

VALORIZATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF MACHINERY IN OPEN PIT MINING MAJOR PROJECTS

Pecharromás Clemente, David; Mesa Fernández, José Manuel;
González Rodríguez, Juan Antonio; Andrés Vizán, Sara María

Universidad de Oviedo. Área de Proyectos de Ingeniería

Open pit Mining is characterized by the movement of large quantities of solid material. These materials are subject to long-distance transport, therefore logistics costs have a significant influence on total costs.

In the last decades, different mining machinery management systems have been developed using technologies like GPS, tachographs, computers, etc. that allow us to obtain real time data about machine parameters.

The most important parameters that these systems develop are the geolocation of vehicles and fuel consumption. The knowledge of these parameters allows operators to plan real time motions optimizing the extraction process. There are currently some commercial solutions consisting of hardware-software sets which can obtain real time data and show them to the operator in the vehicle cabin. These systems tend to automate mining processes thus reducing operating costs and staff occupational hazards.

This paper pretends to verify the impact of these systems in mining production analyzing the developed systems, assessing the necessities that systems must have to satisfy the objectives according to the characteristics of each exploitation.

Keywords: *Mining; Optimization; Automation; Measurement*

VALORIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICOS DE MAQUINARIA EN GRANDES PROYECTOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO

La minería a cielo abierto se caracteriza por el movimiento de grandes cantidades de sólidos. El transporte de estos materiales puede conllevar importantes distancias por lo que los costes de logística influyen notablemente en los costes totales.

En las últimas décadas 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.

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. Estos sistemas tienden a automatizar los procesos, disminuyendo así los costes de operación y los riesgos laborales de los operadores.

Este artículo pretende constatar la incidencia de estos sistemas en la producción realizando un recorrido por los sistemas en desarrollo, valorando las necesidades que debe tener para cumplir los objetivos en función de las características de cada explotación.

Palabras clave: *Minería; Optimización; Automatización; Valorización*

1. Introducción

La industria minera se caracteriza por el movimiento de importantes cantidades de materiales, sobre todo sólidos. Cuanto mayor es el tamaño de la explotación, mayor es la distancia que requiere el transporte, con el consiguiente coste de logística. El ambiente en el que se explotan los minerales a cielo abierto es muy cambiante, por lo que se produce un fuerte incremento de los riesgos inherentes al trabajo.

Desde mediados del siglo pasado se han desarrollado sistemas capaces de controlar las acciones necesarias para la correcta explotación de la mina, centrándose sobre todo en el control de la flota. Entre estos sistemas pueden citarse los tacógrafos, las computadoras de a bordo y más recientemente la introducción de los sistemas de geolocalización vía satélite como el GPS. La instalación de los sistemas GPS en los vehículos de la flota ha permitido obtener en tiempo real información sobre la posición de los mismos, consiguiendo disminuir tanto los riesgos de choques entre los vehículos como los costes de operación.

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.

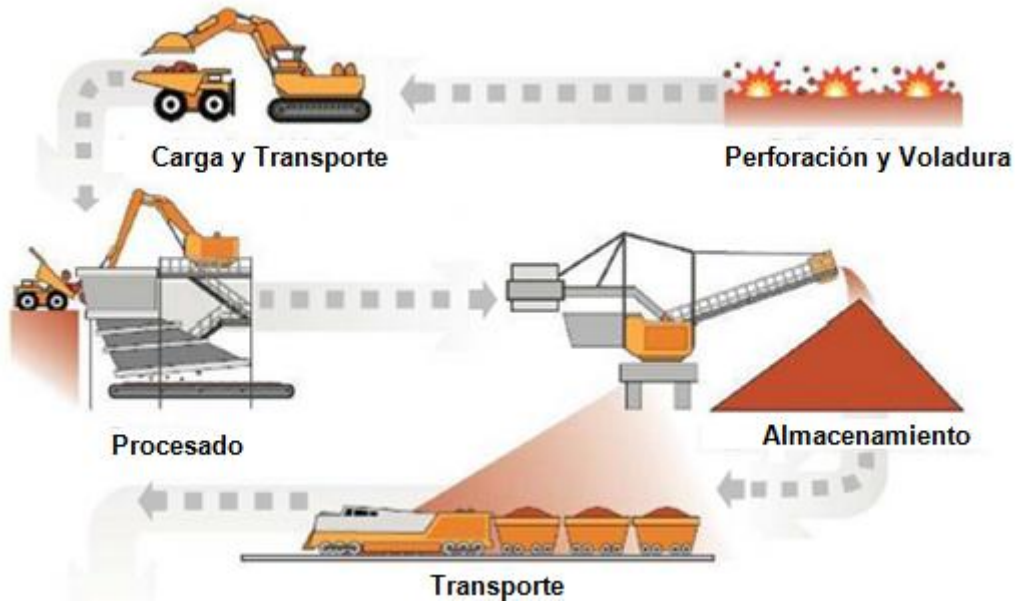
En los últimos años, alguna de las mayores compañías del sector de la maquinaria minera, como Caterpillar o Komatsu, e incluso alguna ajena a este sector como la alemana Leica, han desarrollado paquetes completos de herramientas, tanto hardware como software, que permiten la captación de datos y el procesamiento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

