



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTEMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

INTRODUCCIÓN DE UN LHD HÍBRIDO A LA INDUSTRIA MINERA Y SUS POSIBILIDADES EN EL MERCADO CHILENO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

GONZALO ESTEBAN ROJAS LAFUENTE

PROFESOR GUIA:
FERNANDO SILVA CALONGE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
EDUARDO EGUILLOR RECABARREN
GONZALO MONTES ATENAS

SANTIAGO DE CHILE
2017

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE:** Ingeniero Civil de Minas

POR: Gonzalo Esteban Rojas Lafuente

FECHA: 07 de abril de 2017

PROFESOR GUÍA: Fernando Silva Calonge

INTRODUCCIÓN DE UN LHD HÍBRIDO A LA INDUSTRIA MINERA EN CHILE Y SUS POSIBILIDADES DE MERCADO

El presente estudio busca determinar las posibilidades de mercado del nuevo LHD híbrido diésel – eléctrico, 18HD, en la industria minera en Chile. Para establecer las posibilidades primero se compara la tecnología híbrida con las tecnologías presentes hasta ahora en la industria y posteriormente se hace un análisis de mercado de los equipos subterráneos en Chile.

La industria minera en general, y particularmente en Chile, ha estado dominada por los equipos con accionamiento mediante Diésel, mientras que la participación de los equipos eléctricos ha estado bastante restringida debido a sus limitaciones operacionales. La principal desventaja de los equipos diésel es la alta emisión de material particulado y contaminante. Esta desventaja sumada a los nuevos desafíos de la minería que buscan aumentar la productividad, confiabilidad y mantenibilidad han impulsado a las empresas proveedoras de equipos a desarrollar de nuevas tecnologías que permitan entregar soluciones acordes a los desafíos de la actualidad.

Un ejemplo de esto es el equipo híbrido desarrollado por Joy Global, el cual tiene un sistema de accionamiento diésel – eléctrico. Entre los principales beneficios de este equipo destacan: recuperación de energía de frenado, mayor aceleración, menores costos de mantenimiento, menor uso de combustible y requerimientos de mantención, aumento de la disponibilidad mecánica, entre otros. Este equipo ha completado su etapa de prototipo y se someterá a una prueba industrial en una operación en Chile para cuantificar todos los posibles beneficios que entrega.

El mercado de los equipos en Chile está principalmente dominado por grandes proveedores mundiales de la minería subterránea como los son Atlas Copco, Sandvik y Caterpillar. Los clientes se dividen en dos grandes grupos; la gran minería, principalmente aquellas minas explotadas por block caving, las cuales tienen un gran poder de negociación al momento de comprar equipos; y la mediana minería, la cual se ha visto afectada en mayor parte por la situación del mercado.

Para que el equipo pueda ser comercializado con éxito debe aprovechar las oportunidades que ofrece el mercado, las cuales son; el envejecimiento de la flota de equipos en Chile, la construcción de grandes proyectos y la recuperación del precio. Además, debe destacar por sobre la competencia en cuanto a los servicios entregados.

ABSTRACT

The present study aims to determine the market possibilities of the new diesel - electric Hybrid LHD, 18HD, in the mining industry in Chile. In order to establish the possibilities, first the hybrid technology is compared with the technologies present so far in the industry and afterwards a market analysis of the underground equipment in Chile is made.

The mining industry in general, and particularly in Chile, has been dominated by equipment powered by diesel, while the electrical equipment has been restricted due to its operational limitations. The main disadvantage of diesel equipment is the high emission of particulate matter and pollutant. This disadvantage coupled with the new challenges of mining that seek to increase productivity, reliability and maintainability have encouraged equipment suppliers to develop new technologies to deliver solutions in line with the challenges of today.

An example of this is the hybrid equipment developed by Joy Global, which has a diesel - electric drive system. Among the main benefits of this equipment are: braking energy recovery, greater acceleration, lower maintenance costs, lower fuel consumption and maintenance requirements, increased mechanical availability, among others. This team has completed its prototype stage and will undergo an industrial test in an operation in Chile to quantify all the possible benefits that it delivers.

The equipment market in Chile is mainly dominated by large world suppliers of underground mining such as Atlas Copco, Sandvik and Caterpillar. Clients are divided into two large groups; The great mining, mainly those mines exploited by block caving, which have a great bargaining power when buying equipment; And medium-sized mining, which has been affected in large part by the market situation.

In order for the equipment to be successfully marketed, it must take advantage of the opportunities offered by the market, which are; the aging of the fleet of equipment in Chile, the construction of large projects and the recovery of the price. In addition, you must stand out over the competition as to the services delivered.

Tabla de Contenido

1.	Introducción.....	1
1.1.	Presentación del tema.....	1
1.2.	Objetivos	2
1.2.1.	Objetivo General.....	2
1.2.2.	Objetivos específicos.....	2
1.3.	Alcances.....	2
1.4.	Metodología	3
2.	Antecedentes	4
2.1.	Estado del arte equipos LHD	4
2.1.1.	Equipos Diésel.....	4
2.1.2.	Equipos Eléctricos	5
2.2.	Caracterización de la minería subterránea en Chile.....	7
2.2.1.	Minería a gran escala	8
2.2.2.	Mediana Minería	9
2.3.	Importación equipos mineros en Chile	12
2.3.1.	Equipos Scoop en Chile	13
2.3.2.	Importación por capacidad de equipo.....	15
2.4.	Parque de equipos LHD en Chile	16
3.	Descripción tecnología Hibrida.....	19
3.1.	Beneficios.....	20
3.2.	Funcionamiento.....	21
3.2.1.	Puesta en marcha.....	22
3.2.2.	Aceleración.....	24
3.2.3.	Frenado	26
3.3.	Principales sistemas equipo hibrido	29
3.3.1.	Motor Switched Reluctance	30
3.3.2.	Sistema almacenamiento de Energía (KESS)	31
3.4.	Comparación con equipos diésel.	32
4.	Primera implementación de la tecnología hibrida.....	36
4.1.	Resultados operacionales	36
4.2.	Aspectos a rescatar.....	37

4.3. Aspectos negativos	40
5. Implementación tecnología Híbrida en Chile	41
5.1. Descripción y objetivos.....	41
5.2. KPI claves	42
6. Estructura del mercado de los equipos minería subterránea	43
6.1. Proveedores.....	43
6.1.1. Atlas Copco	44
6.1.2. Caterpillar	44
6.1.3. Sandvik.....	46
6.2. Oferta de quipos.....	46
6.3. Clientes	49
6.3.1. Gran Minería.....	50
6.3.2. Mediana Minería	52
6.3.3. Empresas contratistas	52
7. Análisis de mercado.....	53
7.1. Análisis FODA.....	53
7.1.1. Fortalezas.....	54
7.1.2. Oportunidades	55
7.1.3. Debilidades.....	56
7.1.4. Amenazas.....	57
7.2. Análisis Fuerzas de Porter	57
7.2.1. Peligro de entrada de nuevos participantes.....	58
7.2.2. Poder de los proveedores.....	58
7.2.3. Poder de los sustitutos	59
7.2.4. Poder de los compradores.....	59
7.2.5. Rivalidad entre los competidores.....	60
8. Conclusiones.....	61
9. Bibliografía	63
ANEXO A	65

Índice de figuras

Figura 1: Metodología para determinar posibilidades reales de ser comercializado.	3
Figura 2: Principales Sistemas LHD Diésel (Fuente: Gustafson 2013)	4
Figura 3: Producción de Cobre en Chile durante el año 2015 según tipo de minería (Fuente: Zablocki, 2016).	8
Figura 4: Número de minas subterráneas en Chile según método de explotación ..	9
Figura 5: Producción de cobre según método de explotación minería subterránea. (Fuente: Zablocki, 2013)	9
Figura 6: Evolución del costo C1 en la mediana minería del cobre. (Fuente: Cochilco)	10
Figura 7: Exportación por sector económico año 2014. (Fuente: Cochilco)	11
Figura 8: Canales de comercialización de la Mediana Minería según Segmento. (Fuente: Cochilco)	12
Figura 9: Producción de cobre de las 15 minas subterráneas de mayor tamaño de mediana minería. (Fuente: Zablocki, 2016).....	12
Figura 10: Participación por empresa de equipos de minería subterránea años 2008 – 2016 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecomex)	13
Figura 11: Importación de equipos LHD desde el año 2008 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecomex)	14
Figura 12: Precio del cobre durante los últimos 20 años (Fuente: Cochilco)	15
Figura 13: Importación de equipos LHD separado por capacidad nominal desde el año 2008 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecomex)	16
Figura 14: LHD diésel Híbrido 18HD. Fuente: U-Mining 2016.	20
Figura 15: Vista lateral 18HD. Fuente: Joy Global.	20
Figura 16: Principales sistemas equipo diésel híbrido. Fuente: Joy Global.	22
Figura 17: Diagrama de proceso del funcionamiento del equipo y tipos de energía involucradas. Fuente: Joy Global.	23
Figura 18: Diagrama del funcionamiento del LHD representando flujos de energía posibles. Fuente: Joy Global.	24

Figura 19: Diagrama de flujo de energía durante el proceso de cargado de la unidad KESS. Fuente: Joy Global.....	25
Figura 20: Diagrama de flujo de energía durante el proceso de aceleración en un sistema hibrido SR. Fuente: Joy Global.	26
Figura 21: Diagrama de flujo de energía durante el proceso de desaceleración en un sistema hibrido SR. Fuente: Joy Global	27
Figura 22: Diagrama de flujo de energía durante el proceso de frenado ligero en un sistema hibrido SR. Fuente: Joy Global	28
Figura 23: Diagrama de flujo de energía durante el proceso de frenado de emergencia en un sistema hibrido SR. Fuente: Joy Global.....	29
Figura 24: Motor SR. Fuente: Joy Global.	30
Figura 25: Motor SR Rotor y Estator. Fuente: Joy Global.	31
Figura 26 Esquema básico Motor SR. Fuente: Joy Global.....	31
Figura 27: Unidad KESS. Fuente: Joy Global	32
Figura 28: Comparación de aceleración, velocidad y tiempo entre equipo Diésel e Híbrido para una distancia dada. Fuente: Joy Global.....	34
Figura 29: Comparación entre ambas tecnologías de la distancia en función del tiempo para un ciclo determinado (Fuente: Elaboración propia).	34
Figura 30: Tiempo necesario para recorrer distintas distancias para ambas tecnologías. Incluye caso con mayor velocidad. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 31: Distribución tiempo 18 HD en Australia Julio-Octubre. Fuente: Elaboración propia.	37
Figura 32: Producción 18HD en Australia Julio-Octubre. Fuente: Elaboración propia	37
Figura 33: Histograma distancia de acarreo Ridgway Mine	38
Figura 34: Diseño original balde del equipo hibrido. Fuente: Joy Global.....	39
Figura 35: Nuevodiseño balde del 18HD. Fuente: Joy Global.....	39
Figura 36: Importación por año de LHD con capacidad mayor a 10 toneladas. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecomex)	49
Figura 37: Análisis FODA LHD Híbrido – Joy Global (Fuente: Elaboración propia)	53

Figura 38: Comparación TCO entre equipos Diésel e Hibrido (Fuente: Joy Global)	54
--	----

Figura 39 : Precio promedio por LHD para distintas capacidades. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecomex.	57
---	----

Índice de Tablas

Tabla 1: Parque LHD en Chile por empresa. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Editec)	17
Tabla 2: Resumen flota de equipos por tamaño de balde. (Fuente: Elaboración propia)	18
Tabla 3: Comparación tecnologías Diésel - Hibrido. Fuente: U-Mining	33
Tabla 4: KPI a medir en prueba industrial DET. (Fuente: Codelco)	42
Tabla 5: Características físicas de equipos LHD. Fuente: Eleboracion propia.	47
Tabla 6: Características mecánicas de principales equipos LHD. Fuente: Elaboración propia.	48
Tabla 7: Flota promedio División El Teniente. Mina sin proyecto Nuevo Nivel Mina (Fuente: PND 2015 División El Teniente)	51
Tabla 8: Perfil de reemplazos de equipos LHD División Andina (Fuente: División Andina)	51
Tabla 9: Plan de compras División El Teniente. Proyecto Nuevo Nivel Mina (Fuente: PND 2015 División El Teniente)	56

1. Introducción

1.1. Presentación del tema

La industria minera se encuentra en un momento de ajustes, no solo debido a los cambios en los escenarios macroeconómicos que se han vivido en el último tiempo y que han llevado al precio del cobre a un nuevo ciclo de precios bajos, sino que también a la manera en la que se hacen las cosas en distintos aspectos como operación, seguridad, medioambiente, calidad de vida de los trabajadores, entre otros.

El principal ajuste que se ha hecho en la industria debido a la caída del precio del metal rojo es la adaptación de las empresas mineras, las cuales pasaron de una mentalidad en donde la consigna era producir más para aprovechar los buenos precios a un escenario actual en donde la consigna más importante es reducir los costos sin comprometer los aspectos de seguridad.

Los aspectos principales que juegan un rol preponderante en la reducción de costos y que han marcado la pauta de discusión en el último tiempo en distintas ferias, seminarios y congresos son la productividad, confiabilidad y durabilidad de los activos. También destacan otros temas como la eficiencia energética, el uso de diésel, el desarrollo de tecnologías autónomas entre otras.

Para lograr el aumento de estos índices operacionales de los activos mineros las empresas proveedoras juegan un rol fundamental en la innovación y desarrollo de tecnologías que faciliten el proceso de cambio en las empresas mineras. Un ejemplo de esto es este equipo de carguío para minería subterránea el cual cuenta con una tecnología híbrida diésel – eléctrico, desarrollado por la empresa Joy Global. Esta tecnología es una adaptación de la tecnología con la que cuentan los cargadores frontales LeTourneau, los cuales llevan operando por años en diversas minas a cielo abierto a lo largo del mundo.

En Chile, el cambio de las condiciones de mercado ha afectado tanto a los grandes productores como a los más pequeños. Sin embargo, los grandes productores que explotan a través de minería subterránea, principalmente Codelco, siguen con sus proyectos de continuidad operacional, mientras que la mediana minería, a pesar de contar con políticas de fomento del estado, se ha visto obligada a postergar sus proyectos debido a la falta de financiamiento.

Sin embargo, el escenario macroeconómico está comenzando a cambiar, lo que se observa en la alza del precio del cobre y las proyecciones a futuro muestran un precio más alto que lo visto en el año 2016. Esto permitirá la reactivación de varios proyectos que se han vistos postergados, aumentando así la demanda por equipos de minería subterráneos.

Para determinar si el híbrido 18HD tiene posibilidades de ingresar al mercado en Chile es necesario caracterizar tanto el parque de equipos existente en Chile como la estructura del mercado. En este último se busca analizar los proveedores, las necesidades de las diferentes compañías mineras y comparar con lo que ofrece Joy Global a través de su equipo híbrido.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

El presente estudio tiene por objetivo general estudiar el mercado de los equipos de carguío y transporte, conocidos como LHD, para determinar si el nuevo LHD desarrollado por Joy a partir de una tecnología híbrida tiene posibilidades de ingresar al mercado Chileno.

1.2.2. Objetivos específicos.

Dentro de los objetivos específicos que permiten desarrollar el objetivo general de este estudio se presentan:

- Realizar un análisis sobre el estado del arte de los equipos scoop, con las respectivas ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías presentes.
- Explicar la tecnología híbrida que posee el equipo, desarrollada a partir de motores SR.
- Exponer de manera cualitativa los beneficios de la tecnología híbrida.
- Realizar una descripción al funcionamiento del equipo híbrido.
- Cuantificar la flota de equipos de carguío de minería subterránea en Chile.
- Establecer el mercado de LHDs en Chile en cuanto a unidades y precios.
- Caracterizar de manera superficial la gran minería y la mediana minería.
- Analizar las diferencias en el mercado de equipos para gran y mediana minería subterránea.
- Describir la situación de los principales proveedores que existen en la minería subterránea.

1.3. Alcances

El trabajo a desarrollar contempla una revisión de las tecnologías que están presente en los sistemas de accionamiento de los LHD. Sin embargo, el LHD híbrido solo se compara con equipos diésel debido a la nula presencia de los equipos eléctricos en la industria Chile.

Si bien en algunas minas de Chile se ocupan LHD telecomandados¹ y también se ha probado la tecnología autónoma, la comparación se realiza con equipos que sean operados manualmente ya que el equipo presenta el cambio más disruptivo en la tecnología del motor y no en el modo de operación del equipo.

El mercado de los scoop en Chile es bastante particular, ya que existen un sub mercado de compra y venta de equipos y otro de arriendo de equipos, lo que hace difícil determinar con exactitud el parque de equipos en Chile. Debido a lo anterior se considera para los análisis los datos correspondientes a la importación de equipo ya que solo se consideran equipos nuevos.

El precio señalado no es exactamente igual al precio pagado por los clientes.

¹ Fuente: <http://www.confederaciondelcobre.cl/erbocefnoc/null-68/>

Este estudio no busca la creación de una estrategia de comercialización del equipo.

1.4. Metodología

La metodología utilizada para establecer si el equipo híbrido tiene posibilidad de entrar al mercado de los equipos de carguío y transporte de minería subterránea en Chile tiene cuatro puntos principales:

El primero de ellos es establecer un marco de estudio donde se investiguen todos los tipos de tecnología con la que cuentan los equipos LHD en la industria, con sus respectivas ventajas y desventajas. Además, se busca caracterizar la minería subterránea en Chile, con las principales características y desafíos del sector. Este marco de estudio también busca determinar el parque de Equipos LHD que existen en Chile.

En segundo lugar, se describe la tecnología híbrida en donde se involucran los beneficios que generaría la aplicación de estos equipos, se hace una descripción de manera simplificada del funcionamiento del equipo junto a una descripción de los principales sistemas involucrados en el funcionamiento y como estos influyen en la entrega de los resultados. Además, se busca establecer una comparación lo más real posible, considerando el estado en el cual se encuentra el proyecto del equipo, entre la tecnología híbrida y los equipos accionados mediante diésel. Finalmente se revisan dos casos de implementación a nivel de prueba del 18HD.

