VALORIZATION OF MINING MACHINERY FLEET IN IRON ORE OPEN PIT MINES

Rubio Rodríguez, Claudio [1]; Ortega Fernández, Francisco [1]; Pecharroman Clemente, David [1]; Prado, Aida [2]

[1] Universidad de Oviedo, [2] ArcelorMittal

There are many parameters involved in open pit operations which determine their economic viability. Therefore, to have a greater knowledge of these parameters, it is necessary to develop management and operation mining projects.

In most cases, open pit exploitation methods need a greater number of vehicles to perform the operations than underground mines, so one of the most influential parameters on the mine profitability is the number of fleet vehicles. The most important vehicles of mining fleet are dump trucks and loaders.

In this article mining fleet vehicles of an important number or iron ore open pits of some of the major worldwide operators are analyzed.

A new mining vehicle classification, based on the most relevant feature of each equipment, was made with the data collected during the analysis phase. In addition, a general open pit database was created, from which the relations between the mining fleet and annual productions were searched.

Keywords: *Open Pit Mines; Valorization; Classification*

VALORIZACIÓN DE LAS FLOTAS DE MAQUINARIA MINERA EN EXPLOTACIONES DE MINERAL DE HIERRO A CIELO ABIERTO

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.

Las explotaciones a cielo abierto tienen la necesidad de usar un mayor número de vehículos para realizar las operaciones de extracción que las explotaciones subterráneas, por lo que uno de los parámetros más influyentes en la rentabilidad de la mina es el número de vehículos de la flota. Las máquinas más importantes usadas en este tipo de explotaciones son los volquetes y las cargadoras.

En el presente artículo se analizan las flotas de vehículos mineros de una serie de minas de mineral de hierro, de algunas de las principales empresas explotadoras.

Con los datos recabados durante la fase de análisis se confeccionó una clasificación de los distintos tipos vehículos basada en la característica más relevante de cada equipo. Además, se creó una base de datos general de explotaciones, a partir de la cual se buscaron las relaciones existentes entre los vehículos de la flota y la producción anual.

Palabras clave: *Minería a Cielo Abierto; Valorización; Clasificación*

Correspondencia: ETSIMO. c/Independencia 13. C.P. 33004. Oviedo (Asturias)

1. Introducción

Desde su origen, la humanidad ha empleado los recursos minerales para la construcción. 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.

Uno de los ejemplos más interesantes del ingenio humano para la extracción de los recursos minerales puede verse en el yacimiento de oro de Las Médulas, cerca de Ponferrada (León-España). 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. Se trata de unos de los primeros compendios acerca de la minería. 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. (Orejas, 1999)

Las explotaciones mineras han atravesado un largo camino de perfeccionamiento, cuyas etapas se relacionan fundamentalmente con el uso de distintos combustibles. El desarrollo de la maquinaria para la industria minera estuvo sometido a las mismas leyes del progreso técnico, 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.

Un 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 posibilitó el aprovechamiento de minerales con leyes relativamente bajas, cuyo uso era antes imposible, consiguiendo aumentar de manera notable las producciones. 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 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 robustos motores diésel de régimen lento y aspiración natural, que se acoplaban 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 tanto de modelos de transmisiones hidráulicas como eléctricas.

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.

2. Visión Actual de la Minería a Cielo Abierto

Mina a cielo abierto designa toda mina que no sea subterránea, es decir aquella en que las labores de extracción no se realizan en el interior de tierra. La minería a cielo abierto se caracteriza por mover grandes volúmenes respecto de la minería subterránea, lo que implica una necesidad mayor de maquinaria y de infraestructuras, con el consiguiente coste de capital y gasto energético. (OIT, 1991)

La continua y creciente demanda mundial de minerales, en especial por parte de países emergentes como China e India, ha provocado que se busquen nuevos yacimientos en

zonas mundiales poco explotadas. Casi todos los minerales han incrementado notablemente su producción en los últimos años, pero uno de los que más han sobresalido en este punto es el mineral de hierro. La producción mundial de acero en el año 2002 era de 950 Mt y en 2012 fue de 1.547 Mt, lo que supone un aumento del 71 %. (WSA, 2014)

Este dato unido a que algunas empresas con Rio Tinto Ltd. permiten acceso a sus datos hace que el presente artículo se centre especialmente en las explotaciones de este tipo de mineral.