2. Flota de Vehículos utilizados en Minería a Cielo Abierto

Existen diferentes métodos de explotación en minería a cielo abierto, que van desde las cortas en profundidad, típicas de la minería metálica, hasta las canteras de rocas ornamentales. En todos los métodos, el principio de explotación es el mismo, arranque del mineral, carga, transporte, procesamiento para eliminar impurezas, el apilamiento del producto final, y por último el transporte final del mineral tratado hasta la industria que lo empleará.

En el caso de las cortas mineras típicas de la minería metálica (Cu, Fe, Zn, etc.) el arranque se produce mediante perforación y voladura, la carga se realiza con pala cargadora o excavadora, el transporte, normalmente en volquete, aunque también puede usarse otros medios como cintas transportadoras. Todos estos elementos son parte de la flota de vehículos mineros. (López, 1991)

Figura 1. Esquema de trabajo en una explotación tipo corta a cielo abierto. (Rio Tinto, 2012)



En cuanto a los elementos de la maquinaria que se consideran como vehículo de la flota minera, a efectos de este artículo pueden clasificarse en:

Figura 2. Vehículos típicos de la flota minera. (Bustillo, 1997)

Perforadoras	<ul style="list-style-type: none"> •RotoperCUSión •Triconos
Cargadoras	<ul style="list-style-type: none"> •Excavadoras de Cables •Excavadoras Hidráulicas •Palas Cargadoras
Vehículos de Transporte	<ul style="list-style-type: none"> •Volquetes •Camiones Articulados
Movimiento de Tierra	<ul style="list-style-type: none"> •Bulldozers •Mototraillas
Vehículos Auxiliares	<ul style="list-style-type: none"> • Camiones Cisterna (Agua o Combustible) • Transporte de Personal • Camiones de Servicio • Grúas • Otros (Antenas, Torres de Iluminación, etc.)

3. Sistemas de Gestión de Flotas Mineras

Actualmente hay numerosas soluciones comerciales en el mercado que implementan la gestión de flotas de los vehículos mineros. La mayor parte de las soluciones consisten en elementos de hardware que debe ser instalado en los vehículos y un software que adquiere los datos, los almacena y genera la información necesaria para el operador.

