pueden ver en la Figura 17.

Análisis de las Necesidades de Maquinaria en Minas de Mineral de Hierro a Cielo Abierto.

Herramienta	Hardware	Software	Mantenimiento	Seguridad	Optimización	Automatización	Tiempo Real	Instalado en Vehículo	Instalado en PC Central	GPS	WiFi	3G	CAD	Característica Principal	
Leica Geosystems	Jsoftware	No	Sí	Sí	Sí	Sí (KPI)	No	Sí	Sí	Sí Local (JPS)	No Indica	No Indica	No Indica	Software	
	Jfleet	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Volquete	No	Sí Local (JPS)	No Indica	No Indica	Gestión	
	J ² Guidance	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Bulldozers Perforadoras Palas Dragalinas	No	Sí Local (JPS)	No Indica	No Indica	Automatización	
	J ² Autonomous	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí Control Remoto Piloto Automático Semiautónomo Automatización Total	No	Sí Local (JPS)	No Indica	No Indica	Automatización	
	Jassist	Sí	Sí	No	No	Sí	No	Sí	No	No	Sí Local (JPS)	Sí	Sí	No Indica	GPS Local
Wencomine	Wencompass	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Sí	Sí	No Indica	Navegación
	Wencover	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Sí	Sí	No Indica	Seguridad
	Wencondition	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Sí	Sí	No Indica	Mantenimiento
	Wenconnect	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Sí	Sí	No Indica	Conectividad
	Mine Vision	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Sí	Sí	No Indica	Modelado 3D
Caterpillar Mine Star	Fleet	Sí	Sí	No	No	Sí	No	Sí	Sí Volquetes Excavadoras Motorizadoras Perforadoras Cargadoras Bulldozers	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Gestión
	Terrain	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí Excavators Graders Perforadoras Cargadoras Draglines	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Conectividad
	Detect	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí Volquetes Motorizadoras Bulldozers	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Seguridad
	Health	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí Volquetes Bulldozers	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Mantenimiento
	Command	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí Control Remoto Semiautónomo Automatización Total	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Automatización
Carlson Machine Control Mining	Mining Grade	Sí	Sí	No	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Conectividad	
	VolquetePRO	Sí	Sí	No	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Gestión	
	Manager Office	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Gestión	
	MineRover	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Red Local	
Modular Mining Systems	ProVision	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí Palas Excavadoras Bulldozers Perforadoras	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Gestión
	Dispatch	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Optimización	
	MineCare	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí (Enterprise Edition)	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Mantenimiento	
	ModularReady Interfaces	No	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Software	
	AssetAlert	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Antirrobo	
	MasterLink	Sí	Sí	No	No	Sí	No	Sí	No	No	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	GPS Local
Hardware	Sí	No	No	No	No	No	No	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Hardware		

Figura 17. Características de los principales paquetes de gestión de flotas presentes en el mercado

8 CONCLUSIONES

Las conclusiones generales que se pueden sacar del presente estudio son:

8.1 Conclusiones generales

- 1) El diseño de los equipos y su dimensionamiento, así como de los sistemas de control y gestión que deben instalarse en la explotación, deben ser definidos en la fase inicial del proyecto, una vez seleccionados el método minero y el sistema operativo.
- 2) Todas las explotaciones analizadas en este trabajo seguían el método de corta minera, con sistema operativo discontinuo de cuatro etapas, arranque, carga, transporte y vertido
- 3) La etapa de perforación se realiza mediante perforadoras rotopercutivas y voladura mediante barrenos cargados, la etapa de carga del material arrancado se realiza normalmente mediante excavadoras hidráulicas de tamaño medio y el transporte se realiza en exclusiva mediante volquetes rígidos. Las palas cargadoras se usan normalmente en operaciones auxiliares.
- 4) Los dos tipos de vehículos más importantes dentro de los tipos que constituyen una flota minera son los volquetes para el transporte y las cargadoras encargadas del acarreo del material.
- 5) Existen numerosas variedades de vehículos, sobre todo volquetes y cargadoras, en el mercado mundial, por lo que es bastante probable encontrar un modelo que se adapte bien a las necesidades de una explotación, siendo este un aspecto en el que una correcta elección de los equipos puede reducir de manera notable la inversión inicial dedicada a esta partida.
- 6) Existe poca información pública sobre el tipo y el número de maquinaria empleada en minería a cielo abierto, si bien si está disponible en lo referente a características técnicas y de operación de los elementos de la maquinaria.
- 7) Prácticamente no existe ninguna información sobre el área ocupada por las explotaciones mineras.
- 8) No parece haber una relación directa clara entre el número de volquetes usados para el transporte y la producción anual de la mina, pero si se puede concluir que el número de volquetes debe crecer con la producción.
- 9) El número de cargadoras, motoniveladoras, perforadoras y bulldozers tiene un cierto valor mínimo en todas las explotaciones analizadas, independientemente de la producción.
- 10) Si existe una relación entre el número de volquetes y el de cargadoras. Además esta relación carga-transporte se ve reflejada en los propios catálogos técnicos de las empresas fabricantes, que asocian distintos elementos de cada clase de vehículo, e indican el número de paladas necesarias para llenar el volquete.
- 11) Los sistemas de gestión y automatización analizados reducen la carga de trabajo manual y el estrés laboral del operario, eliminando

riesgos laborales, sobre todo de accidentes de los vehículos, mejoran notablemente las condiciones de trabajo y permiten reducir los tiempos de las operaciones de mantenimiento.

Lo que sí parece bastante probable es que en los próximos años las tendencias de desarrollo del sector minero se basarán en:

- 1) Creación de maquinaria de mayor tamaño, más eficiente que permita disminuir el número de viajes, optimizando los tiempos de operación.
- 2) Implementación de los sistemas de gestión hacia el desarrollo de la herramienta de automatización, bien sea parcial o total, de las operaciones de los vehículos, sobre todo de las cargadoras y de los volquetes.
- 3) La creación de sistemas de geolocalización locales, sin necesidad de prescindir del sistema GPS, pero que permita evitar los fallos de este sistemas en las oquedades mineras.