Los parámetros que marcan la rentabilidad económica de un yacimiento son tanto la ley media como el tonelaje, y estos dependen 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, como pueden ser la inclinación de las capas, la forma de la mineralización, la potencia de las capas, etc. 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. (López ,1991) (Bustillo, 1997)

En el caso de los minerales de hierro el método minero más empleado es el de la corta minera. Se trata de de un método para yacimientos masivos, de capas inclinadas y mucha potencia. Se explota de manera tridimensional por banqueo descendente obteniéndose grandes profundidades, normalmente por encima de 200 m. Se emplea generalmente con sistemas de arranque discontinuos y maquinaria de carga y transporte de ruedas y motores diesel, normalmente de tamaño pequeño o medio aunque el tamaño depende fundamentalmente del tamaño de las bermas y las pistas que la topografía permite construir. (López ,1991) (Bustillo, 1997)

En general los criterios de diseño de la explotación vienen condicionados por la ubicación del yacimiento, la topografía del terreno, la distribución de la mineralización y la extensión de las capas.

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 las explotaciones a cielo abierto las etapas que deben definirse en el sistema operativo son: (López ,1991)

1. Arranque
2. Carga
3. Transporte
4. Vertido
5. Operaciones Auxiliares (Extendido, Compactado y Refino)

En el sistema operativo debe definirse la maquinaria de arranque, la de carga y la de transporte, además de definir las infraestructuras necesarias. La maquinaria más apropiada para cada fase del sistema operativo puede verse en las Figura 1 y en la Figura 2. (López, 1991)

Figura 1. Operaciones básicas en minería a cielo abierto

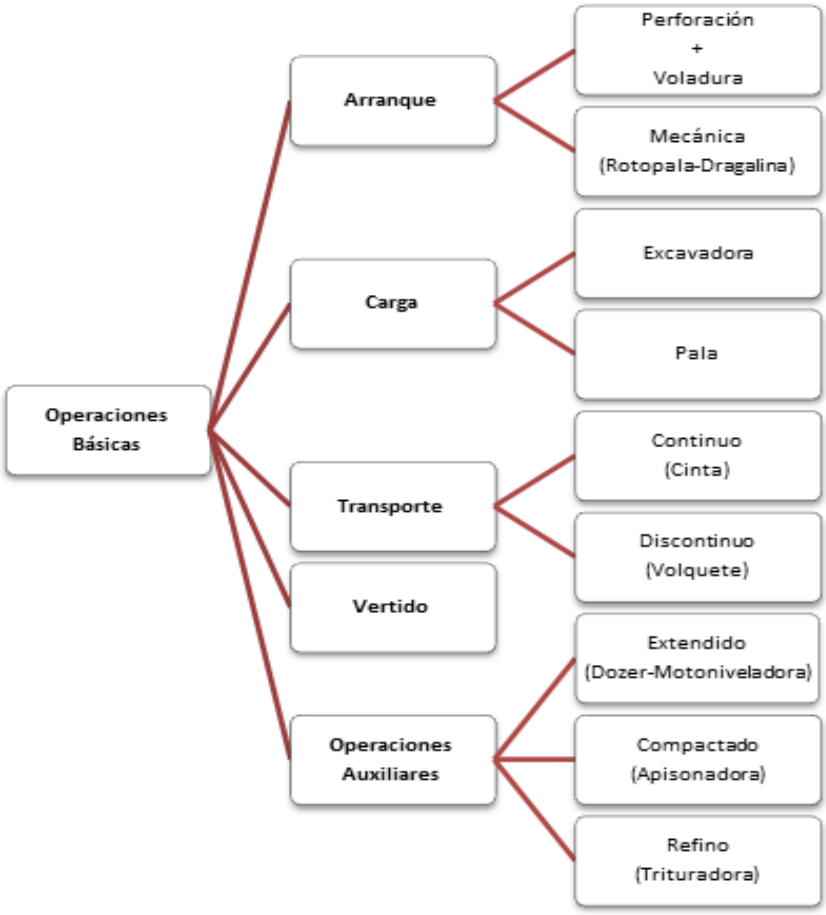
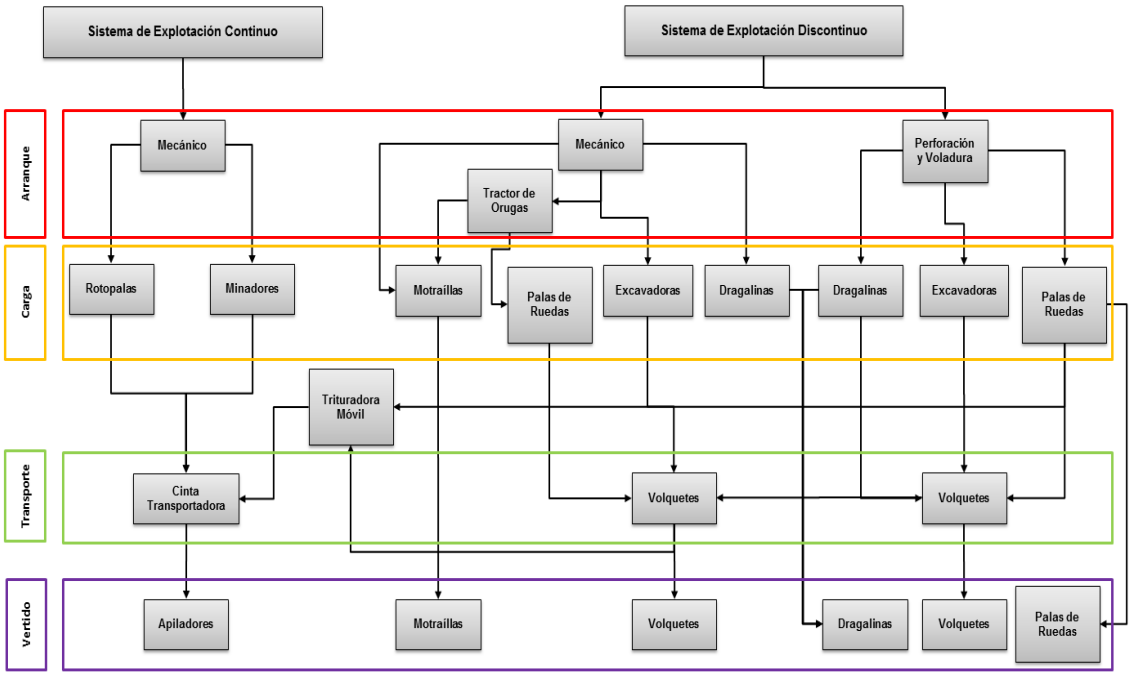