También se busca determinar cuál es la estructura que tiene la minería subterránea, en especial el mercado de los equipos de carguío y transporte. Se establece cual es la organización de mercado, cuáles son las pocas empresas que se disputan las cuotas de mercado y cuáles son sus estrategias para aumentar sus ventas. Se busca también la caracterización de los clientes, separados en gran y mediana minería, cual es la realidad que vive cada una de estos sectores y que necesidades tienen.

Finalmente se analiza la situación del mercado utilizando las herramientas más conocidas como lo son el análisis FODA, que busca relacionar tanto los aspectos positivos como negativos y los internos y externos. Además, se utiliza el análisis de las fuerzas de Porter para complementar la situación del mercado.

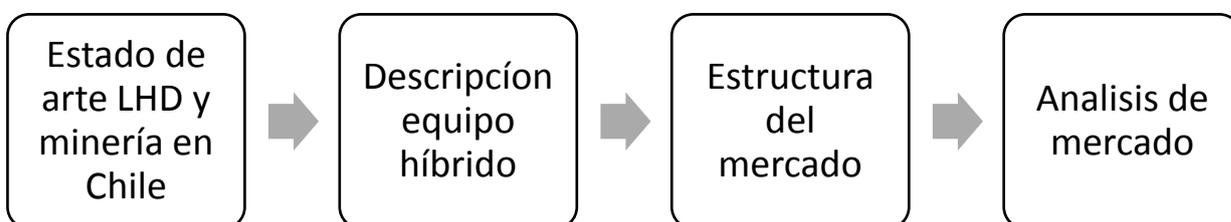


Figura 1: Metodología para determinar posibilidades reales de ser comercializado.

2. Antecedentes

2.1. Estado del arte equipos LHD

Los LHD, Load Haul Dump, son cargadores articulados de bajo perfil usados en minería subterránea para cargar y transportar el mineral. Estos equipos nacen de la adaptación de los cargadores de superficie a las necesidades de la minería subterránea (Baez 2016) y están diseñados para descargar el mineral ya sea a pique de traspaso, a un camión y a un stock.

Los cargadores de subterránea aparecen en la industria minera a fines de la década del 50 resultando en cambios sustanciales a la planificación minera y las tasas de extracción (Paterson and Knights 2012). Sin embargo, fue a principios de los 80 cuando el uso de este equipo se masificó gracias a que las principales minas de que utilizan una explotación mediante block caving (El Teniente y Henderson Mine) cambiaron a una variante del método en base al uso LHD (Weston 2016).

En la actualidad existen dos tipos de LHD, clasificados según la tecnología con la que funcione el motor: los equipos Diésel, utilizados desde 1960, que destacan por el gran dominio que tienen en la industria; los equipos eléctricos entraron al mercado en 1980 y el gran problema que han enfrentado desde la fecha es que tienen una operación limitada debido al cable de poder.

2.1.1. Equipos Diésel

En la actualidad existe una amplia variedad en la oferta de equipos LHD, donde se tienen capacidades que van desde menos de una tonelada hasta las 25 toneladas, distintos tipos de frenado y capacidades de motores. Sin embargo, todos estos equipos presentan los siguientes componentes:

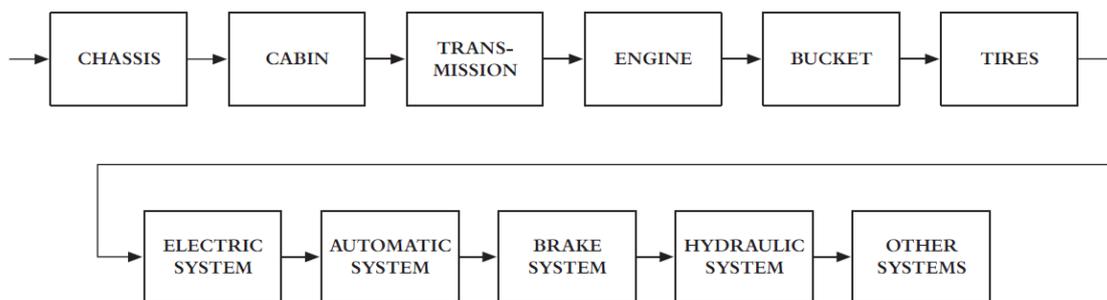


Figura 2: Principales Sistemas LHD Diésel (Fuente: Gustafson 2013)

2.1.1.1. Ventajas equipos diésel

Estos equipos siguen teniendo una fuerte presencia en el mercado debido a sus características operaciones que han sido difíciles de superar como lo son (Ross 2008, Jacobs 2013, Paraszczak 2014):

- Alta productividad debido a mayores velocidades y menores tiempos de carga y descarga.
- Alta utilización.

- Flexibilidad operacional y autonomía de movimiento.
- Alta energía específica del combustible (aproximadamente 13 kWh/kg),
- Bajo costo de capital
- Variabilidad en el uso que se le puede dar al equipo.

2.1.1.2. Desventajas equipos diésel

Sin embargo, estos mismos autores coinciden en que los mayores problemas que presentan este tipo de equipos están relacionado con las altas emisiones de partículas y las altas temperaturas a las que trabajan los motores diésel. Estos dos factores afectan directamente una de las principales restricciones que se tiene en la minería subterránea, la ventilación. Entre los principales objetivos de tener una buena ventilación destacan (Tuck 2011): Proveer oxígeno tanto para el personal para la combustión de los equipos; diluir gases, tanto los emitidos por los motores diésel como los de tronaduras; regular la temperatura al interior de la mina; diluir el humo de diésel (DPM, diesel particulate matter) y mejorar la visibilidad. El efecto en los requerimientos de ventilación no es menor ya que los costos de está representa entre el 30 – 40% de los costos eléctricos de operación (De la Vergne 2003).

Otras desventajas asociadas al uso de esta tecnología son (Jacobs 2013, Paraszczak 2014, Paterson and Knights 2012):

- Altos niveles de contaminación acústica.
- Baja eficiencia energética, los motores con mayor eficiencia llegan al 50%, mientras que la mayoría está bajo el 40% (Varaschin 2016).
- Baja capacidad de sobrecarga.
- Considerable requerimiento de mantención.
- Mecánicos altamente especializados.
- Costos operacionales tienden a elevarse con los precios del petróleo.
- Fuertes vibraciones y posibilidades de formación de niebla

2.1.2. Equipos Eléctricos

Debido a los problemas no menores relacionados con la utilización de equipos en base a tecnología diésel y al constante intento de innovación por parte de las empresas manufactureras de equipos es que desde los años sesenta ha existido avances con respecto a los LHD, con el foco de desarrollo puesto principalmente en el mejoramiento de los equipos eléctricos y la tecnología automatizada (Matikainen 1991). Debido a este desarrollo los equipos eléctricos surgen como alternativa a los LHD Diésel. Sin embargo, esta tecnología no ha tenido el mismo impacto en el mercado como lo tuvieron los equipos de diésel en sus inicios.

2.1.2.1. Ventajas equipos eléctricos.

En los últimos años ha existido un intento por posicionar a los equipos eléctricos como una alternativa real a los Diésel, por lo que se ha avanzado en la investigación de los beneficios que podría traer la aplicación de este tipo de equipos, donde muchos autores (Chaparro 2002, Jacobs 2013, Paraszczak 2014, Paterson and Knights 2013) señalan que los principales beneficios de la aplicación de esta tecnología son:

- Motor con una eficiencia energética mayor (aproximadamente 90%).

- Presentan un torque constante, incluido un alto torque a baja velocidad, lo que ofrece una rápida respuesta a la carga y mejor capacidad de sobrecarga.
- No existe emanación de gases nocivos, evitando contaminación y la formación de neblina. Esta característica permite reducir los requerimientos de ventilación.
- El motor no produce altas emanaciones de calor ni ruido, lo que se traduce en un mejor ambiente en el área de trabajo.
- Costo horario de la energía es menor al costo del petróleo.
- La altura de trabajo afecta de menor manera a los motores eléctricos que a los diésel.
- El polvo en suspensión afecta en menor grado a los componentes del motor eléctrico, lo que se traduce en menores mantenciones, y por lo tanto, en mayor disponibilidad.
- Al no necesitar combustible, se elimina un posible foco de incendio al interior de la mina.

2.1.2.2. Desventajas equipos eléctricos.

Las dificultades que han encontrado los LHD eléctricos para entrar con fuerza a la industria tienen que ver con las fuertes desventajas que presentan, principalmente la reducción en la flexibilidad de la operación, menor movilidad y el rango de transporte. Estos aspectos hacen que la aplicación de estos equipos esté limitada a ciertos métodos de explotación y diseños de los niveles de producción, en donde la aplicación de estos equipos se reduce a los métodos que utilizan métodos de extracción por hundimiento (Paterson and Knights 2013). No se ha encontrado registros de la utilización de estos equipos para trabajos de desarrollos.

Entre los diseños del nivel de producción para los métodos de block/panel caving los más comunes son las mallas tipo Henderson y la malla tipo Teniente. Paterson y Knights son los autores que más han escrito sobre este tema en particular y señalan que no existen registros de que se haya probado un eLHD en alguna mina con una malla de extracción tipo Henderson, debido a que se deberían realizar muchas variaciones al diseño de la malla para que resulte en una extracción provechosa. Además, el LHD pasaría por arriba del cable cada vez que tenga que retroceder, generando un riesgo extra que puede terminar en la rotura de este. Sin embargo, Laubscher (2003) señala que el diseño de esta malla de extracción permite tanto el uso de equipos eléctricos como diésel. En el caso de la malla tipo Teniente, si existen pruebas de este tipo de equipo, las cuales se desarrollaron durante los años 80 en la mina El Teniente, en donde los resultados fueron insatisfactorios. En este layout ocurre el mismo problema en el cual el equipo no puede retroceder sin pasar por encima del cable. El mismo estudio de Laubscher señala que los eLHD no son compatibles para el diseño de esta malla.

Otras restricciones a la utilización de LHD eléctricos que vienen dadas por el diseño de los niveles de producción son

- Largo y tipo de los cables de arrastre.
- Instalación de gate and bays.
- Requieren de instalaciones adicionales de suministro, transformación y tendido eléctrico, aumentando así la inversión y costos de mantención y reparación de estas unidades.

- Limitación en el número de equipos por unidad de alimentación.
- Sistemas eléctricos se pueden ver afectados por la presencia de agua.
- Tipo de carpeta existente ya que afecta directamente la vida útil del cable.

. A pesar de esto, existe una falta de información sobre la aplicación práctica y resultados reales que ha tenido esta tecnología en las distintas faenas del mundo.

2.2. Caracterización de la minería subterránea en Chile

Chile ha mantenido durante décadas una posición como principal productor de Cobre en el mundo produciendo el 30% del cobre mundial, equivalente a aproximadamente 5.54 millones de toneladas de cobre fino, seguido por China con un 9% y Perú con un 8%. Sin embargo, esta posición de liderazgo se ve cada vez más amenazada ya que en los últimos diez años Chile subió su producción en un 5.5% mientras China en un 114% y Perú en un 37%².

En el país se distinguen tres tipos de minería, clasificación que varía según quien haga la clasificación. Las tres clasificaciones más comunes están hechas por el Sernageomin, basada en horas trabajadas; Ministerio de Minería en base a la producción de cobre blíster, refinado a fuego o electrolítico, en cualquiera de sus formas; y por Enami en base a la venta mensual de minerales o su equivalente.

Para poder analizar el mercado de los LHD es necesario poder clasificar según cantidad de mineral que es procesado, por lo que se utiliza la clasificación dada por Zablocki:

- Gran escala: Producción superior a 16 mil toneladas de mineral al día.
- Mediana minería: Producción superior a las 300 toneladas de mineral por día, pero inferior a las 16 mil toneladas día.
- Pequeña minería: Inferior a 300 toneladas de mineral al día.

Separando la producción de cobre por tipo de minería según tamaño se tiene que la mediana minería produce el 5.5% del total de cobre que se produce en Chile. El porcentaje de participación de la minería mediana es bastante menor en comparación a otros países latinoamericanos como lo son Perú con un 25% y México con un 100%.

² Fuente: <http://www.latercera.com/noticia/chile-pierde-terreno-como-productor-de-cobre-en-medio-del-desplome-del-metal/>

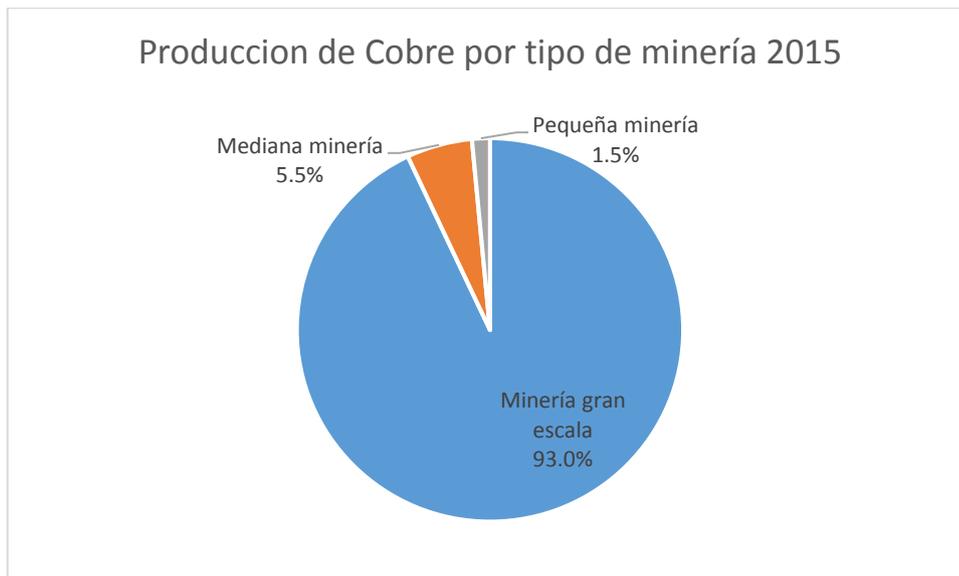


Figura 3: Producción de Cobre en Chile durante el año 2015 según tipo de minería (Fuente: Zablocki, 2016).

2.2.1. Minería a gran escala

Dentro de la categoría de minería a gran escala destacan principalmente faenas a cielo abierto debido a las características intrínsecas del método. Sin embargo, las únicas minas subterráneas que clasifican como minería a gran escala en Chile son aquellas explotadas mediante métodos de hundimiento como lo son las divisiones El Teniente, Andina y El Salvador, todas pertenecientes a Codelco Chile, esto ya que el método está diseñado para una explotación a gran escala.

Estas tres minas explotadas mediante caving representan el 9% de las 38 minas subterráneas en Chile, en donde la mayor parte de las minas son explotadas mediante el método Sublevel Stopping, sin embargo representan el 67% de la producción total de la minería subterránea en Chile, producción que bordea los 115 millones de toneladas de mineral al año. Mientras que el método Sublevel Stopping representa el 28% de la producción. La distribución de la producción de la minería subterránea según método de explotación se encuentra en la Figura 5

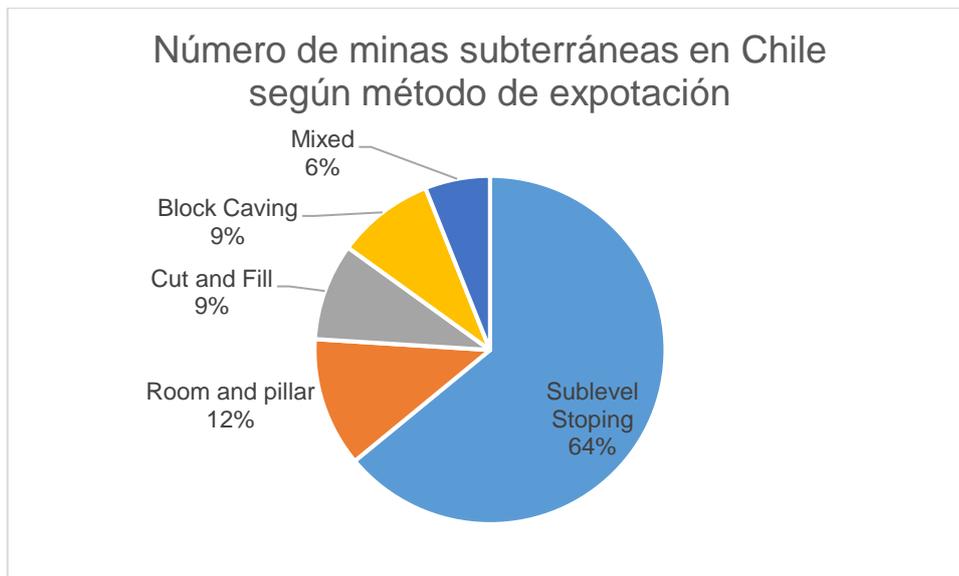


Figura 4: Número de minas subterráneas en Chile según método de explotación

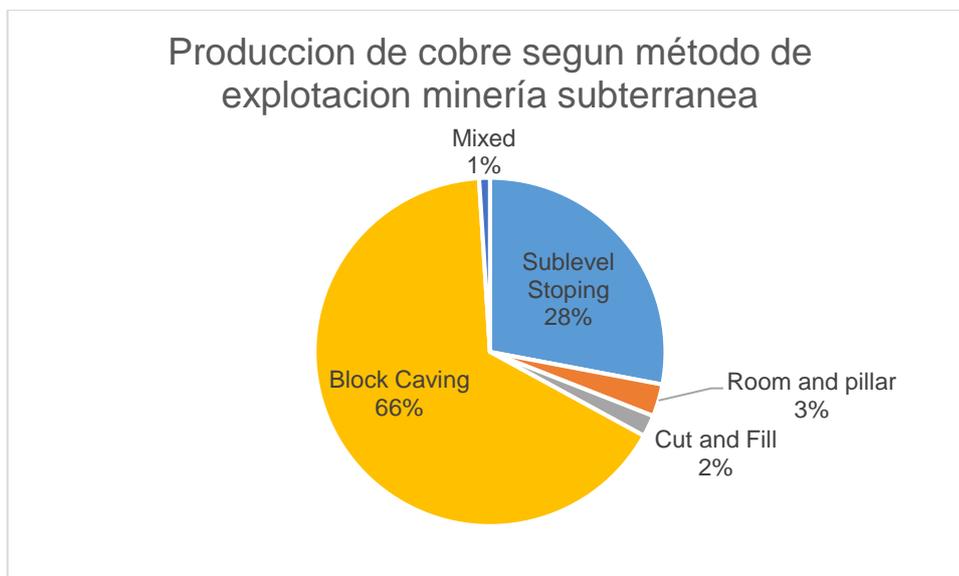


Figura 5: Producción de cobre según método de explotación minería subterránea. (Fuente: Zablocki, 2013)

2.2.2. Mediana Minería

La mediana minería históricamente ha carecido de estudios e informes que analicen el estado de esta, a diferencia de la minería a gran escala sobre la cual constantemente se hacen distintos tipos de estudios sobre sus características y benchmarking. Esta fue la principal razón por la cual durante el año 2016 Cochilco, en conjunto con la subsecretaría de minería, efectuaron un estudio sobre la realidad de la mediana minería en Chile y sus esfuerzos de sortear la situación de precios bajos. Este estudio buscaba fortalecer el vínculo entre Cochilco y la mediana minería con el fin de identificar los principales problemas, que son distintos a la gran minería.