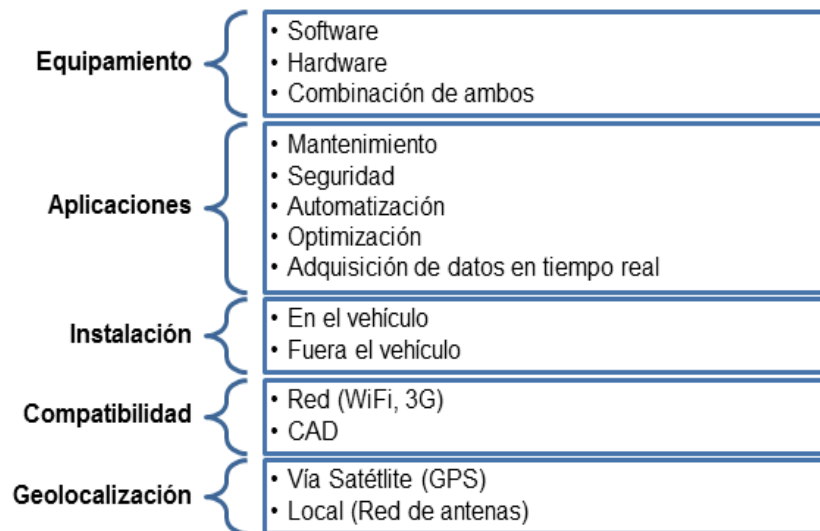
Los primeros sistemas se instalaron en la década de los 60 y consistían en alarmas sonoras equipadas con temporizadores que marcaban a los operarios los tiempos de cada labor. El desarrollo tecnológico de las últimas décadas de los sistemas GPS y la electrónica de control han permitido el desarrollo de sistemas más complejos, que incluyen la transmisión inalámbrica de datos.

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

1. Leica Geosystems Mining
2. Wencomine
3. Caterpillar Mine Star
4. Carlson Software
5. Komatsu FrontRunner
6. Modular Mining Systems

Las características que se estudiaron de estos paquetes pueden verse en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

Figura 3. Características estudiadas en cada paquete de herramientas



Las características de cada paquete comercial se recopilan en la Figura 4 y las ventajas y desventajas de cada sistema se exponen en la Figura 4. (Carlson, 2013), (Caterpillar, 2013), (Leica, 2013), (Modular, 2013), (Wenco, 2013)

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 de los vehículos. (Komatsu, 2013)

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 ha petición de los clientes.

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.

Figura 4. Características de los principales paquetes de gestión de flotas presentes en el mercado

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 (KPI)	No	Sí	Sí	Sí	Sí Local (JPS)	No Indica	No Indica	No Indica	Software
	Jfleet	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Volquete	No	Sí Local (JPS)	No Indica	No Indica	No Indica	Gestión
	J ² Guidance	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Buldozers Perforadoras Pala Draglines	No	Sí Local (JPS)	No Indica	No Indica	No Indica	Automatización
	J ³ Autonomous	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Volquete Buldozers Excavadoras	No	Sí Local (JPS)	No Indica	No Indica	No Indica	Automatización
Wencomine	Jassist	Sí	No	No	Sí	No	Sí	No	No	Sí Local (JPS)	Sí	Sí	No Indica	GPS Local
	Wencompass	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Sí	Sí	No Indica	Navegación
	Wencover	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Sí	Sí	No Indica	Seguridad
	Wencondition	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Sí	Sí	No Indica	Mantenimiento
	Wenconnect	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Sí	Sí	No Indica	Conectividad
	Mine Vision	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Sí	Sí	No Indica	Modelado 3D
Caterpillar Mine Star	Fleet	Sí	No	No	Sí	No	Sí	Volquetes Excavadoras Motoniveladoras Perforadoras Cargadoras Buldozers	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Gestión
	Terrain	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Excavators Graders Perforadoras Cargadoras Draglines	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Conectividad
	Detect	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Volquetes Motoniveladoras Buldozers	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Seguridad
	Health	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Volquetes Buldozers	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Mantenimiento
Carlson Machine Control Mining	Command	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Automatización
	Mining Grade	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	Volquetes	Sí	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Conectividad
	VolquetePRO	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Gestión
	Manager Office	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Gestión
	MineRover	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No Indica	No Indica	Sí	Red Local
	ProVision	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Pala Excavadoras Buldozers Perforadoras	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Gestión
Modular Mining Systems	Dispatch	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Optimización
	MineCare	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí	(Enterprise Edition)	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Mantenimiento
	ModularReady Interfaces	No	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Software
	AssetAlert	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	No	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Antirrobo
MasterLink	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	GPS Local	
Hardware	Sí	No	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No Indica	No Indica	No Indica	Hardware	