Figura 2. Distintas combinaciones posibles de equipos mineros



3. Maquinaria Minera

Una vez localizado un yacimiento de mineral y realizados los estudios de viabilidad técnico-económica, en los que ya se han debido calcular el número de vehículos de maquinaria que deben emplearse, se inicia la etapa de selección de equipos.

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 estudiados en este tipo de explotaciones la combinación de maquinaria más utilizada es: (Infomine, 2014)

1. Perforadora y Voladura
2. Cargadora (Pala y/o Excavadora)
3. Volquete
4. Motoniveladora
5. Bulldozer

La perforación es la etapa más lenta del trabajo en el tajo y determina el ritmo de producción que se puede llevar en la explotación. La voladura es la etapa más peligrosa del proceso y la que requiere los mayores niveles de seguridad. Es por tanto que las perforadoras se consideran como elementos esenciales en minería metálica.

La perforación se basa o bien en la percusión de un elemento de mayor dureza que la roca o bien en el giro continuo de un elemento de corte, de tal manera que cada giro produce un corte en la roca en diferente posición. El objetivo de la voladura es poder arrancar la máxima cantidad de mineral con el mínimo consumo de explosivos que se pueda. (López ,1991) (Bustillo, 1997)

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:

1. Palas
2. 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. (López ,1991)

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 que ofrecen, 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.

En cuanto a los bulldozers, existen dos tipos: de ruedas y de orugas. Los de orugas son los más empleados tanto en minería como en obra pública, por el mejor agarre que presentan, pudiendo maniobrar en firmes en malas condiciones. Su misión es empujar el mineral arrancado y apilarlo para facilitar las labores de carga.

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.

4. Recopilación de Datos

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

La información recabada se obtuvo a través de publicaciones especializadas en minería, empresas mineras, empresas de tratamiento de minerales, principales fabricantes mundiales de maquinaria, empresas consultoras, empresas financieras, etc. (Infomine, 2014). El listado completo de las minas estudiadas puede consultarse en la Tabla 1.

A partir de los datos obtenidos, se ha construido una base de datos que recopila y agrupa todos los datos tratando agrupar tanto la maquinaria como las explotaciones en grupo similares. Los datos recabados en estas fuentes se refieren a las instalaciones, los medios materiales y el tamaño de las plantillas de trabajadores.

La base de datos contiene por un lado una tabla con las minas que tienen la información abierta (producción, vida útil, maquinaria empleada, plantilla, etc.) y por otro lado una tabla con la recopilación de la información más relevante de la maquinaria que actualmente comercializan los principales fabricantes a nivel mundial (Caterpillar, Komatsu, Hitachi, Belaz, etc.)

En la tabla de minas se ha recopilado los datos publicados disponibles acerca de las principales explotaciones mundiales de mineral de hierro a cielo abierto. Se ha tratado de identificar las minas de este tipo en todo el mundo, asociándolas a la empresa que las explota. A partir de ahí se introdujeron en la base de datos aquellos más generales considerados como representativos del conjunto de las explotaciones, de modo que se dispusiera de datos comunes a todas, para el posterior estudio comparativo.