8.2 Líneas de futuro

Las líneas sobre las que se está trabajando de cara a la optimización económica de este tipo de explotaciones son la mejora de los sistemas de gestión, así como el diseño y desarrollo de nueva maquinaria.

8.2.1 Criterios de implementación de los sistemas de gestión

Los sistemas que se encuentran actualmente en el mercado presentan algunas deficiencias notables, aunque la automatización de procesos en entornos variables como los mineros hace que las modificaciones e implementaciones sean una parte fundamental del sistema.

Los sistemas que se comercializan se centran fundamentalmente en captar la información necesaria del vehículo, y el tratamiento posterior de la misma que sirve para optimizar el proceso. Sin embargo existen algunos requisitos que los sistemas de automatización deberían cumplir que no están directamente relacionados con el proceso de producción, entre los que se incluyen aspectos como la ergonomía, la seguridad, energías alternativas, etc.

Las mejoras básicas en el de diseño que deben aplicarse a los sistemas de gestión actuales se clasifican en función de que afecten al Hardware, al Software o a la red de comunicaciones.

8.2.1.1 Mejoras del Hardware

- Deben instalarse pantallas en cada vehículo, perfectamente visibles y accesibles desde la posición del operador.
- Las pantallas deben ser táctiles y con pocos botones, lo que facilita el manejo por parte del operador.
- Para mejorar la seguridad y la obtención de información relevante debe instalarse en cada vehículo un sistema de grabación digital similar a las "Cajas Negras" de los aviones.

- El Hardware instalado debe soportar las condiciones ambientales de trabajo, tanto dentro como fuera de la cabina.
- Deben instalarse escáneres 3D que permitan modelar la topografía de la explotación en tiempo real.
- Estas baterías deben ser ajenas al sistema eléctrico del vehículo para que el Hardware pueda funcionar incluso si se produce un fallo eléctrico en el vehículo.
- Las unidades de Hardware debe ser extraíble de un vehículo e insertable en otro para poder cubrir las necesidades de uso según la planificación de la producción.

8.2.1.2 Mejoras del Software

- Los programas de Software deben funcionar en cualquier sistema operativo y otros programas habitualmente utilizados.
- La interfaz de usuario debe ser intuitiva, para que el operario tarde muy poco tiempo en leer la información que le proporciona el dispositivo, y pueda ejecutar las acciones pertinentes.
- El Software debe poseer algoritmos de procesamiento de datos que permitan obtener modelos predictivos realistas. Estos modelos deben ser tanto estáticos como dinámicos, permitiendo a los operarios realizar cambios en la programación en tiempo real.
- El Software debe permitir a los ingenieros de producción crear simulaciones y modelos en los que puedan analizar diferentes escenarios y las consecuencias de cada uno en la producción.

8.2.1.3 Mejoras de la red de comunicación

- La red de posicionamiento de los vehículos debe ser doble, por un lado establecer un sistema local con antenas móviles instaladas en la propia explotación, pero por otro lado seguir usando un sistema de localización vía satélite, tipo GPS. De esta manera los dos sistemas pueden intercambiarse y utilizarse indistintamente en caso de averías, actualizaciones, mantenimiento, etc.
- La transmisión de datos debe poder realizarse mediante redes inalámbricas tipo WiFi y 3G, asegurando por un lado la cobertura total dentro de la mina y creando cifrado de seguridad para evitar la fuga de información.
- Las antenas del sistema de posicionamiento local y el Hardware instalado a la intemperie debe estar protegido contra fenómenos atmosférico como rayos, relámpagos, vientos, lluvias, etc.

8.2.2 Desarrollo de maquinaria

Las ideas actuales de los ingenieros de minas son la de desarrollar no sólo máquinas más grandes y eficientes, sino introducir conceptos que hasta ahora se habían empleado en el transporte de mercancías por carretera pero no así en el transporte de mineral. Un ejemplo de esta tendencia futura lo tenemos con la empresa alemana *ETF Mining Trucks*, que propone un diseño conceptual de un volquete, con nuevas soluciones de diseño y diversas configuraciones de equipos, en concreto empleando el concepto de tren de carretera que es muy empleado en los transportes de mercancías en países

como Australia, Canadá o Sudáfrica. Este concepto permitiría incrementar la productividad consiguiendo una reducción en el número total de equipos.



Figura 18. Modelo conceptual de volquete de la empresa EFF Mining Trucks [ETF14]

Este diseño, plantea como novedad frente a los anteriores, la posibilidad de combinar los equipos formando *Haul Trains*, que hacen posible:

- Un aumento de la carga útil
- Ahorros en el coste de operación
- Mejores condiciones de funcionamiento en condiciones de humedad y terrenos deslizantes
- Disminuyen las limitaciones de distancias de transporte de los equipos actuales.
- Aumento de la seguridad por disminución de los riesgos de colisión.

Además de lo anterior, este diseño plantea una solución de carga para los volquetes, diferente a todos los sistemas utilizados en la actualidad, consistente en un sistema autocargante, acoplable al volquete, que eliminaría en ciertos casos la necesidad de una cargadora como las utilizadas en la actualidad.



Figura 19. Modelo conceptual de sistema autocargante para volquete de la empresa EFF Mining Trucks [ETF14]

Como ventajas respecto a la reducción de mantenimiento, esta empresa calcula por ejemplo una reducción en el desgaste de neumáticos, frente a los diseños actuales, dado que su diseño hace que el número de estos sea mayor, pero menor su tamaño, y más uniforme su desgaste.