El principal resultado del estudio en cuanto a temas operacionales es el mayor costo en relación a la gran minería del cobre, el cual en promedio bordea los 200 cUS\$/lb pero con una dispersión muy alta, llegando a superar los 300 cUS\$/lb el c3 de las operaciones con mayores costos. La comparación de costos entre ambas industrias y la dispersión en el costo de la mediana minería se puede ver en la Figura 6.

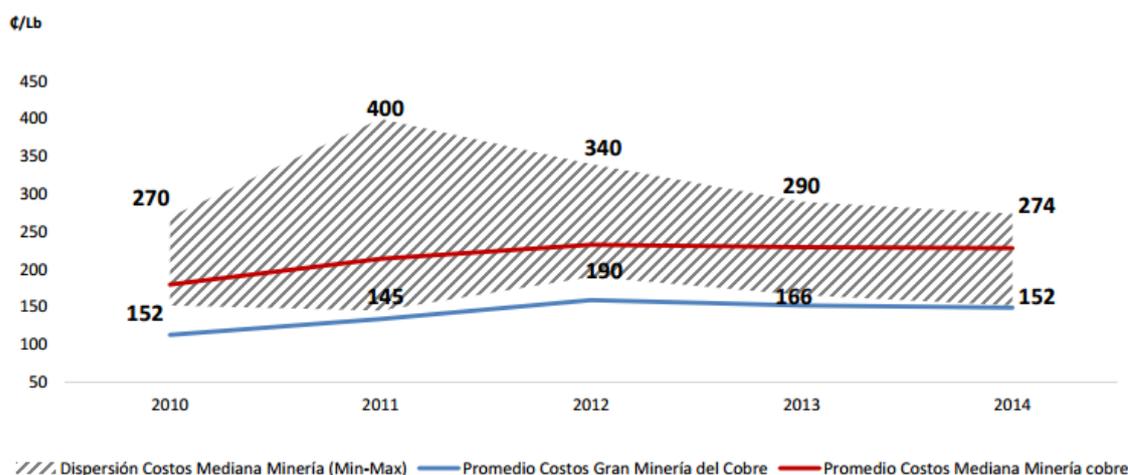


Figura 6: Evolución del costo C1 en la mediana minería del cobre. (Fuente: Cochilco)

A pesar de representar una porción pequeña en la producción de cobre en el País (ver Figura 3), la minería mediana juega un rol importante en la economía, ya que representa una fuente de trabajo para más de sesenta mil personas. Además, representa un sector productivo con un nivel de exportación, medido en millones de dólares, muy similar a otros sectores como lo son la celulosa y el salmón (ver Figura 7). Sin embargo, la importancia de este sector, según la ministra de minería, radica en que las utilidades se quedan principalmente en el país ya que se reinvierten en minería o en otros sectores de la economía nacional como agricultura y construcción. Además, en este sector productivo los capitales de estas empresas son esencialmente nacionales y de empresas familiares, y por lo mismo, presentan una mayor sensibilidad al ciclo de precios bajos de los commodities.³

³ Fuente: <http://www.mch.cl/2015/08/13/ministra-destaca-que-mediana-mineria-resulta-fundamental-para-la-economia-local/>

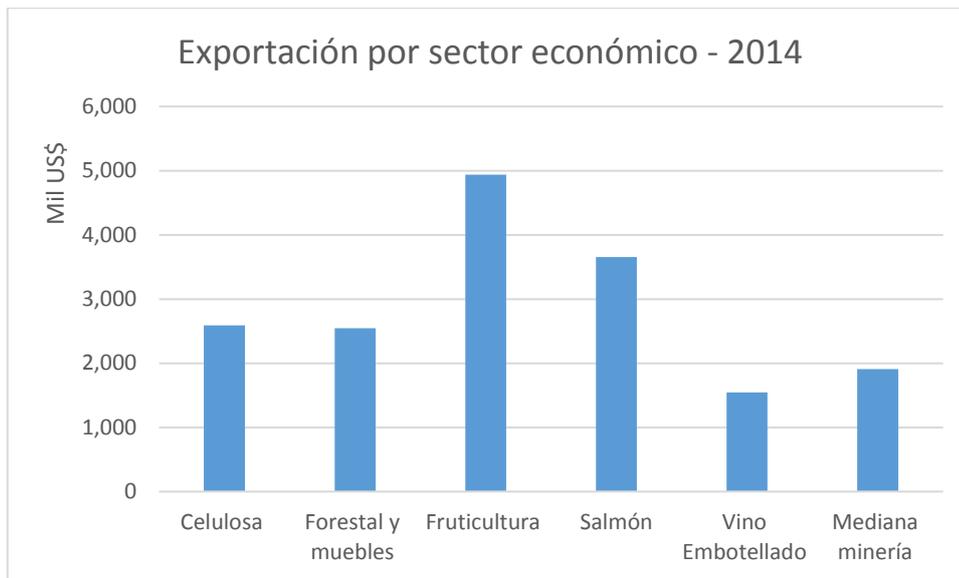


Figura 7: Exportación por sector económico año 2014. (Fuente: Cochilco)

La Enami, empresa nacional de minería, es un importante actor en este sector de la industria ya que busca la creación de condiciones efectivas para el desarrollo sustentable de la pequeña y mediana minería en Chile, de manera de contribuir al mejoramiento de la competitividad de las mineras y así asegurar para el país la extracción de las riquezas minera.

El fomento minero que entrega la institución contempla el financiamiento de herramientas que fomenten hacia el desarrollo sustentable del sector. Estas son: reconocimiento de reservas, asesoría en la preparación y evaluación de proyectos, capacitación técnica, de seguridad y medio ambiente y la asignación de recursos crediticios para apoyar la puesta en operación.

Como medidas adicionales, para enfrentar este periodo de bajos precios la estatal apoya a los medianos productores con créditos de sustentación, renegociaciones y créditos. Estas herramientas son fundamentales para la continuidad operacional del sector. Por ejemplo, durante el año 2016 se aprobó un crédito individual de sustentación del precio del cobre para el presente año, a las medianas mineras, para precios inferiores a cUS\$288/lb hasta por un máximo de cUS\$10/ libra, que debe restituirse en un 100% cuando el precio del cobre supere los cUS\$288/lb⁴. Esta medida ha sido fundamental en el apoyo al sector ya que Enami asegura que nunca de las medianas empresas ha salido del mercado y que han aprovechado el periodo tanto como para optimizar sus procesos y producción como para desarrollar mejoras, ajustar costos y desarrollar innovación.

Las medidas anteriores son mayormente aprovechadas por los productores más pequeños ya que entre las empresas de menor escala dentro de la mediana minería el 88% comercializa a través de Enami, mientras que las empresas de mayor escala del sector solo una de cada tres comercializa a través de la estatal y un 35% prefiere la comercialización directa. En cuanto al total de la mediana minería un 36%

⁴ Fuente: <http://www.mch.cl/reportajes/caracterizacion-la-mediana-mineria-examen-fondo-sector-aprietos/#>

comercializa sus a través de la Enami. El detalle de los canales de comercialización de la mediana minería separados según la escala se observan en la Figura 8.

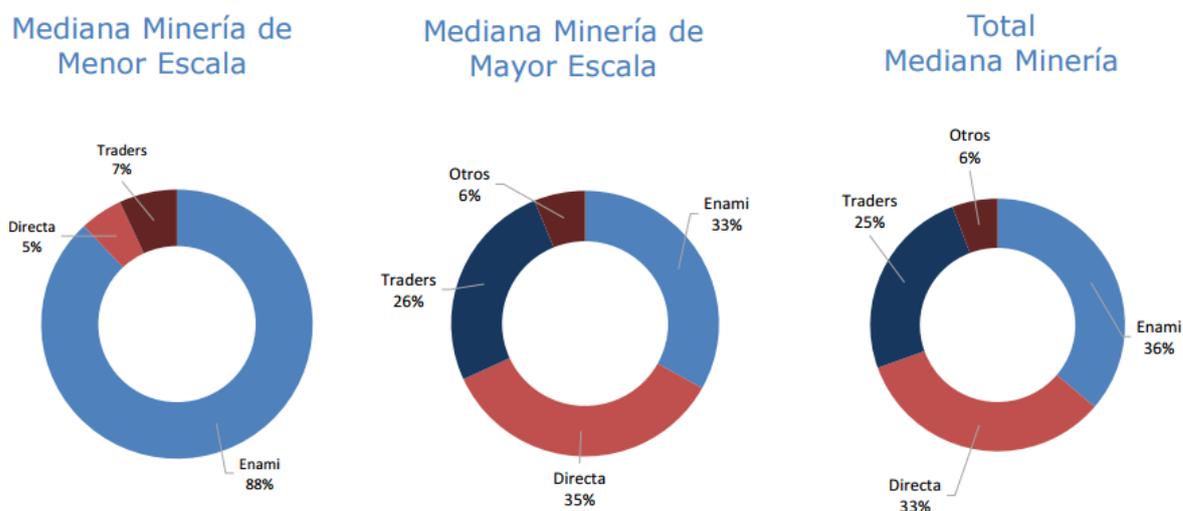


Figura 8: Canales de comercialización de la Mediana Minería según Segmento. (Fuente: Cochilco)

En cuanto a la mediana minería de cobre explotada mediante métodos de explotación subterráneos las 15 principales empresas son:

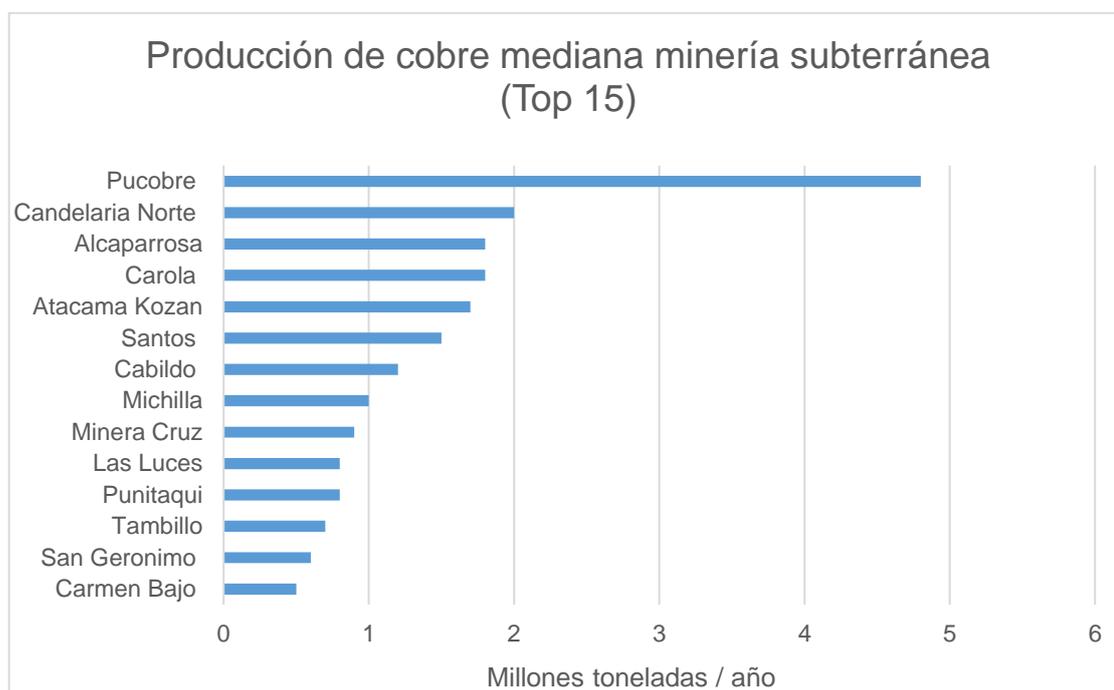


Figura 9: Producción de cobre de las 15 minas subterráneas de mayor tamaño de mediana minería. (Fuente: Zablocki, 2016)

2.3. Importación equipos mineros en Chile

Durante los últimos años se ha visto un aumento en la oferta de equipos mineros, debido a la fuerte irrupción de equipos desarrollados en china, los cuales debido a las

condiciones manufactureras de ese país pueden competir a precios más bajos. Sin embargo, en Chile sigue existiendo un dominio de las empresas manufactureras de equipos mineros (tanto como para equipos de carguío, perforación y camiones) más tradicionales como lo son Sandvik, Caterpillar y Atlas Copco, entre las cuales dominan más del 80% del mercado según se ve en la Figura 10, siendo históricamente Atlas Copco la empresa con un mayor nivel de importaciones. Sin embargo, este liderazgo ha ido cambiando los últimos años y pasando a manos de Sandvik, principalmente por la preferencia que tienen las empresas por los LHD de la empresa finlandesa.

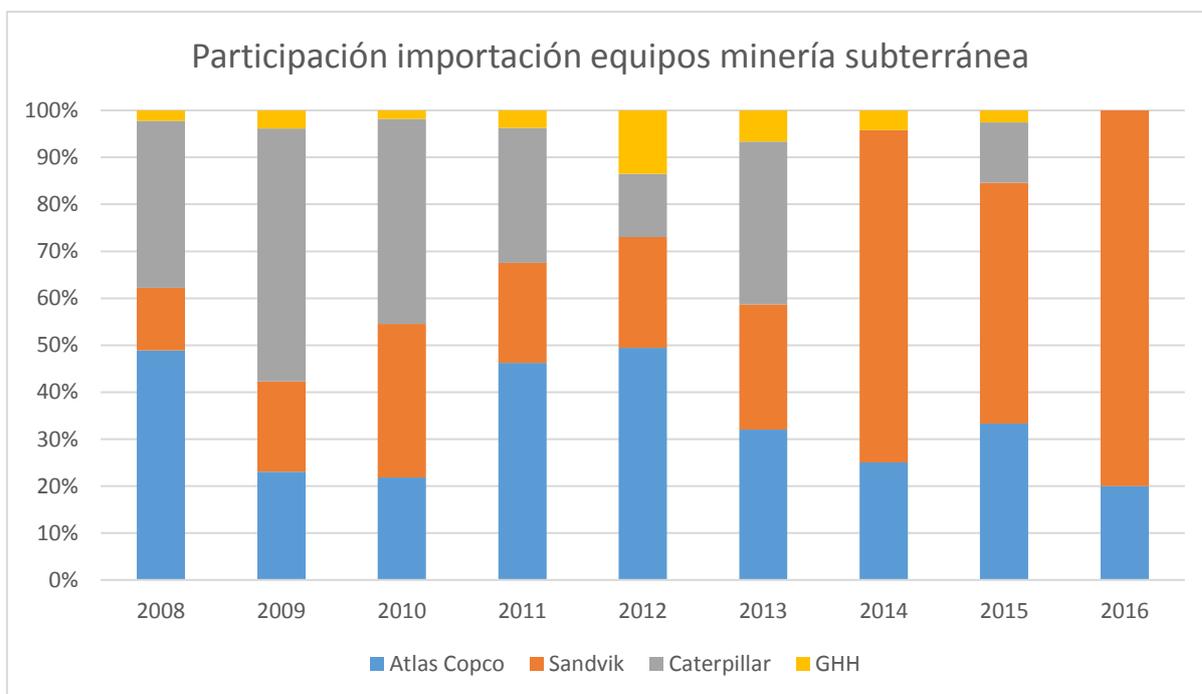


Figura 10: Participación por empresa de equipos de minería subterránea años 2008 – 2016 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecomex)

2.3.1. Equipos Scoop en Chile

Cuando el análisis se reduce a la importación de equipos de carguío y transporte de minería subterránea las empresas anteriormente mencionadas tienen un poder participación de mercado aún mayor, ya que las importaciones realizadas por estas tres compañías representan aproximadamente el 95% del total de equipos que entran a Chile.