En la tabla de maquinaria se construyó un glosario de la maquinaría disponible en el mercado para este tipo de explotaciones. Para elaborar el listado de maquinaria, se recopilaron datos de los principales fabricantes. De este modo se identificaron los equipos más comúnmente utilizados en este tipo de explotaciones.

Tabla 1. Listado de las minas de hierro consultadas

Mina	País	Propietario	Explotador	Producción (Mtpa)
Brockman	Australia	Rio Tinto	Hamersley Iron	8,7
Brockman 4	Australia	Rio Tinto	Hamersley Iron	22
Channar	Australia	Rio Tinto (60 %)	Hamersley Iron	11
Eastern Range	Australia	Rio Tinto (54 %)	Hamersley Iron	9,39
Hamersley	Australia	Rio Tinto	Hamersley Iron	107
Hope Downs	Australia	Rio Tinto (50 %)	Pilbara Iron	31,7
Marandoo	Australia	Rio Tinto	Hamersley Iron	15
Mesa A	Australia	Rio Tinto (53 %)	Robe River Iron	25
Mesa J	Australia	Rio Tinto (53 %)	Robe River Iron	7
Mt Tom Price	Australia	Rio Tinto	Hamersley Iron	28
Nammuldi	Australia	Rio Tinto	Hamersley Iron	6
Paraburdoo	Australia	Rio Tinto	Hamersley Iron	2,1
Pannawanica	Australia	Rio Tinto (53 %)	Robe River Iron	54
West Angelas	Australia	Rio Tinto (53 %)	Robe River Iron	29,5
Yandicoogina	Australia	Rio Tinto	Pilbara Iron	53,7
Alegria	Brasil	VALE	Samarco	22
Norte	Brasil	VALE	VALE	109,8
Pedra de Ferro	Brasil	Eurasian Natural Resources	Bahia Mineracao	20
Sureste	Brasil	VALE	VALE	120,2
Sur	Brasil	VALE	VALE	76,25
Urucum	Brasil	VALE	Urucum Mineracao	1,5
Carol Lake	Canadá	Rio Tinto (59 %)	Labrador Iron Ore	17
Simandou	Guinea	Rio Tinto	No Indica	95
Khumani	Sudáfrica	African Rainbow Minerals	No Indica	10
Mont-Wright	Canadá	Arcelor Mittal	Arcelor Mittal	24
Kryviy Rih	Ucrania	Arcelor Mittal	Arcelor Mittal	24
Kami	Canadá	Alderon Iron Ore	Alderon Iron Ore	60

Roy Hill	Australia	Hancock Prospecting	Roy Hill Holdings	55

La compañía estadounidense The Parker Bay Company tiene hecha una clasificación de la maquinaria minera en función de una característica notable de cada tipo de vehículo. Basándose en esta clasificación se creó una nueva clasificación 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 2. (Parker Bay, 2014)

La combinación de todos estos datos permitió establecer unas primeras relaciones entre las explotaciones, el tipo de maquinaria empleada y las capacidades de producción.

Todos los datos recogidos en estos documentos se han recabado entre los meses de diciembre de 2013 y marzo de 2014.