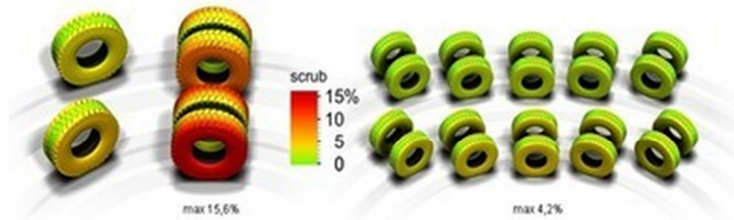


Figura 20. Esquema de simulación de desgaste de neumáticos para modelo conceptual de volquete de la empresa EFF Mining Trucks [ETF14]

9 REFERENCIAS

- [AHM14]. AHM, Archivo Histórico Minero, <http://www.archivohistoricomintero.org/index.php?showimage=9351&category=28&subcat=&author=>
- [BEL14] Camión volquete Belaz 75710 en la web oficial de la empresa Belaz, <http://www.belaz.by/en/catalog/products/dumptrucks/>
- [CAR14] Carlson Software. Obtenido en junio de 2014, desde <http://www.carlsonsw.com/solutions/mining-solutions/> y <http://www.carlsonmachinecontrol.com/products/applications/mining/index.html>
- [CAT14] Caterpillar Inc. Obtenido en junio de 2014, desde <http://www.catminestarsystem.com/> y <https://mining.cat.com/>
- [CAT14a] Catálogo de excavadoras, modelo 7495, en la web oficial de Caterpillar, <https://mining.cat.com/cda/alias/products/surface-mining/electric-rope-shovels>
- [CAT14b] Catálogo de excavadoras, modelo 6015, en la web oficial de Caterpillar, http://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/hydraulic-mining-shovels/hydraulic-mining-shovels/18318226.html
- [CAT14c] Catálogo de bulldozers de orugas, modelo D8T, en la web oficial de Caterpillar, <https://mining.cat.com/dozers>
- [CAT14d] Catálogo de motoniveladoras, modelo 14M, en la web oficial de Caterpillar, <https://mining.cat.com/products/surface-mining/motor-graders>
- [ETF14] Página web de la empresa ETF (European Truck Factory GmbH), Nordhorn (Alemania), Julio 2014 <http://www.etftrucks.eu/>
- [IGM91] López Jimeno, C. et al. Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto, Instituto Tecnológico Geominero de España, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo del Reino de España, ISBN: 84-7840-081-8, Madrid (1991)
- [INF14] Base de datos de explotaciones de la compañía Infomine Inc., consultada en el primer semestre de 2014, <http://www.infomine.com/minesite/>
- [KOM14] Komatsu Limited. Obtenido en junio de 2014, desde <http://www.komatsu.com/ce/currenttopics/v09212/>
- [KOM14a] Catálogo comercial de volquetes de la empresa Komatsu, delegación en Chile, modelo 830E, marzo de 2014, <http://portalkch.komatsu.cl/2012/06/16/830e-ac/830e-ac/>

[KOM14b] Catálogo comercial de volquetes de la empresa *Komatsu*, marzo 2014, http://www.komatsu.com/ce/products/dump_trucks.html

[LEI14] Leica Geosystems. Obtenido en junio de 2014, desde <http://mining.leica-geosystems.com>

[LIE14] Catálogo de excavadoras, palas cargadoras y volquetes, en la web oficial de *Liebherr*, http://www.liebherr.com/ME/en-GB/products_me.wfw/id-19501-0/measure-metric

[MAC14] Camión de agua de la marca *Caterpillar* CAT 769 (año 1.966) a la venta en la web <http://www.machinerytrader.com/listingsdetail/detail.aspx?OHID=7268084>

[MOD14] Modular Mining Systems Inc. Obtenido en junio de 2014, desde <http://modularmining.com/products/>

[MOR09] Morales, R., Maquinaria de Construcción, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, 2009, <http://www.grupoavanti.com.pe/libros/curso-maquinaria-pesada-construccion.pdf>

[P&H14] Catálogo comercial de excavadoras de cables de la marca P&H, actualmente absorbida por Joy Global, marzo de 2.014, <http://www.phmining.com/PHMining/Mining-Equipment/Electric-Shovels.htm>

[PAR14] Base de datos sobre minería a cielo abierto, The Parker Bay Company, marzo 2014, <http://parkerbaymining.com/mining-equipment/mine-and-equipment-data.htm>

[SIM14] Simandou SEIA Volume I Mine, Chapter 2: Project Description The Simandou Mine, Rio Tinto Ltd., 2014, http://www.riotintosimandou.com/documents/Mine/M_Ch02_ProjDesc_EN.pdf

[WEN14] Wencomine Mining Systems Ltd. Obtenido en junio de 2014, desde <http://www.wencomine.com/>

[WOO01] Wood, Donald, Dump Trucks. MBI Publishing Company. (2001). Págs. 11–30

[ORE99] Orejas, A., Pérez, L. & Sánchez-Palencia, F.J. (1999). El oro de Las Médulas. Cuadernos de la fundación Las Médulas, 14-16

[RAE14] Diccionario online en la web oficial de la Real Academia Española, <http://www.rae.es/>

[KOM13] Noticia corporativa de Komatsu Ltd. sobre la automatización de total de los volquetes de la mina de West Angelas (Australia), obtenido en junio de 2014, desde <http://www.komatsu.com/ce/currenttopics/v09212/>

10 ANEXO I. FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

Las fuentes consultadas en la fase de obtención de datos de las explotaciones y sus vehículos asociados son:

- Infomine:** Se trata de una publicación web, asentada en Vancouver (Canadá), dedicada a la minería que tiene múltiples herramientas de consultas. Entre ellas, dispone de una base de datos que permite consultar ciertas explotaciones, pudiendo usarse filtros para clasificar por mineral y/o por país. La base de datos se puede consultar en <http://www.infomine.com/minesite/welcome.asp?commodity=iron>.
- 4) **Alderon Iron Ore Corp.:** Se trata de una compañía canadiense que está desarrollando un proyecto minero en la península del Labrador, y presenta un documento muy completo sobre el mismo en que detalla tanto los equipos como otros factores importantes (costes, operarios, vidas útiles, sueldos, etc.). (http://www.alderonironore.com/resources/kami/alderon_kami_feasibility_study.pdf)
 - 5) **Labrador Iron Mines:** Se trata de una compañía explotadora canadiense que explota una zona de la península del Labrador. (<http://www.labradorironmines.ca/project.php>)
 - 6) **Zanaga Iron Ore:** Se trata de una compañía afincada en las Islas Vírgenes Británicas que presenta un proyecto minero en la República del Congo. (<http://zanagairon.com/project>)
 - 7) **ASX Group:** Se trata de una consultora de inversión australiana, que escribió un informe técnico sobre algunas minas en Argelia y Mauritania en Marzo de 2.013. (<http://www.asx.com.au/asxpdf/20130325/pdf/42dw8mz20h4yzd.pdf>)
 - 8) **African Minerals:** Compañía que explota varias minas en Sierra Leona. (<http://www.african-minerals.com/media/press-releases/interim-results-six-months-ended-30-june-2013>)
 - 9) **Aurecom:** Empresa de Singapur que explota el yacimiento de Khumani en Sudáfrica. (<http://www.aurecongroup.com/en/projects/resources/khumani-iron-ore-mine-expansion.aspx>)
 - 10) **Simandou Rio Tinto:** La empresa británica Rio Tinto desarrolla un proyecto de minería en Guinea, que está en fase de desarrollo. (http://www.riotintosimandou.com/ENG/index_projectoverview.asp)
 - 11) **Rio Tinto:** Se trata de la segunda explotadora mundial en mineral de hierro. Tiene numerosos proyectos mineros pero los que más destacan son los de la región australiana de Pilbara. Es la compañía que tiene más información disponible sobre sus minas, y mucha de ella se encuentra también disponible en Infomine. (<http://www.riotinto.com/rap-158.aspx>)
 - 12) **Vale do Rio Doce:** Esta compañía brasileña es la mayor explotadora del mundo en mineral de hierro, sin embargo contrariamente a Rio Tinto apenas ofrece información muy poca información sobre sus minas. Son los explotadores de la mayor mina de mineral de hierro mundial, la de Carajás, en el estado brasileño de Pará.

(<http://www.vale.com/EN/business/mining/iron-ore-pellets/Pages/default.aspx>)

- 13) **Kumba Resources Limited:** Empresa sudafricana explotadora de varios yacimientos en el norte de Sudáfrica.
(http://www.kumba.co.za/ob_map.php)

11 ANEXO II. PRINCIPALES FABRICANTES MUNDIALES DE MAQUINARIA MINERA

El mercado actual de fabricantes de maquinaria para minería a cielo abierto puede considerarse casi como un oligopolio, en que existen dos grandes fabricantes, *Caterpillar* (EE.UU.) y *Komatsu* (Japón), y otros de menor tamaño aunque también importantes en número de elementos fabricados como son la también japonesa *Hitachi*, la bielorrusa *Belaz*, la estadounidense *Terex*, la sueca *Volvo* y la alemana *Liebherr*.

Todas estas grandes compañías fabrican modelos de volquetes y cargadoras, los dos tipos de vehículos más vendidos en minería. El mercado de estos dos vehículos es el que se encuentra más segmentado, pudiendo encontrarse actualmente en el mercado muchísimos vehículos de diferentes capacidades de carga, radios de giros, tamaños etc.

En todos los casos estas compañías fabrican cargadoras de los tres tipos, aunque la tendencia general es a tener pocas excavadoras de cables, ya que su mercado es más reducido, y centrarse en las palas y las excavadoras hidráulicas. Para estas dos clases de cargadoras, como sucede con los volquetes, el mercado se presenta muy segmentado, habiendo numerosas opciones y combinaciones para poder seleccionar el vehículo más apropiado para cada explotación.

En cuanto al mercado de maquinaria auxiliar (bulldozers y motoniveladoras) el mercado se presenta más reducido, debido a que el número de estos equipos en las explotaciones es mucho más limitado y que sus características técnicas y dimensiones son mucho menos determinantes en la productividad de la explotación. Algunas compañías no ofrecen en sus catálogos comerciales ningún elemento de este tipo, como por ejemplo *Hitachi*, y otras han optado por fabricar sólo un tipo de vehículo como sucede con *Komatsu* que no ofrece motoniveladoras a sus clientes o *Terex* que al contrario si fabrica motoniveladoras pero no está compitiendo en el mercado de los bulldozers.

Caso aparte son las perforadoras. De todas las grandes compañías mencionadas, tan sólo *Caterpillar* y *Terex* están fabricando actualmente equipos, y lo hacen después de adquirir empresas ajenas al holding inicial, *Bucyrus* en el caso de *Caterpillar* y *Reeddrill* en el caso de *Terex*. La empresa dominante en el mercado mundial de las perforadoras es la compañía sueca *Atlas Copco*.

En la Tabla 17 se detallan los fabricantes más importantes a nivel mundial y algunas características de los mismos.

Análisis de las Necesidades de Maquinaria en Minas de Mineral de Hierro a Cielo Abierto.

Marca	País	Empleados	Fundación	Vehículos	Mercados
Caterpillar	EE.UU.	125.000	1.925	Perforadoras Cargadoras Volquetes Bulldozers Motoniveladoras	Mundial
Komatsu	Japón	47.000	1.921	Cargadoras Volquetes Bulldozers	Mundial
Hitachi	Japón	34.000	1.910	Cargadoras Volquetes	Asia Sudamérica
Belaz	Bielorrusia	14.000	1.948	Cargadoras Volquetes Bulldozers Motoniveladoras	Antigua URSS Europa del este
Terex	EE.UU.	16.000	1.925	Cargadoras Volquetes Motoniveladoras	Norteamérica Europa
Volvo	Suecia	15.000	1.927	Cargadoras Volquetes Motoniveladoras	Europa
Liebherr	Alemania	35.000	1.949	Cargadoras Volquetes Bulldozers	Europa

Tabla 17. Principales fabricantes a nivel mundial.

Las fuentes consultadas en esta fase, para la obtención de datos de la maquinaria existente en el mercado, se señalan a continuación.