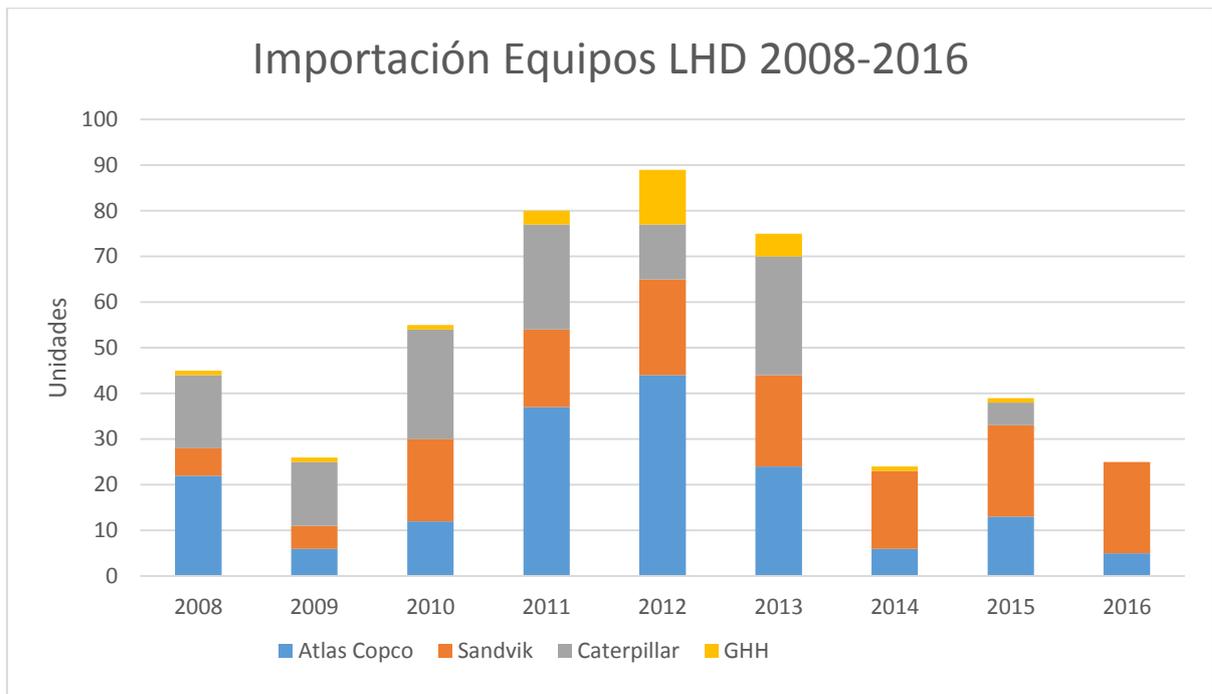


Figura 11: Importación de equipos LHD desde el año 2008 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecomex)

El gráfico de la Figura 11 muestra que la tendencia de importaciones de estos equipos es la misma que la señalada anteriormente, en donde Atlas Copco tiene una posición dominante respecto a sus competidores. Sin embargo, los últimos años esta tendencia ha ido cambiando a manos de Sandvik gracias a las variadas licitaciones que se ha adjudicado en las compras de División El Teniente, mina subterránea más grande de Chile y por lo tanto con un numeroso parque de equipos.

Otro aspecto que es relevante al momento de analizar las importaciones de equipos es la tendencia que sigue la curva del total de equipos que ingresan al país, ya que tiene una tendencia similar a la curva de los precios históricos del cobre, la cual se muestra en la Figura 12. Una similitud es la disminución de precio en el año 2009 con respecto al 2008, y los precios más altos entre los años 2011 y 2012. Sin embargo, en la curva que representa el precio del cobre no se observa la tendencia al alza a partir del año 2015 que se muestra en las importaciones de equipos.



Figura 12: Precio del cobre durante los últimos 20 años (Fuente: Cochilco)

El cambio de tendencia a partir del año 2015 del ingreso de equipos al país se puede explicar básicamente por el avance de los proyectos estructurales de Codelco que contemplan sistemas de explotación mediante minería subterránea como lo son Chuquicamata Subterránea de División Chuquicamata y Nuevo Nivel Mina de División El Teniente⁵, los cuales gracias a su amplio tamaño, bordeando ambos una producción de 140,000 toneladas por día, requieren un flota considerable para poder llevar a cabo los desarrollos mineros necesarios para la construcción de estos proyectos mineros.

2.3.2. Importación por capacidad de equipo.

Para hacer un levantamiento del parque de equipos de carguío y transporte de minería subterránea además de establecer la competencia que tendrá el equipo híbrido 18HD, con capacidad nominal de 18 toneladas, un aspecto relevante es la capacidad nominal que tiene el balde del equipo. Si bien la capacidad nominal hace referencia a la capacidad de levante por diseño que tiene el equipo, la capacidad real del equipo dependerá del tamaño de balde y las características geológicas del mineral que se esté extrayendo.

Los factores señalados anteriormente hacen que sea muy difícil estimar la capacidad real de cada equipo del parque en Chile, ya que el tamaño del balde varía según los requerimientos del cliente y las opciones que entrega la empresa manufacturera del equipo, sumado a que las condiciones geológicas cambian considerablemente incluso desde un sector de la misma mina a otro, haciendo imposible de determinar una densidad de material única. Estas dificultades hacen que las comparaciones realizadas sean en base a las capacidades nominales de los equipos Scoop. La Figura 13 muestra cómo ha sido la importación de equipos en los últimos años, separados

⁵ Fuente: <http://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=119963944>

en 3 categorías: 7 toneladas o menos de capacidad; 10 toneladas; mayor a 10 toneladas.

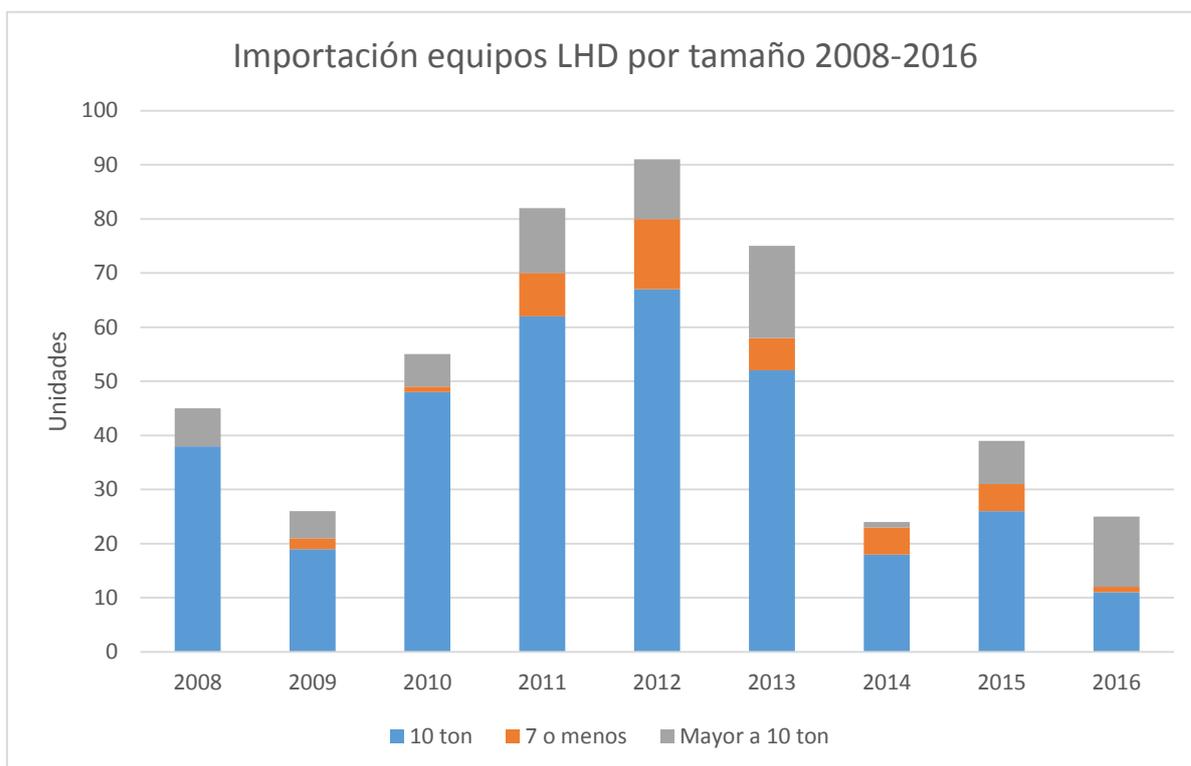


Figura 13: Importación de equipos LHD separado por capacidad nominal desde el año 2008 (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecomex)

En la figura adjunta se puede ver con claridad como son los equipos de 10 toneladas los que dominan el mercado en Chile. Sin embargo, los equipos con capacidad mayor a 10 toneladas han visto aumentada su participación en los últimos años.

2.4. Parque de equipos LHD en Chile

Determinar el total de un parque tan cambiante como lo es el de los equipos scoop en Chile puede llegar a ser bastante extenso. Esto ya que la minería subterránea es un mercado bastante variado en cuanto a la estrategia de adquisición de equipos nuevos que tiene cada empresa. Algunas solo compran equipos nuevos de los proveedores más conocidos, mientras que otros pueden importar equipos de menor costo de proveedores sin representación en Chile o simplemente adquirir los scoop en mediante remates de empresas más grande. Además, las empresas contratistas tienen una flota variable que depende de cuantos contratos tengan adjudicados y la empresa mandante de cada contrato.

En este trabajo en particular para establecer el parque de los equipos de carguío de minería subterránea en Chile se consideraron tanto empresas mineras como empresas contratistas, ya sea que tuviesen equipos propios o arrendados. El parque de equipos se obtuvo desde El Catastro de Equipos Mineros de editorial Editec y se complementó con información obtenida en terreno proveniente desde las empresas.

La Tabla 1 muestra la información obtenida por empresa, mientras que la Tabla 2 agrupa la información por tamaño del balde. Se puede ver que el 75% de los equipos corresponden a equipos de capacidad de 10 yardas cúbicas, mientras que los equipos de 13 o más yardas cúbicas solo son adquiridos por minería subterránea a gran escala como lo son Andina y El Teniente. Mientras la mediana minería y empresas contratistas se inclinan por equipos más pequeños.

Tabla 1: Parque LHD en Chile por empresa. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Editec)

Empresa	Volumen balde [yd³]	Unidades
Atacama Kozan	7	7
Andina	7	4
	10	11
El Teniente	5	5
	7	58
	10	4
	13	18
	15	6
Salvador	7	20
El Peñón	7	22
Florida	5	7
	7	7
El toqui	10	3
Carola	7	8
Las Cenizas	7	5
Aura Ingeniería	7	5
	5	2
	10	3
Gardilcic	7	23
Geovita	5	4
	7	24
Soletanche Bachy	7	5
Zublin	7	12
	5	7
Inversiones Nutram	7	4
San Gerónimo	7	4
PuCobre	9	2

Tabla 2: Resumen flota de equipos por tamaño de balde. (Fuente: Elaboración propia).

Volumen balde [yd³]	Unidades
5	25
7	208
10	23
13	18
15	6

3. Descripción tecnología Híbrida

El equipo JOY 18HD fue diseñado por Joy Global, a través de su marca de minería subterránea denominada JOY. Sin embargo, la tecnología SR con la que cuentan los motores de tracción y el generador fue diseñada por la empresa LeTourneau, con sede en Longview Texas. Esta empresa fue adquirida por Joy Global el año 2011.

El trabajo en conjunto de las áreas de ingeniería de ambas empresas dio como resultado el equipo híbrido, en donde la gente de Longview aportó con la vasta experiencia en conocimientos de los motores SR y equipos de carguío, adquirida gracias al trabajo de décadas con los cargadores frontales de superficie LeTourneau, tanto Gen-I como Gen-II, los cuales han operado en gran cantidad de minas a cielo abierto alrededor del mundo con exitosos resultados. Mientras JOY aporta con el conocimiento de la minería subterránea.

La exitosa comercialización de este equipo LHD es uno de los principales objetivos dentro de la estrategia de ingresar a la minería subterránea metálica de Joy Global. Esta estrategia responde a la necesidad de la empresa de diversificar sus negocios ya que gran parte de los ingresos provienen de la venta de equipos y servicios asociados a la minería del carbón, la cual se encuentra en momentos complejos debido al menor consumo de este mineral en la industria de la energía por los altos impactos negativos que genera.

El scoop recibe su nombre diésel híbrido gracias a su sistema de accionamiento denominado Joy SR Hybrid Drive, el cual cuenta con un motor diésel, cuatro motores eléctricos de Switched Reluctance (uno en cada rueda), un generador SR y un sistema de almacenamiento de energía (KESS por sus siglas en inglés). El sistema de accionamiento híbrido permite la recuperación de la energía de frenado a través de los motores SR y utilizarla para la aceleración, toda energía que no sea utilizada es almacenada en la unidad KESS en forma de energía cinética. Todo este flujo de energía es controlado por un sistema de control en base a paneles IGBT que permite el uso eficiente de la energía.



Figura 14: LHD diésel Híbrido 18HD. Fuente: U-Mining 2016.

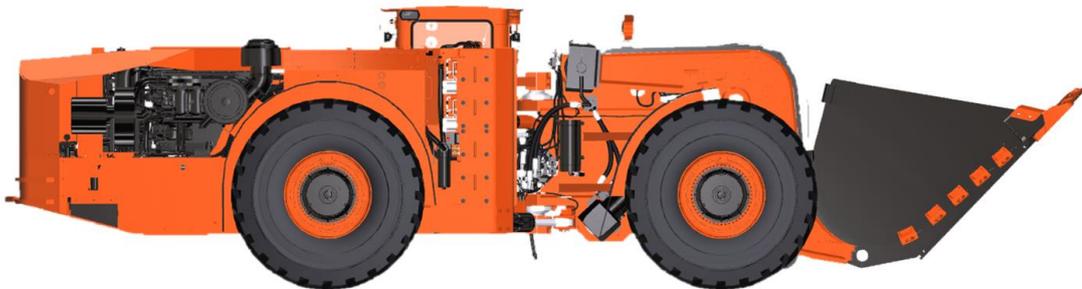


Figura 15: Vista lateral 18HD. Fuente: Joy Global.

3.1. Beneficios

Entre los beneficios que genera esta nueva tecnología destacan:

- Las mayores tasas de aceleración y desaceleración gracias a los motores SR permiten al equipo híbrido tener tiempos de ciclo más cortos, lo que se traduce en un mayor rendimiento, medido en toneladas por hora, para una misma distancia de transporte que un equipo mecánico. Entre menor sea la distancia de transporte mejor será el rendimiento en comparación al equipo mecánico.
- El sistema eléctrico funciona en algunos momentos como sustituto del motor diésel. Cuando esto sucede el motor diésel comienza a funcionar como compresor reduciendo el consumo de combustible a cero, de modo que el equipo requiera un motor de menor potencia. Sin embargo, gracias a la potencia entregada por el sistema híbrido, el equipo no pierde fuerza de ataque ni de levante, si no que posee una mayor fuerza que sus contrapartes mecánicas. Además, el equipo debiese consumir un 30% menos de combustible que su contraparte diésel.
- La reducción de potencia del motor diésel consigue que las emisiones, tanto de calor como de contaminantes al ambiente. También se ve reducido el consumo de energía por tonelada transportada. Las proyecciones de la empresa

manufacturera del equipo señalan que los requerimientos de ventilación del 18HD sean un tercio del requerimiento de los equipos diésel.

- Menores Costos de Mantenición y Reparación gracias a la ausencia de componentes mayores como convertidor de torque y sistema de transmisión mecánica. Los sistemas eléctricos del equipo prácticamente no requieren mantenciones. Se estima que se puede llegar a un ahorro de hasta un 40%
- Otros aspectos favorables que presentan estos equipos gracias al sistema híbrido y que tienen una alta influencia al momento de determinar los valores de los proyectos mineros son un menor costo de operación y una mayor disponibilidad.
- Las grandes estructuras del equipo como la estructura de levante, sistema de articulación y balde poseen un diseño robusto y están construidos con acero, soportando los trabajos más duros de minería subterránea. Estos diseños han sido utilizados exitosamente en cargadores de superficie.
- Mayor capacidad de estanque de combustible, permite menor interferencia con la producción por menor re-abastecimiento de petróleo.

El 18HD presenta, en el papel, una amplia cantidad de beneficios en comparación a su contraparte diésel sin embargo, como la tecnología híbrida aplicada a cargadores de subterránea todavía se encuentra en etapa de prototipo aún falta determinar cuántos de estos beneficios efectivamente se cumplen y que tanto más aporta este equipo en los distintos aspectos señalados.

La hoja de especificaciones del equipo, para la versión de 18 y 22 toneladas, con todas las características se encuentran en la sección anexos.

3.2. Funcionamiento

Los principales sistemas que tienen relación con el funcionamiento del equipo son:

- Motor Diésel
- Generador
- Motores SR
- Sistema de control
- Panel de conversión IGBT
- Parrilla de frenado
- Unidad de almacenamiento de energía.

La Figura 16 muestra la distribución espacial a lo largo del equipo que tienen estos componentes, mientras en el capítulo 3.3 se especifican las características de estos componentes.

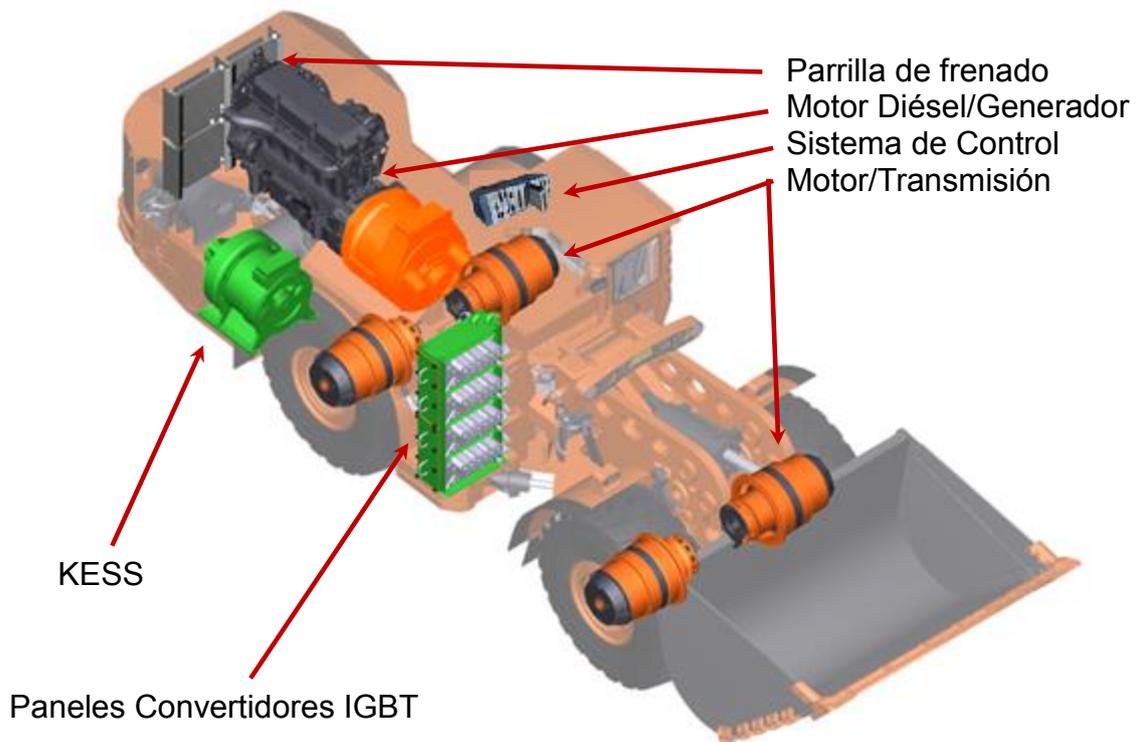


Figura 16: Principales sistemas equipo diésel híbrido. Fuente: Joy Global.