Tabla 2. Clasificación propuesta para los distintos tipos de maquinaria

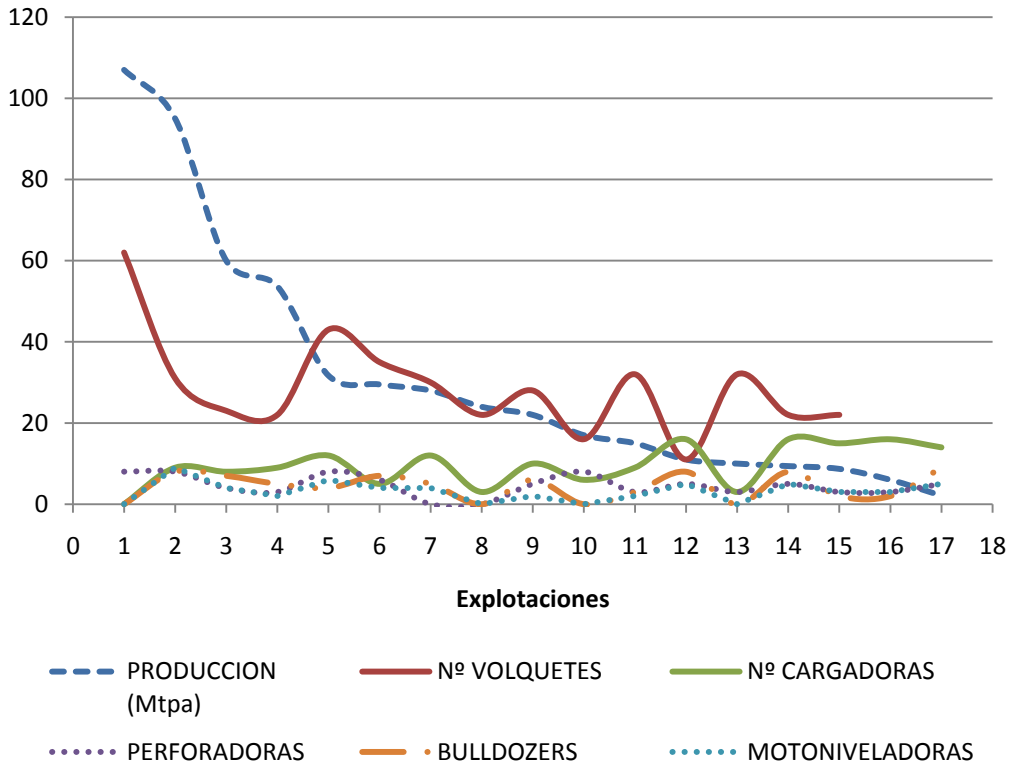
CLASIFICACIÓN DE LA MAQUINARIA			
CARACTERÍSTICA		**BULDOZERS**	
Potencia (kW)	< 350	350-650	> 750
CARACTERÍSTICA		**MOTONIVELADORAS**	
Potencia (kW)	< 160	160-350	> 350
CARACTERÍSTICA		**CARGADORAS**	
Carga Útil (t)	< 40	40-63	> 63
CARACTERÍSTICA		**VOLQUETES**	
Carga Útil (t)	< 154	154-255	> 255
CARACTERÍSTICA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

5. Discusión de Resultados

Mediante el análisis de los datos se intentó establecer posibles relaciones entre las capacidades de producción anual de cada explotación y el número de equipos de maquinaría empleados.

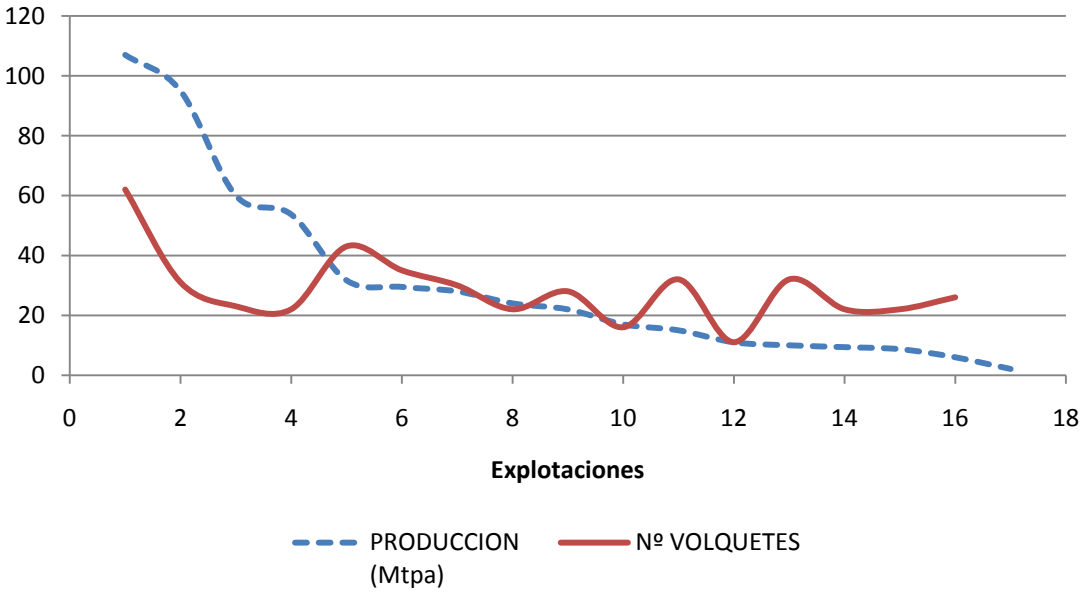
Tras estudiar los resultados de esta primera relación, que pueden verse en la Figura 3 no existe una relación directa entre número de equipos necesarios y producción anual. Es más, en el caso de las cargadoras, las motoniveladoras, las perforadoras y los bulldozers, puede verse que todas las explotaciones 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.

Figura 3. Relación entre producción y maquinaria empleada en la explotación



Por tanto puede concluirse a la vista de la Figura 4 que el número de volquetes parece ser el parámetro más influyente en la producción.