Atlas Copco	http://www.atlascopco.us/usus//products
Belaz	http://www.belaz.by/en/catalog/products/dumptrucks/
Caterpillar	https://mining.cat.com/products/surface-mining
Cubex (Sandvik)	Integrada en Sandvik por absorción http://mining.sandvik.com/
Doosan (Moxy)	http://www.doosanequipment.eu/doosanequipment/eu-es/index.page
Hitachi	http://www.hitachi-c-m.com/za/products/index.html
Komatsu	http://www.komatsu.com/ProductInfo/compactequipment/index.html
Letourneau P&H (Joy Global)	Integradas en Joy Global por absorción http://www.phmining.com/en/PHMining/Mining-Equipment.htm
Liebherr	http://www.liebherr.com/ME/en-GB/default_me.wfw/measure-metric
MCC	http://en.helite.com.cn/product/kuangyongzixieche.jsp
Rimpull	http://www.rimpull.com/vehicles.html
Sany	http://sanyminingtruck.en.made-in-china.com/product-list-1.html
Terex	http://www.terex.com/en/products-services/equipment/index.htm
Volvo	http://www.volvoce.com/constructionequipment/na/en-us/products/pages/introduction.aspx

Tabla 18. Fabricantes de maquinaria minera consultadas.

12 ANEXO III: CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS VEHÍCULOS

12.1 Excavadora de Ruedas

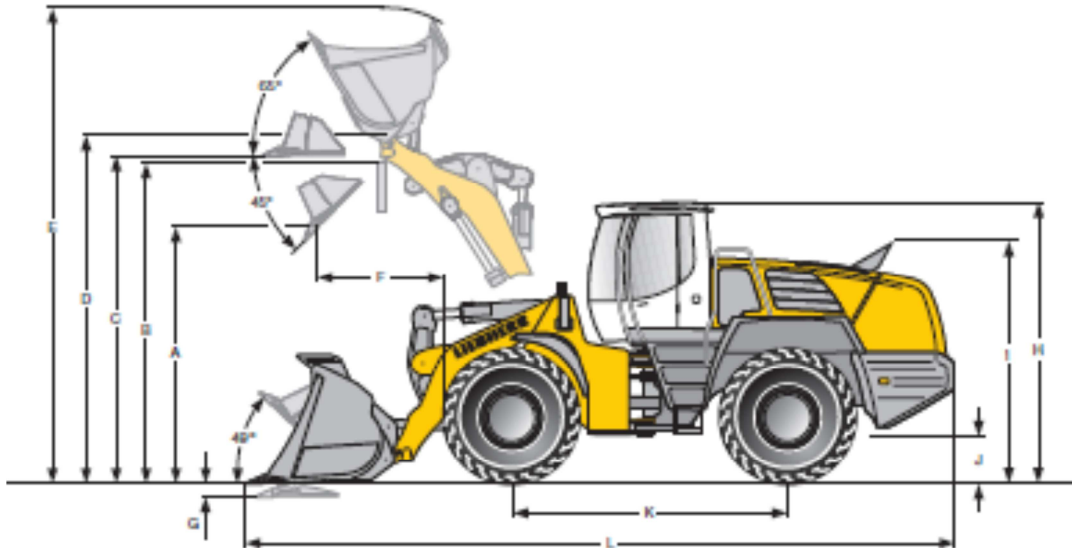


Figura 21. Sección típica de una cargadora de ruedas, con las medidas geométricas. [LIE14]

A	Altura de vaciado a altura de elevación máxima y ángulo de descarga de 45°
B	Altura rebasable
C	Altura máxima base del cazo
D	Altura máxima centro de giro del cazo
E	Altura máxima borde superior del cazo
F	Alcance con altura de elevación máxima y ángulo de descarga de 45°
G	Profundidad de excavación
H	Altura de la cabina

I	Altura al tubo de escape
J	Distancia hasta el suelo
K	Distancia entre ejes
L	Longitud total

Tabla 19. Nombre de las dimensiones estándar de una pala de ruedas. [LIE14]

12.2 Excavadora de Cables

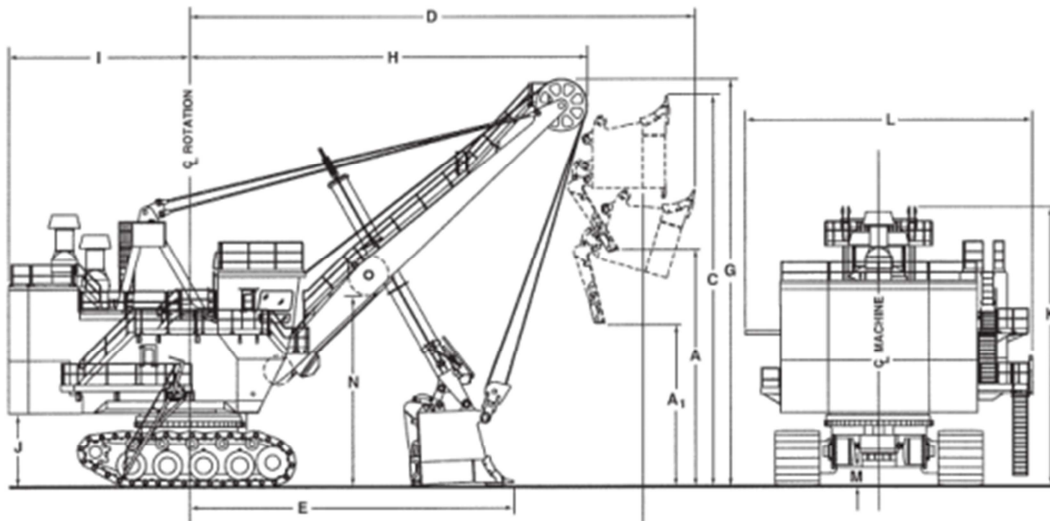


Figura 22. Dimensiones características de una excavadora de cable. [CAT14a]

Análisis de las Necesidades de Maquinaria en Minas de Mineral de Hierro a Cielo Abierto.