3.2.1. Puesta en marcha

Como se ha mencionado anteriormente, una de las ventajas más importantes que ofrece el sistema de accionamiento híbrido es la oportunidad de recuperar y reutilizar la energía que se genera en el frenado. Para esto es de vital importancia que los flujos de energía fluyan eficientemente en la dirección correspondiente y los distintos sistemas que participan solo sean activados en el momento que corresponde. Para esto el equipo utiliza un sistema de control denominado Joy SR Hybrid Drive, patentado por Joy Global, la cual basa su sistema de control en la acción de conmutación de los paneles IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) y osciladores de alta velocidad. Además, el sistema cuenta con sensores de posiciones en los polos de los rotores, que sumado a los comandos ingresados por el operador y a las señales de realimentación de los movimientos de la máquina, sabe que IGBT debe ser activado y/o desactivado para tener un flujo correcto de la energía.

La Figura 17 muestra el tipo de energía en cada subsistema del sistema de accionamiento, en donde las líneas de color verde representan energía hidráulica, la de color rojo es energía mecánica y todo lo que se encuentra en color celeste corresponde a energía eléctrica. Mientras que en la Figura 18 se muestran todos los flujos de energía posibles.

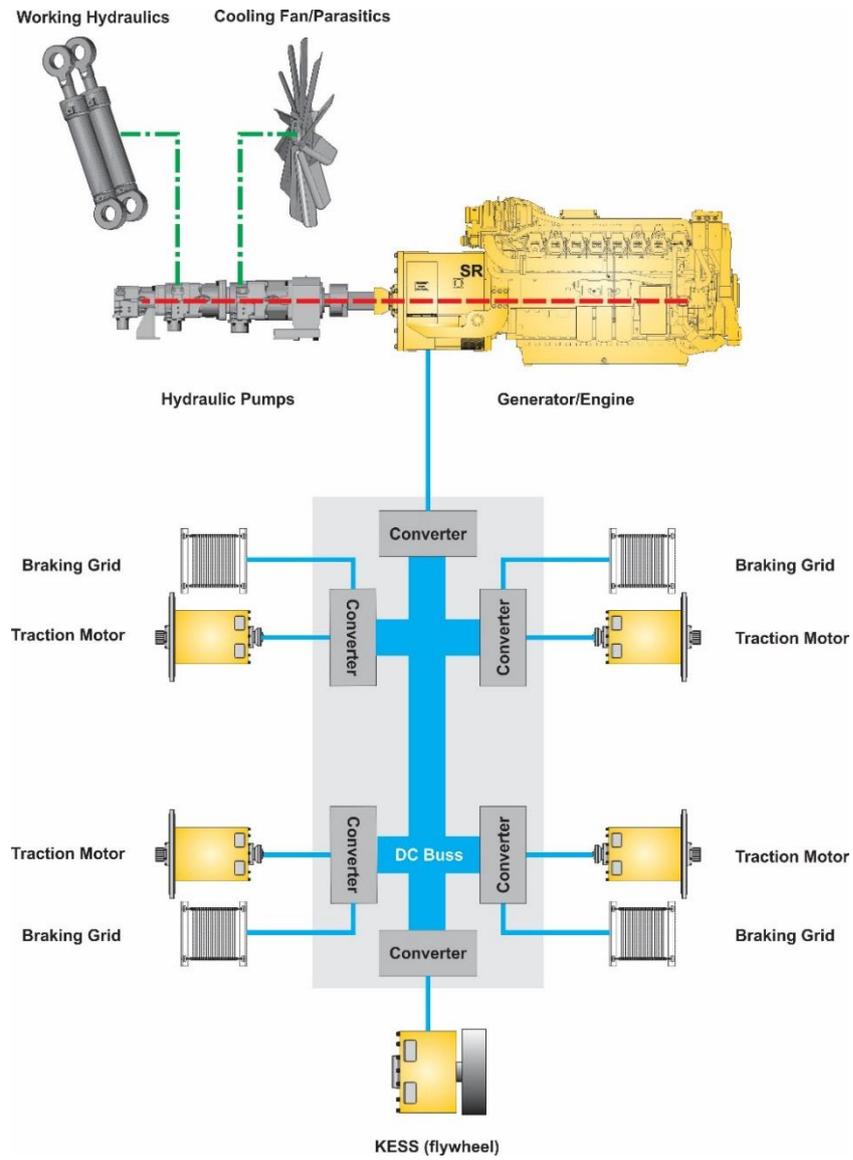


Figura 17: Diagrama de proceso del funcionamiento del equipo y tipos de energía involucradas. Fuente: Joy Global.

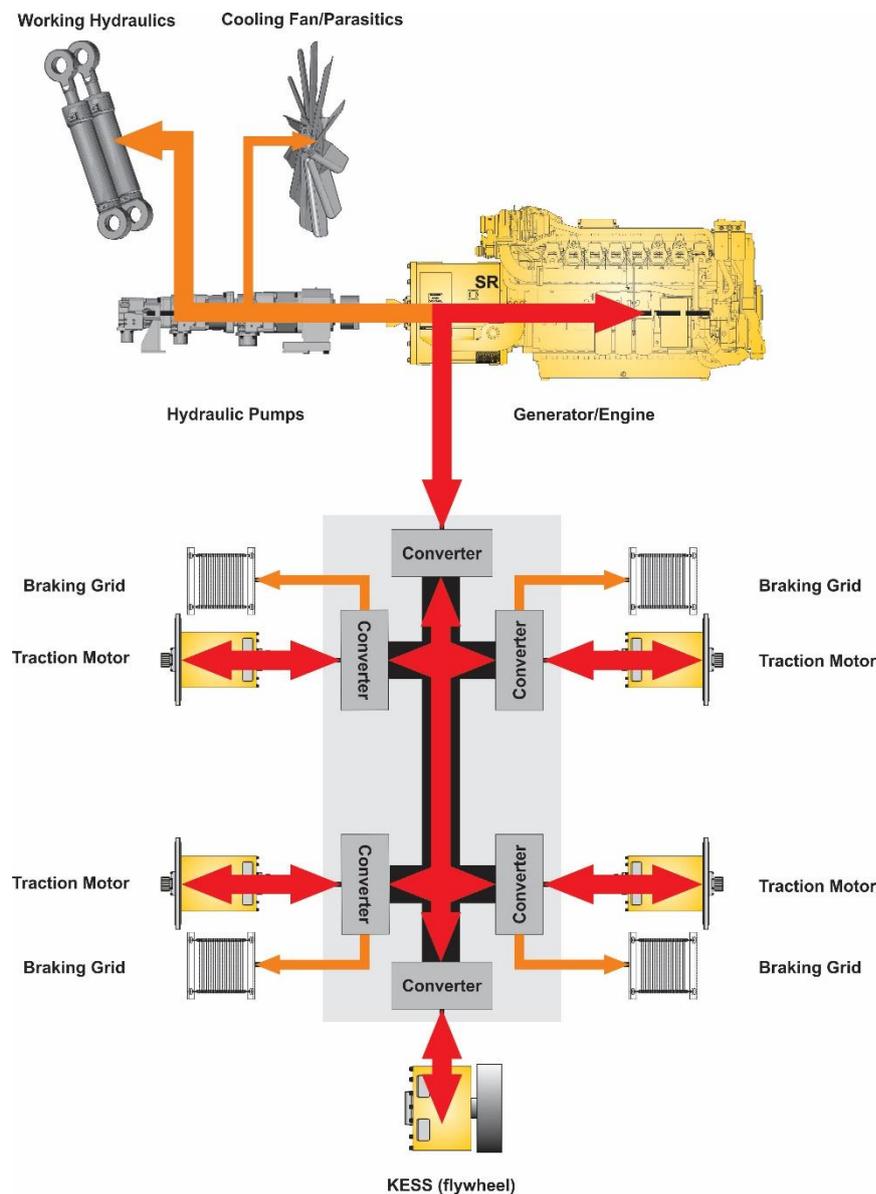


Figura 18: Diagrama del funcionamiento del LHD representando flujos de energía posibles. Fuente: Joy Global.

3.2.2. Aceleración

El Motor diésel, que trabaja en un régimen de RPM constantes, es el encargado de proporcionar movimiento al generador de corriente SR, que funciona como transmisión eléctrica y convierte la energía mecánica del motor en energía eléctrica para el funcionamiento de los motores SR para mantener en marcha el vehículo y hacer funcionar todos los sistemas hidráulicos del LHD. Cuando el equipo se coloca en marcha el motor diésel es el encargado de generar energía extra para que ser almacenada en forma de energía cinética. Una vez que la unidad KESS completa su capacidad de almacenamiento, el scoop puede comenzar a funcionar con normalidad. Este proceso se ilustra en la Figura 19. Además, el motor diésel debe gastar energía en hacer funcionar los sistemas de refrigeración.

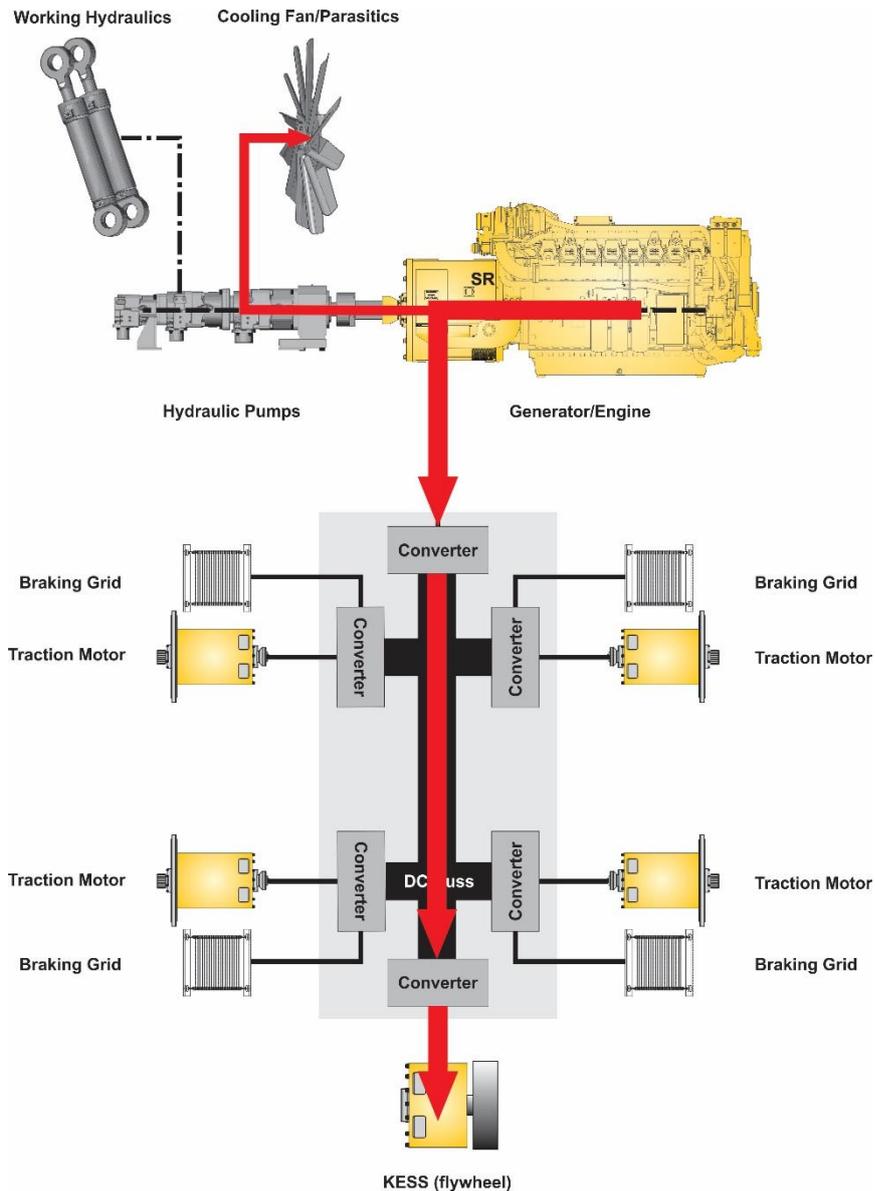


Figura 19: Diagrama de flujo de energía durante el proceso de carga de la unidad KESS. Fuente: Joy Global

Una vez que el equipo cuenta con energía almacenada en la unidad KESS, puede comenzar a desplazarse. Cada vez que el LHD acelera, los motores SR, responsables de la tracción de las ruedas, son alimentados principalmente por energía proveniente de la unidad KESS y una pequeña parte del motor diésel, permitiendo que la mayor parte de la energía generada por este último sea utilizada en el sistema hidráulico, el cual es responsable, entre otras cosas, del levantamiento del balde.

Durante la aceleración, el sistema de control impulsa esencialmente el motor diésel de 400 HP de potencia sumado a 550 HP entregados por la unidad KESS. Los 950 HP de potencia disponible dan al LHD una aceleración más rápida y eficiente, ya que permite ahorrar combustible gracias al aporte de la energía cinética almacenada hasta en un 30% dependiendo de la aplicación. .

El diagrama de los flujos de energía durante el proceso antes descrito se encuentra adjunto en la Figura 20.

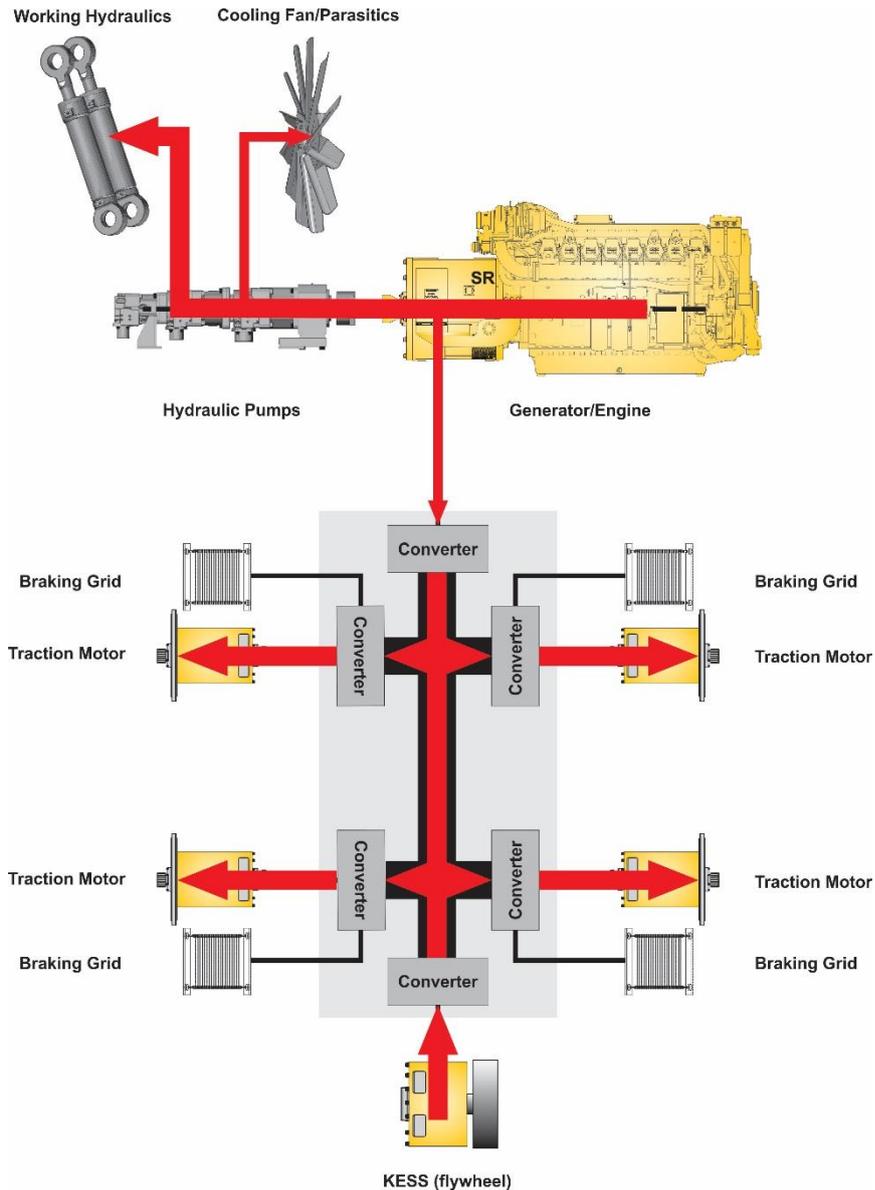


Figura 20: Diagrama de flujo de energía durante el proceso de aceleración en un sistema híbrido SR.
Fuente: Joy Global.

3.2.3. Frenado

El equipo cuenta con distintos mecanismos de frenado: freno ligero, freno de servicio, freno mecánico y freno de emergencia. El principal sistema de frenos que tiene el equipo es el freno ligero, o también freno eléctrico, el cual se activa cuando el operador retira el pedal del acelerador y en ese momento se detiene el flujo de energía diésel, haciendo que el momentum del equipo mantenga los motores SR rotando. La energía de frenado es transferida desde los motores de las ruedas, que pasan a actuar como generadores, hacia el generador, que a su vez actúa como motor, siendo éste el sistema propulsor, aliviando así todo el consumo energético al motor diésel.