Figura 4. Relación entre el número de volquetes y la producción anual

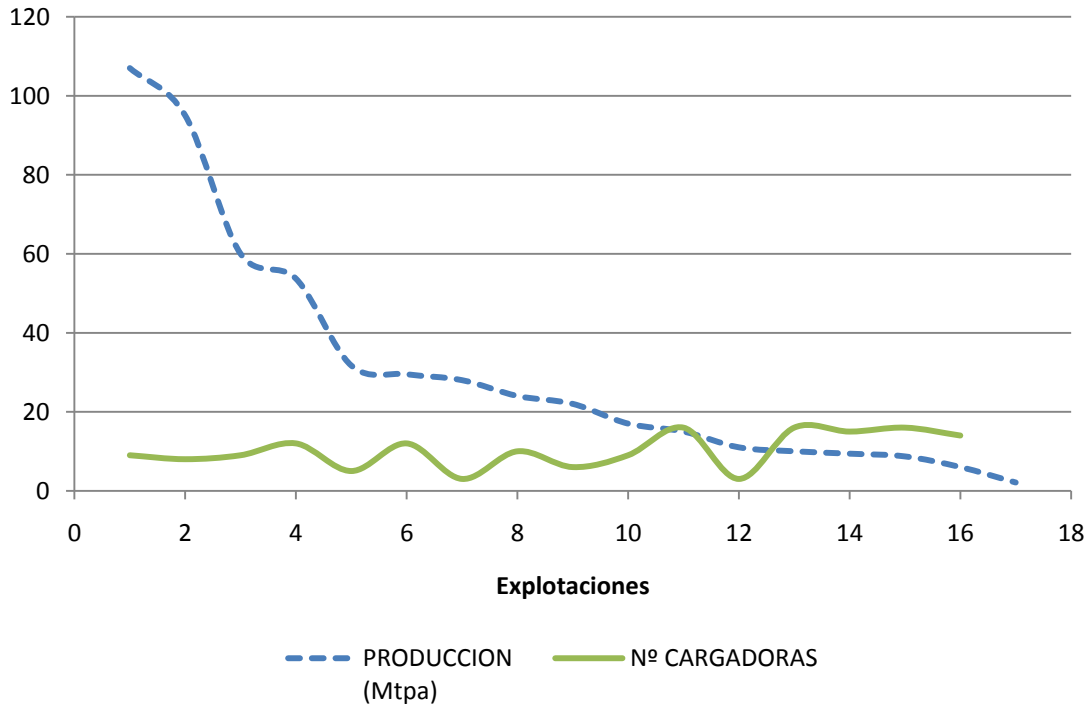


En primer lugar respecto a los volquetes, si parece existir una ligera relación ligera entre su número y la producción anual de las minas, a mayor producción, mayor número de volquetes, lo cual era esperable, aunque dado el limitado número de casos disponibles no

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 desde el tajo hasta la zona de tratamiento, la cual podría influir en esta relación. En cuanto al tipo de volquete empleado en las explotaciones puede verse con los datos recogidos que la mayor parte de las explotaciones optan por vehículos medios, de la categoría 154-255 toneladas. Hasta el 79,5 % de los volquetes empleados en este tipo de explotación pertenece a esta categoría. 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.

En segundo lugar, si se puede descartar una relación directa entre la producción anual y el número de cargadoras. La conclusión más lógica de este hecho es que cada explotación debe disponer de un número mínimo de cargadoras, pero no así de volquetes, ya que bastaría con programar más viajes para mover la producción. De acuerdo con los datos recabados puede observarse que todas las explotaciones disponen de una combinación de cargadoras de tamaño medio-grande, destinadas a las labores de carga en los tajos de explotación, y de cargadoras menores destinadas a labores auxiliares, siendo mayor el número de las segundas que de las primeras (68 % frente al 32 %). 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. Respecto a los modelos más empleados, por los datos recogidos existe gran variedad en cuanto a fabricantes siendo los mayoritariamente adquiridos de las marcas *Komatsu*, *Hitachi* y *Caterpillar*.