A	Altura de vertido
A₁	Altura de vertido a potencia máxima
B	Radio de vertido máximo
C	Altura de corte máxima
D	Radio de corte máximo
E	Radio a nivel del suelo
G	Altura libre (polea)
H	Radio libre (polea)
I	Radio libre (estructura giratoria)
J	Altura libre debajo del bastidor
K	Altura total del chasis principal
L	Anchura total
M	Altura libre desde el punto más bajo hasta el volquete
N	Altura de la cabina del operador

Tabla 20. Nombre de las dimensiones estándar de una excavadora de cables. [CAT114b]

12.3 Pala Cargadora

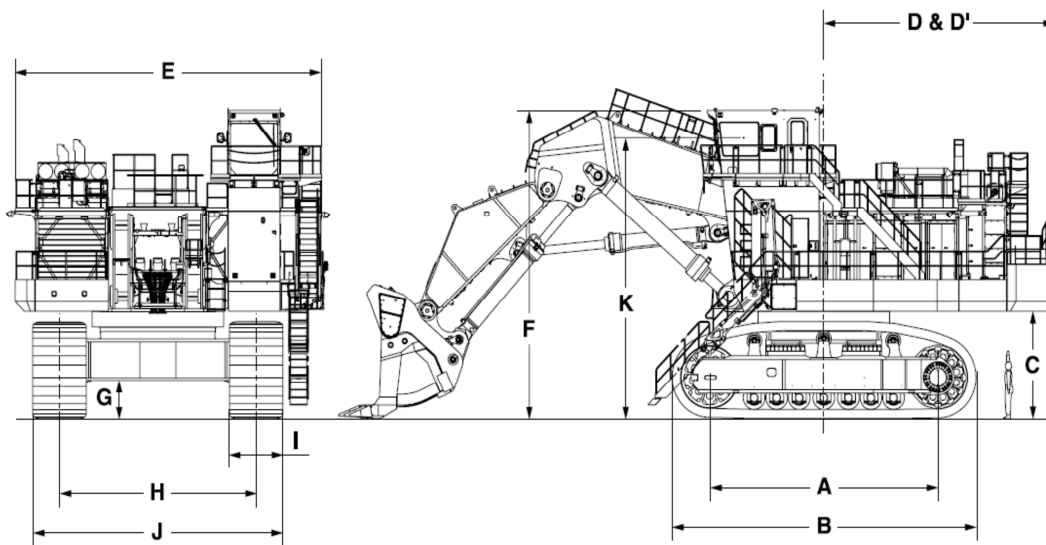


Figura 23. Dimensiones características de una excavadora hidráulica. [CAT14b]

A	Distancia entre ejes del tren de rodaje
B	Longitud del tren de rodaje
C	Altura del contrapeso
D	Radio de giro del extremo posterior
D'	Longitud del extremo posterior
E	Ancho total de la superestructura
F	Altura total de la cabina
G	Holgura mínima con el suelo
H	Ancho del tren de rodaje
I	Ancho de la oruga
J	Ancho del tren de rodaje
K	Altura del nivel visual del operador

Tabla 21. Nombre de las dimensiones estándar de una excavadora de hidráulica. [CAT114c]

12.4 Volquetes

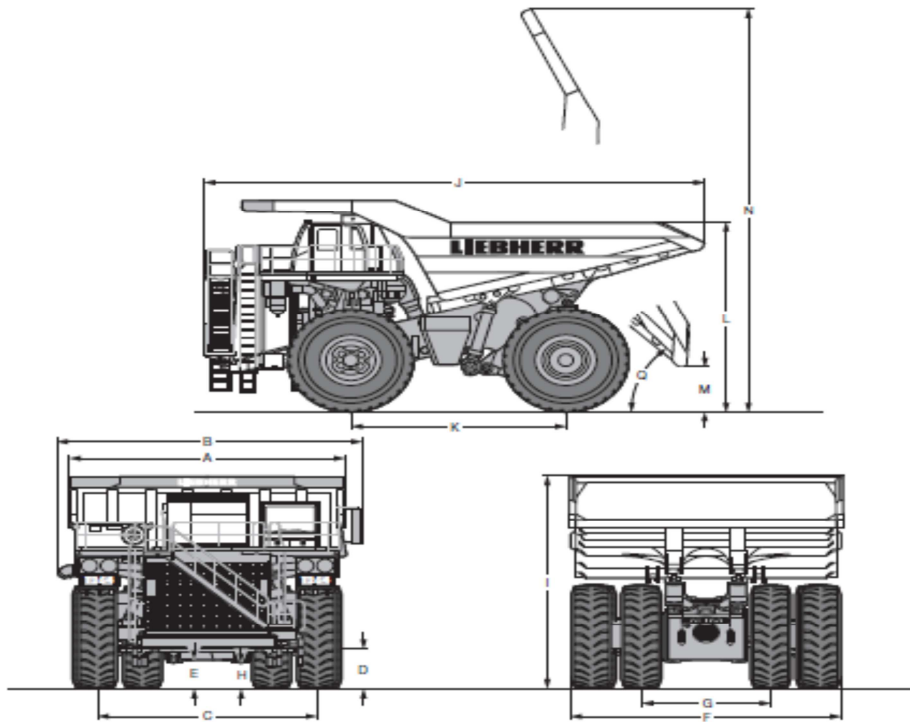


Figura 24. Dimensiones características de un volquete convencional. [LIE14]

Análisis de las Necesidades de Maquinaria en Minas de Mineral de Hierro a Cielo Abierto.