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las herramientas analizadas

Paquete	Ventajas	Desventajas
Leica	Set Completo	Sin Experiencia en el Sector
	GPS Local	Falta de Información sobre la Compatibilidad con:
	Compañía Solvente	WiFi
	Hardware Propio	GPS
	Software Propio	Elementos de Maquinaria
	Modular y Ampliable	Pocos Equipos Implementados
Caterpillar	Herramienta de Automatización	Sin RADAR, Escáner 3D y Cámara Trasera
	Amplia Experiencia en el Sector	Falta de Información sobre la Compatibilidad con:
	Hardware Propio	WiFi
	Software Propio	3G
	Modular y Ampliable	Maquinaria de distintas Empresas
	Compañía Solvente	Sin GPS Local
Modular Mining	Con RADAR, Escáner 3D y Cámara Trasera	Falta de Información sobre la Compatibilidad con:
	Hardware Propio	WiFi
	Software Propio	3G
	GPS Local	3G
	Modular y Ampliable	Maquinaria de distintas Empresas
	Personalización Completa	Pocos Equipos Implementados
Wencomine	Herramienta Antirrobo	Sin RADAR, Escáner 3D y Cámara Trasera
	Mantenimiento Centralizado	Sin Experiencia en el Sector
	Colabora con Hitachi	Poca Información respecto a los Competidores
	Compatible con WiFi y 3G	Sin Herramienta de Automatización
	Compatible con CAD	Sin RADAR, Escáner 3D y Cámara Trasera
	Crea Modelos 3D del Terreno	Pocos Equipos Implementados
Carlson Software	Amplia Experiencia en el Sector	Poca Información respecto a los Competidores
	Personalización Completa	Sin Herramienta de Automatización
	Permite la Creación de Escenarios	Sin RADAR, Escáner 3D y Cámara Trasera
	Hardware Propio	Pocos Equipos Implementados
	Software Propio	Falta de Información sobre la Compatibilidad con WiFi y 3G

4. Criterios de Diseño de Sistemas de Gestión y Automatización de Flotas Mineras

El análisis de los paquetes comerciales analizados permite observar que todos ellos presentan deficiencias en cuanto a su diseño, aunque la automatización de procesos en entornos extremadamente variables como son las explotaciones mineras 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.

Por tanto, una vez analizadas todas las características, incluidas ventajas y desventajas, de todos los sistemas disponibles, conviene establecer los criterios de diseño que permitan optimizar e implementar este tipo de herramientas, subsanando los errores actuales y complementando algunas de las funciones.

Los criterios de diseño que deben incluirse en un sistema de gestión global y automatización se pueden clasificar en función de que afecten al Hardware, al Software o a la red de comunicaciones del sistema.

Criterios de Diseño 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.
- También debe procederse a la instalación de un sistema anti-robo dotado de geolocalización y un sistema de parada automática.
- 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.
- También deben instalarse baterías solares o dispositivos similares para la alimentación del hardware con el fin de minimizar el consumo de energías fósiles.
- 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.

Criterios de Diseño del Software

- Los programas de Software deben funcionar en cualquier sistema operativo, preferiblemente en entorno Windows.

- Todo el paquete de Software debe ser compatible con los formatos CAD (tanto .dgn como .dwg), los paquetes de ofimática Microsoft Office (Excel, Access, Word, etc.) y los formatos de audio y vídeo típicos.
- Todo el paquete de Software debe estar dotado con un sistema antivirus, y este debe ser implementado y actualizado periódicamente.
- 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.

Criterios de Diseño 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.

Una vez establecidos los criterios de diseño, se analizaron los pros y contras que tendría la creación de un sistema propio que cumpliera con los criterios planteados.

Los principales beneficios que aportaría el desarrollo de un sistema propio de gestión de la flota serían:

- Seguridad Tecnológica: El desarrollo y fabricación de las herramientas facilita la resolución de problemas relacionados con la seguridad de la información.
- Mantenimiento: Permitiría mejorar la eficiencia del mantenimiento ya que se podrían planificar las operaciones de mantenimiento con suficiente antelación.
- Centralización: La implementación de un sistema propio permitiría la centralización de los servicios de varias explotaciones en un solo centro de trabajo.
- Implementación: El desarrollo de un sistema propio permitiría desarrollar las actualizaciones según un esquema propio y no depender de una empresa ajena.
- Personalización: Al crear el sistema se pueden personalizar las interfaces de usuario, las alarmas, los modelos predictivos etc. El propio operador podría adecuar su dispositivo dentro del vehículo.