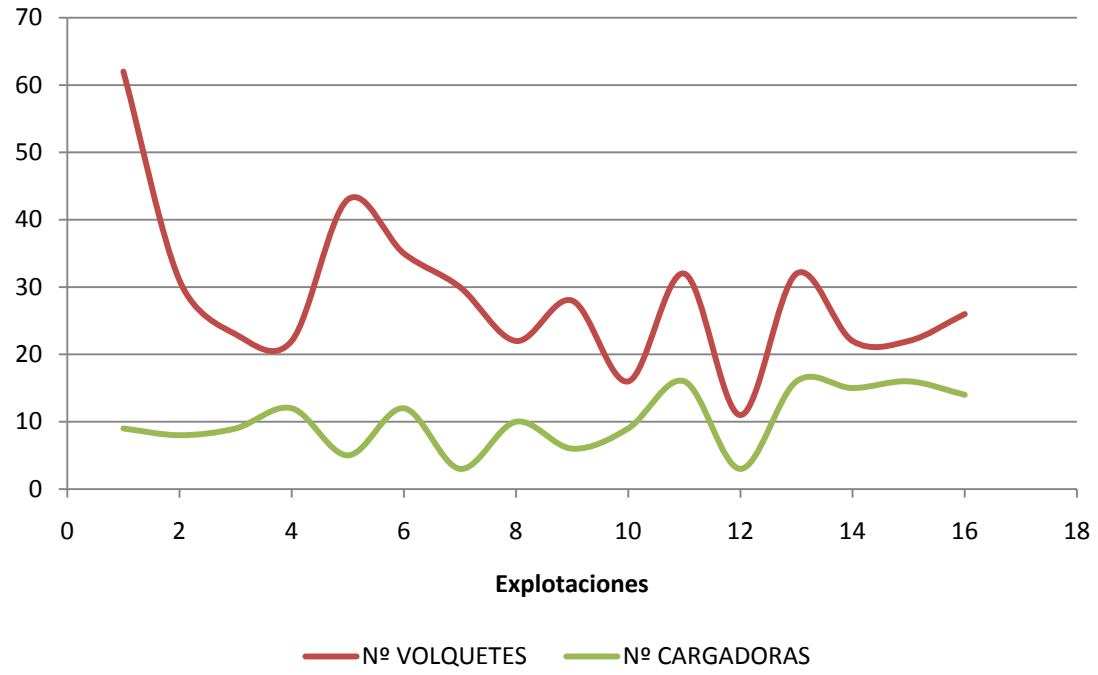
Figura 5. Relación entre el número de cargadoras y la producción anual



Lo que si puede observarse es que parece existir una relación entre el número de equipos entre sí, es decir, en la relación Volquetes vs. Cargadoras. Como puede verse en la Figura 6 las curvas de volquetes y cargadoras siguen trayectorias bastante paralelas, a mayor número de volquetes mayor número de cargadoras, y viceversa, por lo que como el número

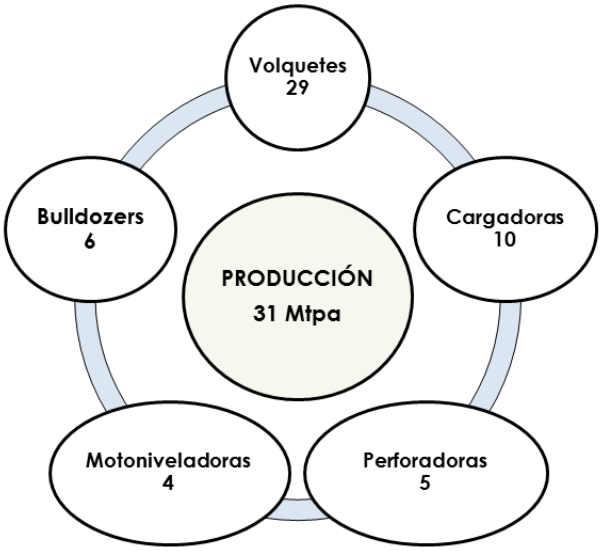
de cargadoras siempre tiene un valor mínimo por debajo del cual no se puede explotar al ritmo puede concluirse lo mismo para los volquetes.

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



El número medio de equipos empleados en cada explotación puede verse en la Figura 7.