A	Ancho exterior de la carrocería
B	Ancho total del camión
C	Ancho entre línea central de neumáticos delanteros
D	Espacio libre al suelo del parachoques
E	Espacio libre al suelo del travesaño
F	Ancho total con neumáticos
G	Ancho entre línea central dual trasera
H	Espacio libre del eje trasero
I	Altura de cubierta exterior de la cabina
J	Longitud total del camión
K	Base de ruedas
L	Altura de carga
M	Espacio libre en descarga
N	Altura con carrocería levantada

Tabla 22. Nombre de las dimensiones estándar de un volquete convencional. [LIE14]

12.5 Bulldozers

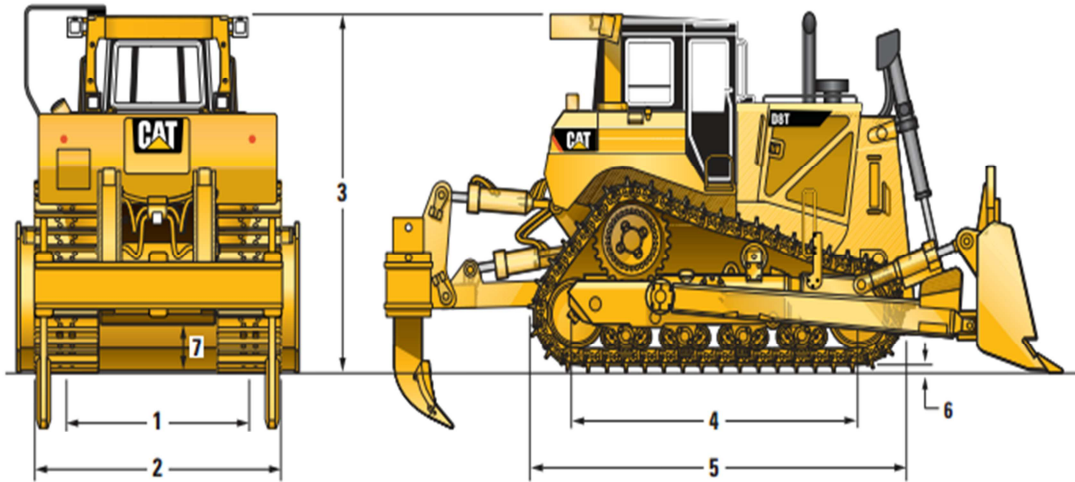


Figura 25. Dimensiones características de un bulldozer de orugas. [CAT14c]

1	Distancia entre los ejes del tren de rodaje
2	Ancho del tractor
3	Altura total del tractor
4	Distancia entre los ejes del tren de rodaje
5	Longitud total del tren de rodaje
6	Altura del empujador
7	Holgura mínima con el suelo

Tabla 23. Nombre de las dimensiones estándar de un bulldozer de orugas. [CAT14c]

12.6 Motoniveladoras

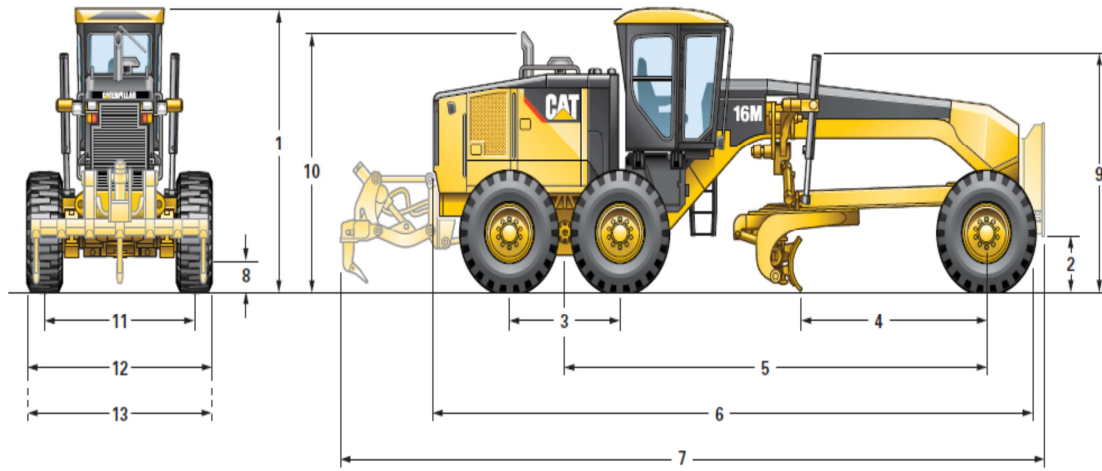


Figura 26. Dimensiones características de una motoniveladora. [CAT14d]

1	Altura: parte superior de la cabina
2	Altura: centro del eje delantero
3	Longitud: entre ejes tándem
4	Longitud: desde el eje delantero hasta la vertedera
5	Longitud: desde el eje delantero hasta la mitad del tándem
6	Longitud: desde el neumático delantero hasta la parte trasera de la máquina
7	Longitud: desde el contrapeso hasta el desgarrador
8	Espacio libre sobre el suelo en el eje trasero
9	Altura hasta la parte superior de los cilindros
10	Altura hasta el tubo de escape vertical
11	Ancho: líneas centrales de los neumáticos
12	Ancho: neumáticos traseros exteriores
13	Ancho: neumáticos delanteros exteriores

Tabla 24. Nombre de las dimensiones características de una motoniveladora. [CAT14d]

13 ANEXO IV: EJEMPLO DE BASE DE DATOS COMERCIALIZADAS

A continuación se muestra un pequeño ejemplo de la base de datos que ofrece la compañía estadounidense *The Parker Bay Company*, la cual se ofrece en formato de *Microsoft Access*, y que consta de dos tablas de datos, por un lado una para minas y por otro lado una para los vehículos.

Aunque se han obtenido datos de manera abierta, se ha comprobado que los datos que están disponibles de manera pública son escasos, y no permiten realizar suposiciones lo suficientemente justificadas. Es más, a la hora de tratar de recabar datos de manera pública, en la mayoría de los casos se remite a bases de datos privadas, elaboradas por empresas privadas, y comercializadas por estas.

La cantidad y calidad de los datos suministrados por estas empresas supera ampliamente los que se pueden encontrar de manera libremente accesible, y los periodos de actualización de mismos son relativamente cortos, pudiendo disponer en general incluso de datos con una antigüedad no superior a 6 meses.

La base de datos se vende en forma modular, pudiendo adquirirse de forma completa o bien en forma parcial. Se puede adquirir información según el vehículo, según la ubicación geográfica o según el mineral. El precio de cada paquete se expone en la Figura 27.