- Sistema GPS local: Permite minimizar los defectos de la aplicación GPS vía satélite, asegura una mejor cobertura en la explotación y hace que el sistema sea modular y ampliable.

Las principales desventajas que se encuentran al desarrollar un sistema propio serían:

- 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.
- Mercado cerrado: Se trata de un mercado casi oligopólico, en que unas pocas empresas controlan casi todos los clientes, y además tienen una experiencia más amplia en el sector minero.
- Inversión económica: Los costes de crear un sistema propio parecen ser más elevados que los de adquirir uno propio, ya que la inversión en materiales y es muy notable.
- Mano de Obra: Para poder fabricar los equipos de Hardware se necesita mano de obra especializada, lo mismo que para la programación del Software.
- 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.
- Desarrollo tecnológico: La creación de un sistema propio implica la necesidad de llevar una estricta vigilancia tecnológica, que permita conocer novedades comerciales de los principales competidores.

5. Conclusiones

Las conclusiones más importantes que pueden extraerse al analizar los distintos sistemas presentados son las siguientes:

- Estos sistemas reducen la carga de trabajo manual y el estrés laboral del operario.
- Estos sistemas permiten la eliminación de riesgos laborales, sobre todo de accidentes de los vehículos, ya que permiten guiar los vehículos incluso en condiciones climatológicas adversas.
- Estos sistemas mejoran notablemente las condiciones de trabajo y los tiempos empleados en realizar las tareas.
- Estos sistemas permiten reducir los tiempos de las operaciones de mantenimiento.
- El sector ha alcanzado un fuerte grado de maduración, aunque en la actualidad la automatización está sólo presente en grandes explotaciones.
- Los paquetes que se comercializan actualmente incluyen un conjunto de hardware y software, y presentan sistemas de geolocalización de los vehículos basados en el GPS.
- Los proveedores actuales de este tipo de sistema no sólo incluye empresas de maquinaria minera, sino que también empresas de logística o empresas de topografía han comercializado paquetes de gestión.

Lo que sí parece bastante probable es que en los próximos años las tendencias de los sistemas de gestión de flotas sigan estos caminos:

- La automatización parcial o total de las operaciones de los vehículos, tanto la carga como el transporte rodado.
- 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.
- La implementación de programas de Software más intuitivos, con interfaces más simples y que permitan su manejo con órdenes orales por parte del operador.
- La implementación de nuevos sistemas de seguridad para minimizar el número de accidentes, como por ejemplo la instalación de grabadoras digitales que actúen de manera similar a las cajas negras de los aviones.

El desarrollo de una herramienta global de gestión que permita la automatización de las operaciones de los vehículos mineros requiere un considerable esfuerzo económico, tecnológico y humano.

6. Referencias

- Bustillo, M. & López, C. (1997). *Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras*. Madrid: Entorno Gráfico SL.
- Carlson Software. Obtenido en noviembre de 2013, desde <http://www.carlsonsw.com/solutions/mining-solutions/> y <http://www.carlsonmachinecontrol.com/products/applications/mining/index.html>
- Caterpillar Inc. Obtenido en noviembre de 2013, desde <http://www.catminestarsystem.com/> y <https://mining.cat.com/>
- Komatsu Limited. Obtenido en noviembre de 2013, desde <http://www.komatsu.com/currenttopics/v09212/>
- Leica Geosystems. Obtenido en noviembre de 2013, desde <http://mining.leica-geosystems.com>
- 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.
- Modular Mining Systems Inc. Obtenido en noviembre de 2013, desde <http://modulrmining.com/products/>
- Rio Tinto SEIA reports. (2012). Simandou SEIA Volume I Mine. (Chapter 2: Project Description). Londres: Rio Tinto Ltd.
- Wencomine Mining Systems Ltd. Obtenido en noviembre de 2013, desde <http://www.wencomine.com/>