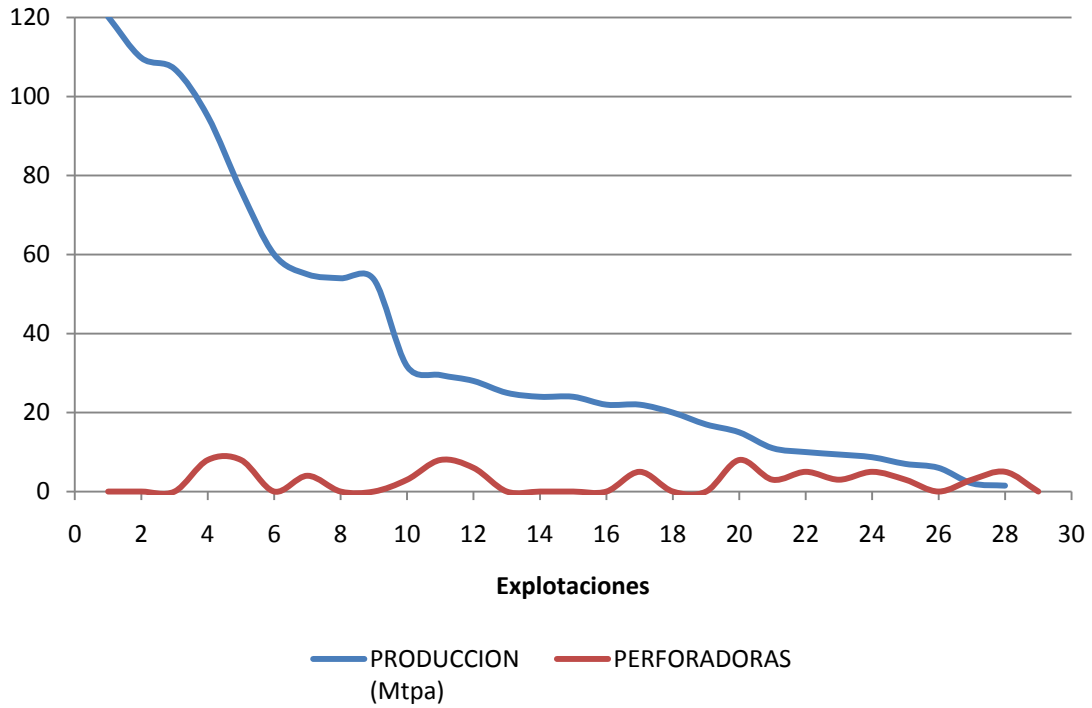
Figura 7. Número medio de equipos empleados para una producción media



En cuanto a la maquinaria auxiliar parece lógico pensar que en todas las explotaciones se debe disponer de un número mínimo de bulldozers y motoniveladoras, para el correcto desarrollo de las labores auxiliares de la mina, por lo que en principio no parece que exista una relación directa entre estos elementos y la producción.

Sin embargo los equipos que si pueden tener una notable influencia en la producción de la mina serían las perforadoras, cuyo número bajo de unidades, y por lo tanto coste unitario en el global de costes de explotación de la mina no parece ser representativo.

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



Respecto al resto de equipos la gama de máquinas empleadas es amplia, siendo la marca mayoritaria *Caterpillar*. El número óptimo de perforadoras estará entre 3 y 6, el de motoniveladoras entre 3 y 5, y el de bulldozer entre 4 y 8, para una producción media de unas 30 millones de toneladas por año.

6. Conclusiones y Líneas de Futuro

Las conclusiones más importantes que pueden extraer son las siguientes:

1. La mayor parte de las explotaciones de minería metálica siguen el método de corta y un sistema operativo discontinuo basado en perforación, voladura, carga con excavadora y transporte en camión.
2. Los elementos móviles de la maquinaria minera se pueden agrupar en categorías a partir de la característica más notable de cada tipo.
3. Dentro de la maquinaria móvil usada en las explotaciones a cielo abierto son los volquetes y las cargadoras.
4. 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.
5. El número de cargadoras, motoniveladoras, perforadoras y bulldozers tiene un cierto valor mínimo en todas las explotaciones analizadas independientemente de la producción.
6. Se puede descartar una relación directa entre la producción anual y el número de cargadoras ya que cada explotación debe disponer de un número mínimo de

elementos, pero no así de volquetes, ya que bastaría con programar más viajes para mover la producción.

7. El número medio de elementos de maquinaria en una explotación es 29 volquetes, 10 cargadoras, 5 perforadoras, 4 motoniveladoras y 6 bulldozers, para una producción media de unas 30 millones de toneladas por año.

Las líneas de actuación que deberían seguirse son las siguientes:

1. Ampliación de la base de datos a explotaciones de otros minerales.
2. Vigilancia tecnológica de las empresas fabricantes de maquinaria y de las explotadoras de las minas.
3. Creación de un modelo matemático que permita optimizar el número de elementos móviles necesarios para la explotación para explotaciones de nuevas creación. Este modelo debería basarse tanto en el número de vehículos de la flota como en la capacidad total de carga de la misma.

4. Referencias

López, C., López, E., Manglano, S. & Toledo, J.M. (1991). *Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto.* Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.

Bustillo, M. & López, C. (1997). *Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras. Madrid:* Entorno Gráfico SL.

World Steel Association (2014). *World steel in figures 2013.* (ISBN 978-2-930069-73-9). Bruselas: World Steel Association.

Infomine Inc. Obtenido en marzo de 2014, desde http://www.infomine.com/minesite /search/?q=iron%20ore#gsc.tab=0&gsc.q=iron%20ore&gsc.page=1

The Parker Bay Company. Obtenido en marzo de 2014, desde http://parkerbay mining.com/eq_db.htm

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

Organización Mundial del Trabajo (1991). *Seguridad y salud en minas a cielo abierto.* (ISBN 92-2-307103-8). Ginebra.