Análisis de las Necesidades de Maquinaria en Minas de Mineral de Hierro a Cielo Abierto.

Service	Approx. Active Units	Price US \$
FULL SERVICE <i>Includes all equipment worldwide: 78,000+ machines; 65,000 active at 1,400+ mines in over 100 countries</i>	65,000	\$20,000
PRODUCT GROUPINGS		
Excavating/Loading & Haulage Equipment <i>Includes trucks, electric shovels, hydraulic excavators, wheel loaders</i>	48,000	\$15,000
Excavating/Loading Equipment <i>Includes electric shovels, hydraulic excavators, wheel loaders</i>	9,500	\$7,500
All Tired-Products <i>Includes trucks, motor graders, wheel loaders, wheel dozers</i>	46,000	\$14,000
BY PRODUCT		
Mining Trucks	38,500	\$12,000
Electric Shovels	1,750	\$2,500
Hydraulic Excavators	4,200	\$3,500
Wheel Loaders	3,500	\$3,000
Draglines	500	\$1,500
Mining Dozers (crawler & wheel)	11,000	\$5,500
Motor Graders	2,400	\$1,500
Drills	2,200	\$1,500
GEOGRAPHIC (including all products)		
North America	14,000	\$9,000
United States	10,000	\$7,000
Latin America	9,500	\$6,500
Chile	3,200	\$2,500
Australasia (<i>includes Australia and Pacific island countries</i>)	18,000	\$9,500
Australia	10,000	\$7,000
Africa	6,200	\$4,500
Asia (<i>excludes Australia, Indonesia other Australasia and Middle East</i>)	6,500	\$4,500
Europe, Middle East	3,000	\$2,500
Russia/CIS	6,500	\$4,500
International (<i>includes all countries outside North America</i>)	50,000	\$17,000
MINERAL (including all products, all countries)		
Coal	24,500	\$10,000
Non-Coal	40,000	\$15,000
Major Metals (Copper, Iron, Gold)	19,000	\$9,500
Copper	7,000	\$5,000
Iron	7,000	\$5,000
Gold	5,200	\$4,000
Oil Sands	1,300	\$1,500

Figura 27. Tabla de número de equipos y precios de la información ofrecida por Parker Bay.
[PAR14]

14 ANEXO V: EJEMPLO DE PLANIFICACIÓN DE MAQUINARIA EN INSTALACIONES EN PROYECTO

En este Anexo, se puede ver un ejemplo real de la planificación de equipos establecida para un nuevo proyecto minero: *Mills Lake Deposit* de la *Kamistiatusset (Kami) Iron Ore Property* en la Península de Labrador, para la empresa Alderon Iron Ore Corp.

Este proyecto detalla todos los pasos para comenzar la explotación desde su estado inicial de un nuevo yacimiento, realizando los cálculos para establecer y asignar todos los elementos productivos, incluido el cálculo de maquinaria necesaria, de este modo se plantea una tabla, de la que se adjunta ejemplo a continuación del desglose por año de los equipos necesarios para realizar la operación de la mina de manera óptima desde el punto de vista de la partida económica dedicada a la maquinaria.

En esta tabla se estima una vida útil de la mina de 30 años, y se establece año a año el número de equipos asignados, dividida por tipología de la misma. Se puede observar que habrá equipos cuyo número no variará a lo largo de toda la vida de la mina, en cambio otros serán tanto introducidos como desechados de manera gradual de acuerdo al incremento de la producción en los años iniciales, y al descenso en los años finales.

Del mismo modo en la segunda tabla se hace una estimación de los reemplazos de maquinaria, entendiendo que estos reemplazos son los programados, y no se tienen en cuenta posibles averías u otras circunstancias. De acuerdo a la tabla se puede observar que hay dos plazos marcados para renovación que son los años iniciales, entendiendo que habrá equipos cuya necesidad será mayor en esta primera fase de explotación de la mina, y otro periodo de renovación alrededor de los 20 años desde el inicio de la explotación, entendiendo que en este periodo parte de la maquinaria inicialmente utilizada acabará su ciclo de vida útil.

De los equipos principales utilizados en este tipo de explotaciones, se observa que aquellos con necesidades de renovación altas, en relación al número de equipos necesarios para la correcta y normal explotación de la mina, serán las perforadoras, siendo como hemos visto en apartados anteriores el equipo crítico en cuanto a disponibilidad a la hora de la explotación de la mina, puesto que es la perforación el inicio del proceso de extracción.

Análisis de las Necesidades de Maquinaria en Minas de Mineral de Hierro a Cielo Abierto.

Equipment Replacement		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Haul Truck Fleet													
Komatsu 930E-4SE								4					
Shovel Fleet													
CAT 6060FSE (24CM)							1		1				
CAT 6060FSE (28CM)						1							
Drill Fleet													
P&H 320XPC							1	1			1		
Support Fleet													
Letourneau L-1850		1							1				
CAT 16M				2	2								
CAT 844H				2	1								
CAT D11T			2										2
Auxiliary Fleet													
Aggregate Plant													
Air Track Drill (200HP 80 to 100 mm)			1										
Backhoe Loader			1										
Boom Truck			1	1									
Cable Reeler (930H)			2										
Dewatering Pump (100 HP electric)				3									
Excavator (Caterpillar 336EL)					1								
Fuel/Lube Truck (777F)				1									
Hydraulic Crane P&H Truck Mounted – 100 t				1									
Lighting Tower 4 Post of 1000 w./Diesel Generator		2	4	4									2
Low Bed Truck		1											1
Mini Bus (12-Seater Ford E-Series)				3									
Pick-Up Truck (Chevrolet 2500) Crew Cab		6	6										6
Service Truck 22,000 GWV, 250 hp		2											2
Tire Changer Truck Mounted			1										
Water Truck (CAT 777G)			1	1									
Wheel Loader (CAT 988H)				1	1								

Tabla 27. Ejemplo de reemplazamiento de equipos a lo largo de la vida de la mina.