Dependiendo de la intensidad con la que frene el equipo la energía puede fluir a distintos destinos: si es un freno suave, como para disminuir la velocidad del equipo, toda la energía ira al generador; si es un freno más intenso, para detener el equipo por ejemplo, los motores de las ruedas transforman más energía de frenado en

energía eléctrica, por lo que hay energía más que suficiente para que el generador funcione correctamente, lo que permite que la energía que sobra se dirija a la unidad de almacenamiento de energía; por último si es un frenado brusco, como por ejemplo detener el equipo mientras desciende por una pendiente, la unidad KESS no será capaz de almacenar toda la energía y para no hacer corto de circuitos en el sistema la energía sobrante se dirige a las parrillas de frenado, las cuales son impedancias con resistencia infinita haciendo que la energía se disipe en forma de calor.

Es este tipo de frenado eléctrico que es lo que permite que la tecnología híbrida trabaje con menos emisiones de calor ya que el frenado mecánico requiere una alta cantidad de energía para trabajar, la cual es desprendida en forma de calor.

Los diagramas que representan los flujos de energía para los tres tipos de frenado posible se ilustran desde la Figura 21 a la Figura 23.

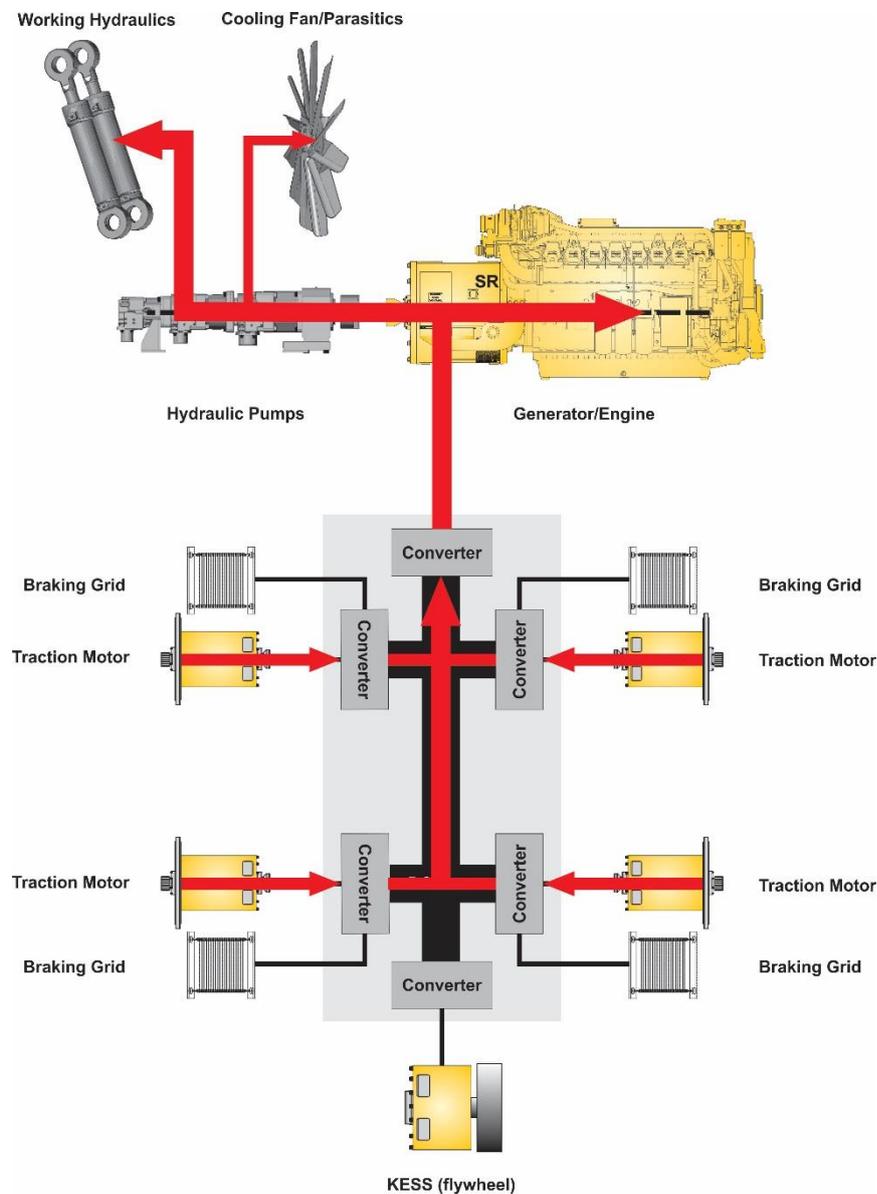


Figura 21: Diagrama de flujo de energía durante el proceso de desaceleración en un sistema híbrido SR.
Fuente: Joy Global

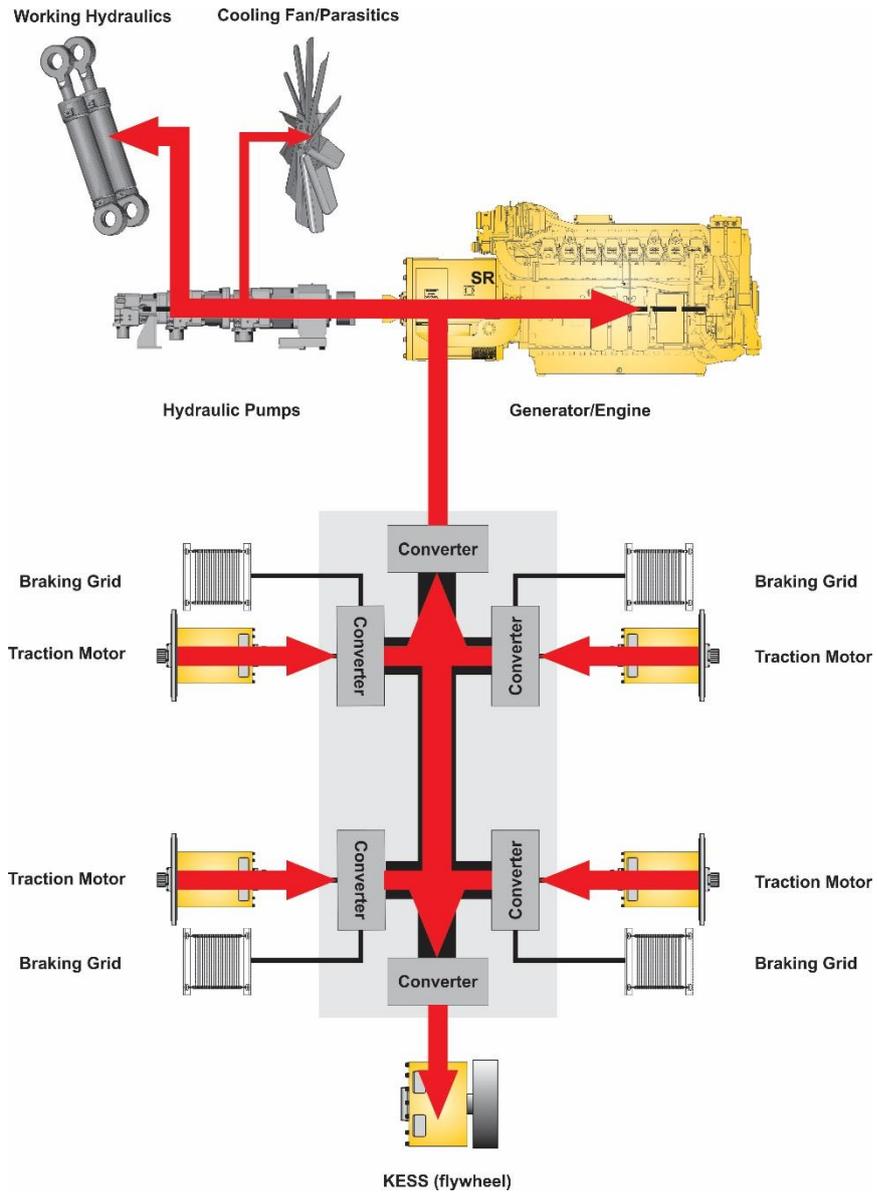


Figura 22: Diagrama de flujo de energía durante el proceso de frenado ligero en un sistema híbrido SR.
Fuente: Joy Global

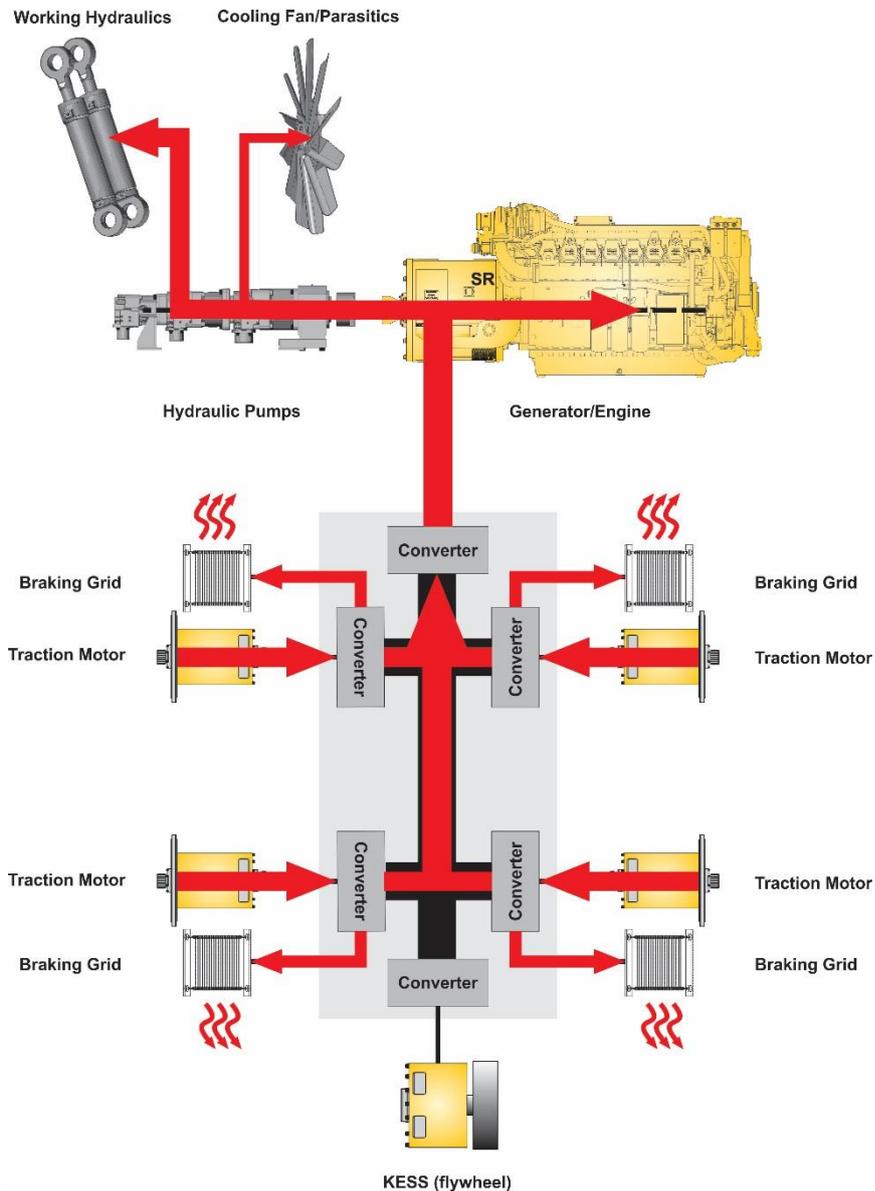


Figura 23: Diagrama de flujo de energía durante el proceso de frenado de emergencia en un sistema híbrido SR. Fuente: Joy Global

La unidad híbrida SR también presenta una mejor eficiencia por diseño en el momento del carguío, momento de mayor requerimiento de energía durante el ciclo de operación de un LHD, dado que la energía cinética almacenada es la principal responsable del movimiento de las ruedas en esta operación, dejando así que aproximadamente el 90% de la energía disponible del motor diésel sea utilizada en los movimientos hidráulicos, lo que se traduce en una mayor fuerza de ataque y de levante. Esta característica además permitiría que no se genere el aumento de emanación de partículas contaminantes en el cual incurren los equipos diésel, debido a un aumento en las revoluciones del motor, cuando realizan la operación de carguío.

3.3. Principales sistemas equipo híbrido

3.3.1. Motor Switched Reluctance

Cuando se selecciona una unidad de tracción de alto rendimiento, la elección habitual es entre un sistema de corriente continua (CC) o un sistema de corriente alterna (CA) de tensión/frecuencia variable. Los controles del motor de CC son sencillos, incluso cuando se utiliza la electrónica completa. El motor, sin embargo, debido al conmutador y a los carbones requiere más mantenimiento y es susceptible a los arcos eléctricos conocidos como flashover.

El sistema de CA resuelve los problemas de mantenimiento del motor, pero los controles son mucho más complejos, requiriendo la creación de voltaje variable y corriente alterna de frecuencia. Una tercera solución está ahora disponible que tiene beneficios sobre AC y DC. Esto se conoce como motor SR, de accionamiento de "Reluctancia conmutada".

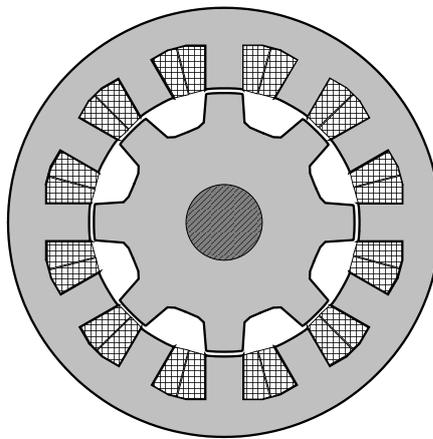


Figura 24: Motor SR. Fuente: Joy Global.

Los Motores SR de reluctancia conmutada son de alta eficiencia, muy simple, casi sin mantenimiento y funcionan como motores de tracción y generador, sus principales características son:

- No requiere conmutador ni carbones que reemplazar
- El Rotor está hecho de una pila de láminas de acero.
- Diseño de bobinas simple
- Todas las bobinas son estacionarias
- SR Motor usa estator simple, similar a motores DC
- Motores en operación en equipos Joy Global desde el año 2004
- El desgaste es solo en los rodamientos.
- Tienen diferentes números de polos en el rotor y en el estator

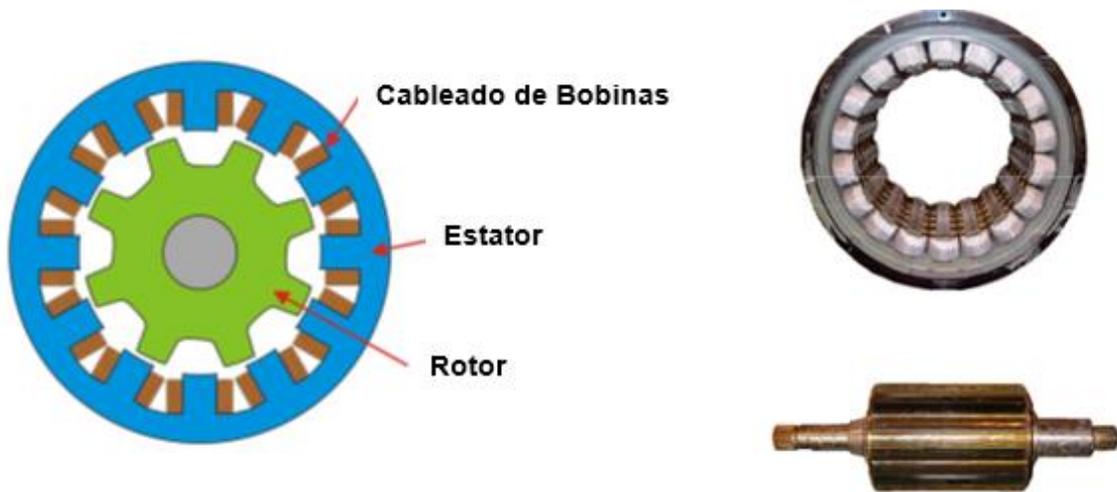


Figura 25: Motor SR Rotor y Estator. Fuente: Joy Global.

Fig. 8

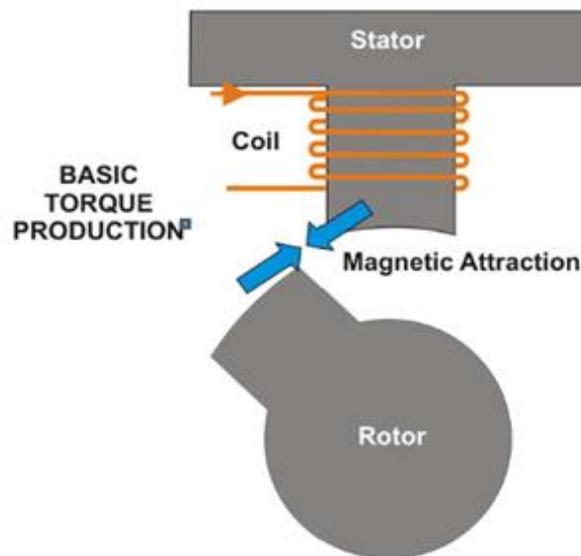


Figura 26 Esquema básico Motor SR. Fuente: Joy Global.

La reluctancia conmutada es La fuerza magnética atrae al polo del rotor, el torque varía con la corriente y el tiempo y es posible propulsar o frenar dependiendo del tiempo.

3.3.2. Sistema almacenamiento de Energía (KES)

Para hacer aún más eficiente la distribución de la energía, él equipo cuenta con un sistema llamado KESS (Kinetic Energy Storage System), el cual es un volante de inercia con un motor SR que almacena energía cinética y entrega energía eléctrica a muy alta velocidad.

El control del LHD determina cuando el motor del sistema comienza a ser energizado aprovechando la energía de frenado de la máquina y el volante de 100 kg de peso comienza a girar. Luego de que el volante alcanza las 6500 RPM, el sistema comienza

a utilizarlo como generador, logrando con esto tener dos generadores SR actuando simultáneamente para mover las ruedas, los sistemas hidráulicos, es decir todos los requerimientos de energía de la máquina, dejando completamente sin consumo de combustible al motor diésel, que a su vez también trabaja en algún instante como volante de inercia.

Posee un ciclo de vida extremo que almacena energía cinética, para utilizarla en los momentos de mayor demanda.

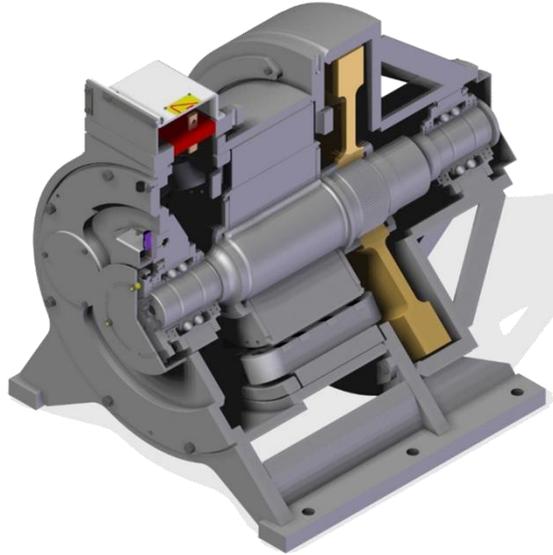


Figura 27: Unidad KESS. Fuente: Joy Global

3.4. Comparación con equipos diésel.

Como toda tecnología nueva que ingresa a un mercado para ser considerada por los clientes debe demostrar que presenta una cantidad considerable de beneficios en comparación a las tecnologías ya presentes. Es por esto que la empresa proveedora realizó un caso de estudio en el cual comparan ambas tecnologías y el efecto que provocan en las características más importantes para los clientes. La Tabla 3 muestra los principales resultados de la comparación.

Tabla 3: Comparación tecnologías Diésel - Híbrido. Fuente: U-Mining

	Diésel	Híbrido
Costo operativo	Caso Base	Hasta 30% menor
Uso de combustible	50 litros/horas	38 litros/horas
Costo de mantención	160 USD/hr	100 USD/hr
Confiabilidad	Caso Base	Disponibilidad hasta 10% mayor
Inversión	1.4 MUS\$	1.7 MUS\$
Velocidad máxima	Hasta 30 km/hr	27 km/h
Requerimientos de Ventilación	100 cfm /HP	Hasta un 33% menor
Costo total equivalente	7.70 MUS\$	5.48 M US\$

Este caso de estudio se realizó en etapas tempranas de la realización del proyecto, (aun no era probado en forma industrial), por lo que las características del equipo híbrido señaladas anteriormente corresponden más que nada a las estimaciones hechas al momento de diseñar el equipo, mientras que las de la tecnología diésel pueden variar significativamente según el equipo y las condiciones de la mina que se consideren.

La etapa en la cual se encuentra actualmente el 18HD hace que sea complejo realizar una comparación con los equipos diésel para llevar a cabo un análisis de las ventajas de cada tipo de tecnología. Sin embargo se puede comparar sus velocidades y aceleración. Para determinar el tiempo de ciclo se pusieron ambas tecnologías a recorrer una distancia de 350 metros en igualdad de condiciones. El resultado permitió analizar el comportamiento de ambos equipos, en donde el 18HD se demoró aproximadamente cinco segundos menos que el LH517. Además se obtuvieron las curvas de velocidad de equipos (Ver Figura 28) permitiendo analizar el comportamiento tanto en la aceleración como en el frenado.

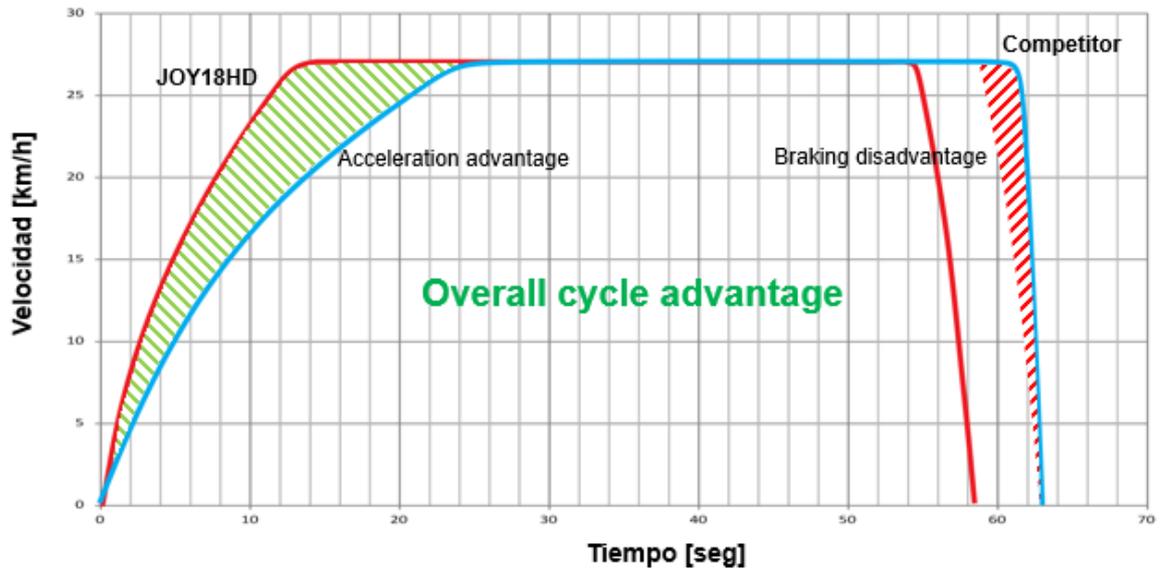


Figura 28: Comparación de aceleración, velocidad y tiempo entre equipo Diésel e Hibrido para una distancia dada. Fuente: Joy Global.

Al analizar las curvas de velocidad se comprueba la mayor aceleración que tiene al equipo hibrido permitiéndole alcanzar la velocidad máxima en aproximadamente 14 segundos, mientras que el equipo diésel se demora 10 segundos más. En los primeros 24 segundos el equipo diésel le saca una ventaja a la competencia cercana a los 30 metros, distancia que se mantiene hasta que ambos comienzan a frenar ya que tienen igual velocidad máxima. El LH517 tiene un frenado más rápido, permitiéndole detenerse en menor tiempo, pero como el tiempo de frenado de ambos equipos es tan pequeño en relación al tiempo total del desplazamiento no logra hacer diferencia a favor del equipo diésel. La distancia recorrida en función del tiempo se observa en la Figura 29 y Figura 35

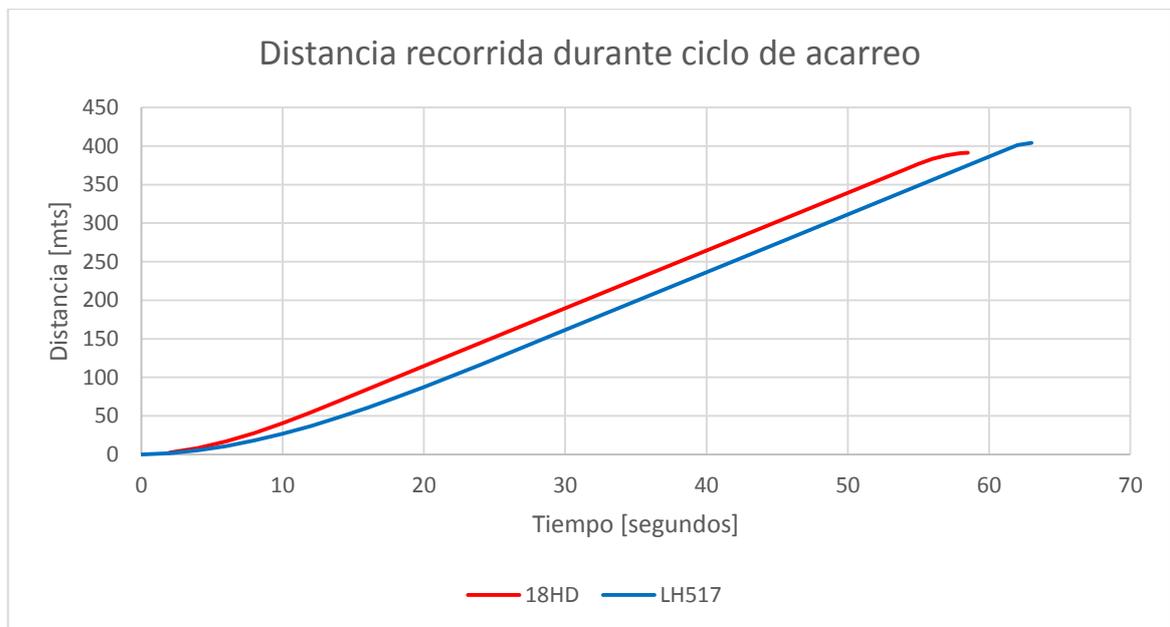


Figura 29: Comparación entre ambas tecnologías de la distancia en función del tiempo para un ciclo determinado (Fuente: Elaboración propia).

El caso de estudio muestra que el 18HD posee una aceleración e igual velocidad máxima que el LH517 por lo que podrá recorrer cualquier distancia en menor tiempo.

Sin embargo, si uno considera que el equipo diésel puede alcanzar una velocidad máxima de 30 km/h y utiliza la misma curva de aceleración, a una distancia superior a los 350 metros el equipo diésel toma menos tiempo para recorrer estas distancias. El análisis se puede ver en la Figura 30, donde la curva de azul oscuro corresponde al caso en que el LH517 tiene una velocidad máxima de 30 km/hr.

Uno de los beneficios señalados anteriormente es la mayor eficiencia al momento de carguío debido a la utilización de dos fuentes de energía. Esta mayor eficiencia se transmite en menores tiempos de carguío y maniobras, por lo que la distancia en la cual un equipo diésel tiene mejor mayor rendimiento va a ser mayor. Sin embargo, esta reducción en el tiempo dependerá exclusivamente de las condiciones en la cual se opere el equipo, por lo cual para cuantificarla es necesario la obtención de datos reales.

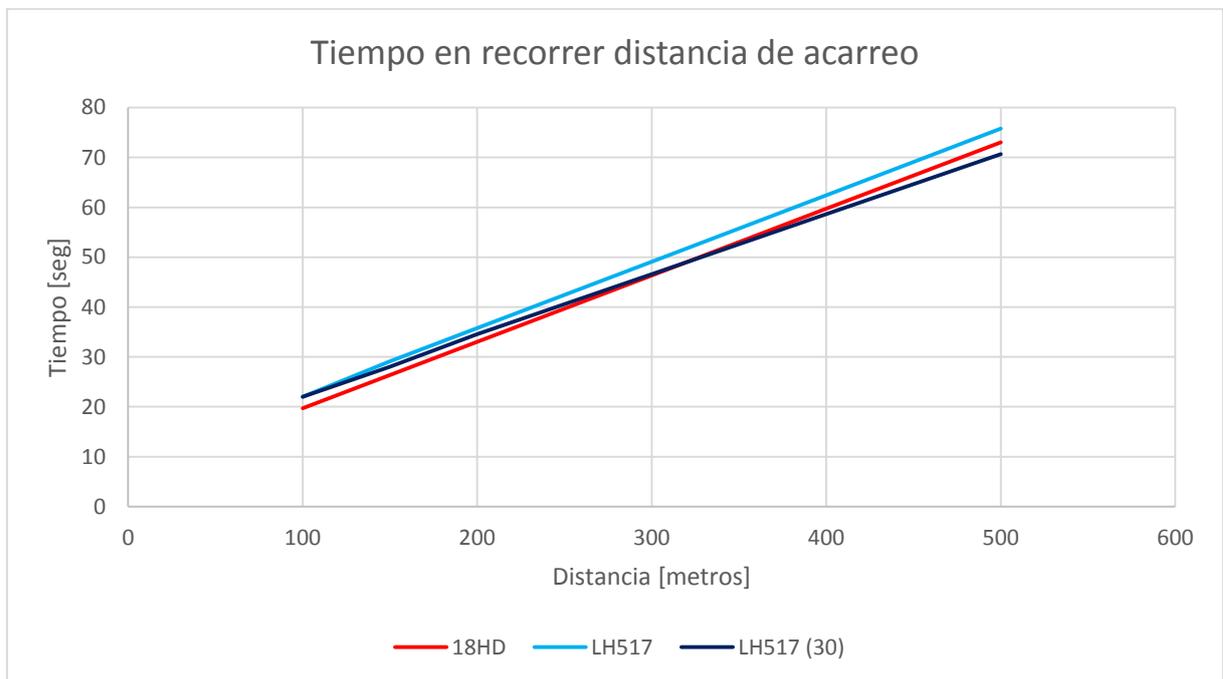


Figura 30: Tiempo necesario para recorrer distintas distancias para ambas tecnologías. Incluye caso con mayor velocidad. Fuente: Elaboración propia.

4. Primera implementación de la tecnología híbrida.

Durante el segundo semestre del año 2015 se dio inicio a una prueba industrial para poner a prueba el prototipo del equipo híbrido 18HD. Esta prueba se desarrolló en Australia y se dividió en dos etapas: la primera de ellas en la mina Ridgeway, la cual forma parte del distrito minero de Cadia Valley Operations; la segunda parte se llevó a cabo en la mina Cadia East Underground Cave, ubicada en la provincia de New South Valley y forma parte del mismo distrito minero, el cual pertenece en un 100% a la empresa minera Newcrest.

Esta prueba representa un hecho significativo para la historia del 18HD ya que fue la primera vez en la que el LHD operó dentro de una operación minera, lo que significó la posibilidad de ver en terreno tanto la nueva tecnología híbrida como el diseño del equipo. Lo importante de esta prueba radica en la oportunidad de probar el prototipo del equipo para identificar y corregir todos los problemas que presente el diseño original, para así lograr una mejora en resultados operativos y temas de confiabilidad

4.1. Resultados operacionales

Durante la primera etapa de la prueba, se desistió en llevar un mayor seguimiento de los resultados operacionales del equipo ya que la mina se encontraba comenzando su proceso de cierre lo que hacía que la productividad de la mina se viera limitada por el rendimiento del sistema de chancado y transporte, haciendo que la productividad del 18HD se viera afectada por largos tiempos de espera ajenos al equipo. A pesar de esto el usuario se mostró conforme con el rendimiento del equipo en términos generales

Durante la prueba realizada en Cadia East se llevó un registro de los índices operacionales del equipo, especialmente aquellos relacionados con temas de confiabilidad como lo son la disponibilidad y utilización. Estos resultados se registraron solamente entre el mes de Julio y Octubre de 2016, mes en el cual equipo salió de operación debido a daños estructurales como resultado de un choque. Todos los índices fueron obtenidos por el sistema dispatch de la mina ya que el equipo al estar en etapa de prototipo no contaba con ningún sistema de conectividad.

Los principales resultados de mantención y producción se encuentran en la Figura 31 y Figura 32. La primera grafica muestra que el equipo estuvo casi dos tercios del tiempo considerado en el análisis fuera de servicio. Este tiempo tan alto se debe a las condiciones en las cuales operaba el equipo, por ejemplo. Si quedaba fuera de servicio en un turno de noche o durante el fin de semana, debía esperar hasta el próximo turno en horario laboral para poder ser reparado. Otro factor que eleva los tiempos fuera de servicio son los traslados del equipo desde interior mina hacia el taller en superficie para la realización de mantenciones mayores.

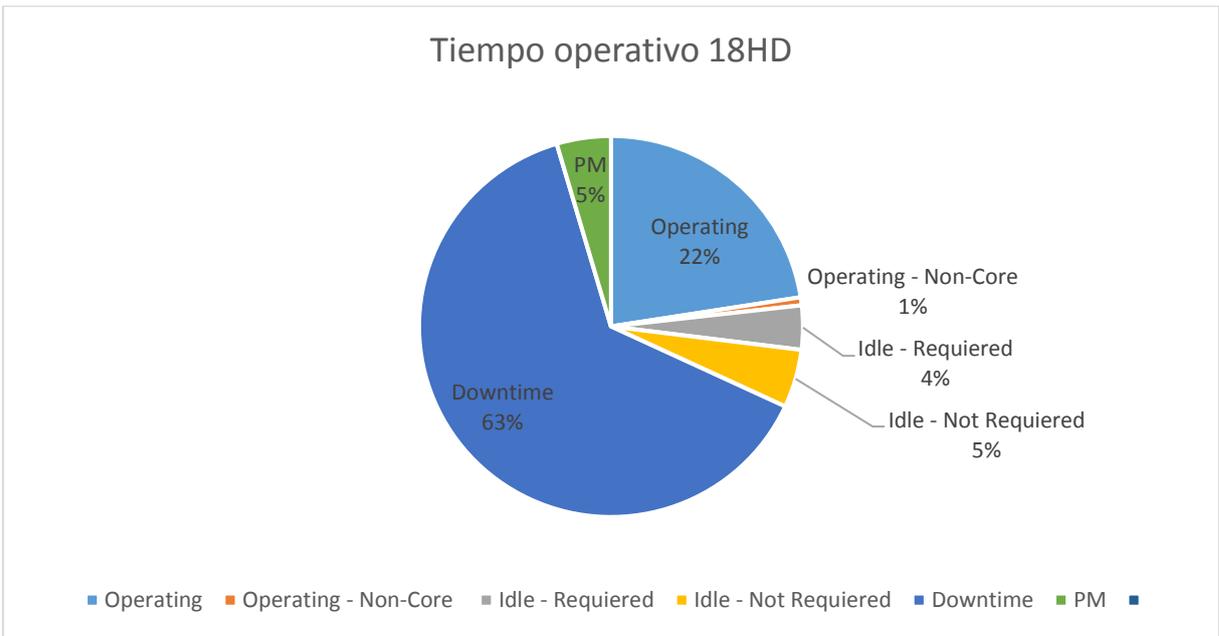


Figura 31: Distribución tiempo 18 HD en Australia Julio-Octubre. Fuente: Elaboración propia.

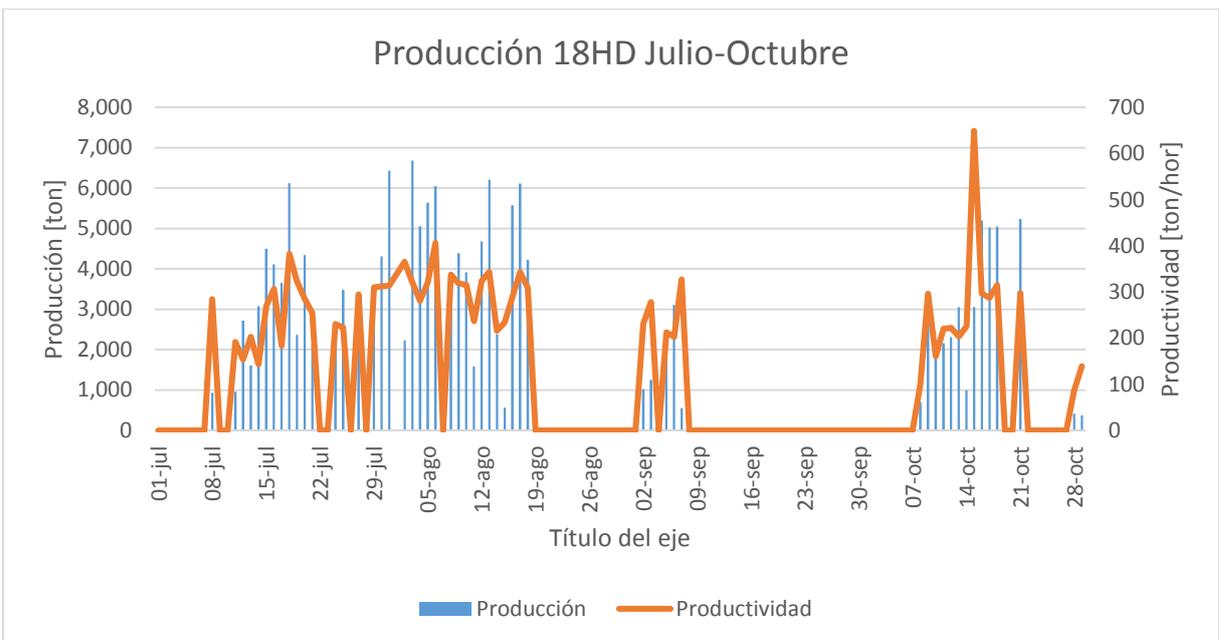


Figura 32: Producción 18HD en Australia Julio-Octubre. Fuente: Elaboración propia

4.2. Aspectos a rescatar

El primer aspecto que se puede rescatar en las pruebas de prototipo de cualquier tecnología nueva es la percepción que tiene la gente encargada de operarla. En este caso los operadores de la mina Ridgway quedaron sorprendidos por la alta aceleración que tiene el equipo y la suavidad al operar. Otra apreciación frecuente entre los operadores del equipo fue que les gustaría desplazarse más rápido, ya que la versión prototipo del equipo tiene un límite de velocidad máxima de 25 km/hora, lo que en esta mina en particular afecta considerablemente el rendimiento del equipo debido a las altas distancias de acarreo que tiene el diseño de la mina. Esta distancia es cerca de los 500 metros promedio, llegando a superar el kilómetro de distancia de

acarreo en algunos casos. La Figura 33 muestra el histograma de la distancia de acarreo la cual tuvo que recorrer el equipo en un día normal de operación.

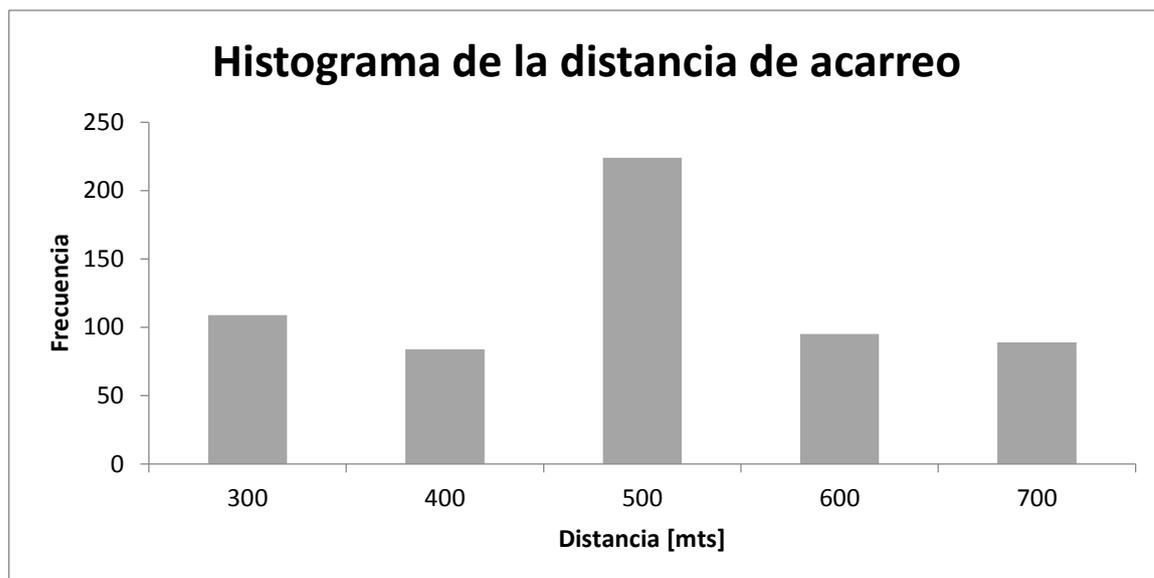


Figura 33: Histograma distancia de acarreo Ridgway Mine

Durante el desarrollo de la prueba se lograron hacer las modificaciones correspondientes para aumentar la velocidad máxima a la que puede llegar el equipo. La nueva configuración que tiene el equipo le permite alcanzar velocidades que bordean los 27 kilómetros por hora, velocidad similar a la que alcanzan algunos equipos diésel de otros proveedores. La Figura 28 compara el tiempo que se demoran en recorrer 350 metros tanto el 18HD como el equipo diésel, en donde la mayor aceleración, gracias a la tecnología SR, le permite alcanzar la velocidad límite en un tiempo mucho menor. La misma tecnología SR y de recuperación de energía de frenado hacen que el frenado sea más lento que los equipos con sistema de accionamiento diésel, sin embargo, esta lentitud en el frenado no es lo suficientemente alta para contrarrestar la mayor magnitud de aceleración del equipo híbrido, por lo que hay una reducción en los tiempos de ciclo para esta distancia de aproximadamente unos 3 segundos.

Los operadores en Ridgway también han tenido percepciones levemente negativas con respecto al otro LHD que opera en la mina (LH517 de Sandvik), es la disminución de la visibilidad, especialmente a través de los brazos de levante al otro extremo del balde y la visibilidad a través de la máquina y con la esquina posterior derecha. Sin embargo, el usuario señala que no ha sido una fuente de gran preocupación. Otro aspecto negativo que han señalado es el diseño del balde, el cual al ser muy recto en la parte frontal como se ve en la Figura 34 en donde se aprecia la línea recta que une la parte superior con el piso del balde. Este diseño fue pensado para aumentar la sobrecarga del balde y así el equipo sea capaz de transportar más carga por cada ciclo.

Como se alcanza a ver en la Figura 15, además presenta un ángulo de 5 grados en el piso del balde, el cual actúa como cuña haciendo que su desempeño no sea tan bueno como el de otros baldes.

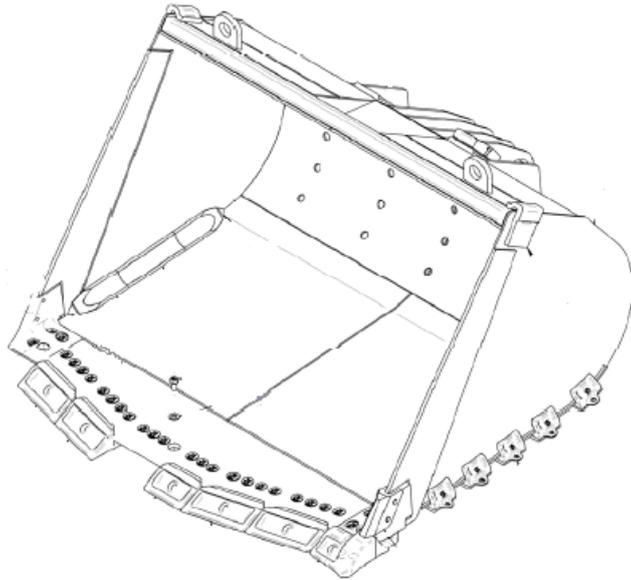


Figura 34: Diseño original balde del equipo híbrido. Fuente: Joy Global.

Si bien el usuario se mostró bastante contento con el rendimiento del equipo en general, también mostró especial preocupación en el diseño del balde debido a las dificultades que presentaba para cargar el mineral desde el punto de extracción. Es por esto que la empresa manufacturera del equipo decidió cambiar el diseño de la parte frontal del equipo, en particular el balde y los brazos de levante. Estos cambios se pueden ver en la Figura 35, en donde a la parte frontal se le hace una pequeña curva, para que así el equipo no tenga problemas para cargar el mineral, además facilita lo que los operadores denominan el “cuchareo”; en cuanto a los brazos de levante se instaló una loza entre ambos brazos, lo que permite que el diseño de los brazos no incurra en un radio de curvatura tan grande, mejorando así la visibilidad, reduciendo el costo de fabricación y aumentando la capacidad límite de levante.

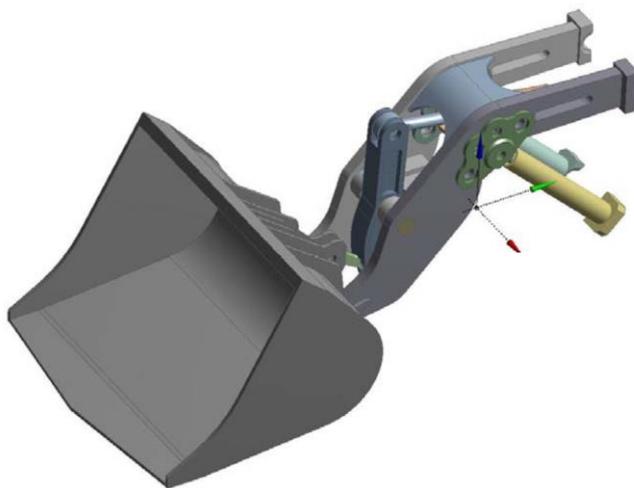


Figura 35: Nuevodiseño balde del 18HD. Fuente: Joy Global

4.3. Aspectos negativos

Si bien la prueba de este prototipo permitió una mejora continua en el diseño del equipo, está tuvo importantes aspectos negativos, siendo el principal de ellos el poco flujo de información que existió desde el equipo hacia afuera, en especial al grupo que está a cargo de ejecutar esta misma prueba en Chile. La falta de información fue tal que en más de un año en el cual el equipo ha estado en prueba solo se tuvo una vez información de las distancias que recorría el equipo en la operación.

Otro aspecto importante que afectó a este prototipo fue el alto número de choques con fuertes consecuencias estructurales para el equipo. Esta razón se explica básicamente por el tamaño del túnel en relación al tamaño del equipo, de hecho, se le tuvieron que hacer modificaciones al prototipo para que pueda operar en esta mina (la cabina del operador fue colocada más baja que como se establecía por diseño). Otra razón que explica el número de choques que sufrió es la poca familiaridad de los operadores con el nuevo sistema de operación del scoop.

5. Implementación tecnología Híbrida en Chile.

En Chile la tecnología híbrida aún no está implementada en ninguna faena. Sin embargo la empresa manufacturera está en proceso de negociación con División El Teniente para un acuerdo comercial entre Joy Global y Codelco que permita la implementación del 18HD a modo de prueba industrial en la cual la empresa se hace cargo de gran parte de los costos en los cuales se incurra.

5.1. Descripción y objetivos

El equipo a utilizar en esta prueba industrial es el primero en fase comercial que entrará en producción. El diseño de los equipos que se comercializan es distinto al que prototipo que fue utilizado en la prueba de Australia, ya que viene con las modificaciones de diseño que surgieron para mejorar la operación del equipo, entre las más importantes destacan las señaladas en el capítulo 4.2.

La gran diferencia entre esta prueba y la descrita en el capítulo anterior es que la prueba en División El Teniente busca determinar el rendimiento real el cual equipo, con sus mejoras en el diseño, puede lograr. Para esto se definen una serie de indicadores de medición de rendimiento que permiten comparar el funcionamiento del equipo híbrido con la flota de equipos diésel que operan en el teniente. Estos indicadores medirán el rendimiento del equipo en términos de producción, mantenimiento, confiabilidad, consumo de combustible, costos de mantención y reparación e higiene industrial.

Esta prueba industrial tiene justificación para ambas partes. Por el lado de Joy Global, destacan las siguientes motivaciones:

- Comprobar el rendimiento real del equipo, además presenta una oportunidad para compararlo con el principal competidor, el LH517 de Sandvik, ya que ambos operarán en el mismo sector, es decir se someterán a las mismas condiciones operacionales.
- Al ser una mina tan grande, en División El Teniente han operado todas las grandes marcas proveedores de equipos de carguío con prácticamente todos sus modelos, lo que significa una amplia base de datos para realizar todos los análisis y comparaciones que sean necesarios.
- La realización de una exitosa prueba puede llevar a Joy Global a posicionarse como un proveedor de minería subterránea en Chile, lo que facilitaría la entrada de sus otros productos al mercado.
- Traspasar el liderazgo que Joy Global ha tenido durante largos años en la prestación de servicios en minería a cielo abierto a la minería subterránea.

En tanto para División El Teniente la prueba se justifica por:

- Mantener a la División como líder en búsqueda de nuevas tecnologías e innovación, con el propósito de mejorar la seguridad, confort, performance y costos operacionales del proceso productivo.

- Abrir mercados en este tipo de equipo, para disponer de un nuevo proveedor validado en Codelco, con el propósito de activar la competencia para obtener mejores precios en futuras licitaciones.
- Condiciones atractivas para Codelco ya que deben pagar solamente el 25% del valor real de mantención. Además, no presenta compromiso de compra, y en caso de que se decida a comprar, puede acceder a un precio especial para futuras compras.

5.2. KPI claves

Los principales índices operacionales que se medirán para determinar el éxito del equipo se encuentran en la Tabla 4. Los valores que se fijan como parámetros mínimos a lograr durante la prueba corresponden a los valores promedio que tiene la flota de equipos de similares características en cuanto a capacidad en mineral.

Tabla 4: KPI a medir en prueba industrial DET. (Fuente: Codelco)

KPI	Target
Disponibilidad	≥ 80%
Utilización	≥ 60%
Producción (235 m)	230 ton/hr
Consumo de petróleo	≤ 0.33 lt/ton
MTBF	≥ 50 hrs
TMPR	≤ 9 hrs
Confiabilidad	≥ 85%
Costo de mantención y reparación.	≤ 0.45 US\$/tms

Al comparar los índices mínimos que debe alcanzar el equipo en la prueba industrial con los valores con los cuales se hicieron las primeras comparaciones entre ambas tecnologías (Ver Tabla 3) se puede ver que muchos de los KPI exigidos son iguales a los parámetros del equipo Diésel con el cual se hizo la comparación.

Debido a lo anterior esta prueba industrial juega un papel importante en la historia del equipo ya que permite determinar el real potencial del equipo.

6. Estructura del mercado de los equipos minería subterránea

Al mirar el mercado de equipos en la minería subterránea se podría decir que existe una competencia perfecta ya que existe un elevado número de consumidores (Empresas mineras y contratistas) y de productores (empresas proveedoras). Sin embargo, la realidad no es así ya que la estructura del mercado no posee ninguna de las hipótesis que caracterizan a la competencia perfecta.

En primer lugar, el producto no es homogéneo ya que distintos proveedores entregan productos, LHD en este caso, con características totalmente diferentes permitiendo que los clientes tengan preferencias por ciertos productos que se adapten mejor a sus características.

Otro aspecto que indica que el mercado no se rige por los principios de la competencia perfecta es la presencia de barreras de entradas a las nuevas empresas. La principal barrera que existe es de tipo económico, ya que para que un proveedor nuevo pueda ingresar al mercado puede incurrir en grandes costos si es que se trata de una innovación o debe instaurar un representante en Chile para la entrega de un mejor servicio.

El factor principal que determina que la estructura de mercado es un Oligopolio es que a pesar de existir una cantidad considerable de empresas que ofrecen equipos de producción (mayormente empresas chinas) solo tres empresas se reparten más del 90% de las cuotas del mercado.

En cuanto a los clientes, la alta cantidad de empresas permite que exista competencia entre los proveedores lo que lleva a una mejora en los productos y reducción en los precios. Sin embargo, el tamaño de cada cliente juega un papel relevante a la hora de adquirir nuevos productos, por lo que es preciso separar en gran minería, mediana minería y empresas contratistas.

6.1. Proveedores

Joy Global busca consolidarse como un proveedor en la minería subterránea del país, comercializando no solamente el LHD híbrido, sino que también cuenta con una línea completa de productos. Para lograr este objetivo debe lograr entrar a un mercado ampliamente por los proveedores más grandes a nivel mundial en minería subterránea de roca dura como lo son Atlas Copco y Sandvik, seguidos con una menor participación por Caterpillar.

Para poder determinar las posibilidades de mercado o alguna estrategia de comercialización es importante conocer a la competencia, saber que productos ofrecen y hacia donde apuntan sus estrategias.

6.1.1. Atlas Copco

Atlas Copco es un grupo industrial líder mundial en equipos para la minería, construcción e industria. Esta compañía busca suministrar soluciones para la productividad sustentable. La empresa fue fundada en 1873, la sede central se encuentra en Estocolmo, Suecia, y tiene un alcance global que abarca más de 170 países. A nivel mundial, Atlas Copco cuenta con alrededor de 39.000 empleados.

En Chile, la empresa fue fundada en 1954 y cuenta con cerca de 900 empleados y 7 sucursales a lo largo del país. Siendo el cuarto país de Latinoamérica en contar con una sede de la empresa sueca. Sin embargo, la marca ya era conocida con anterioridad debido al uso de los equipos por empresas locales en proyectos claves que han permitido consolidar la modernización del país, como fue el caso del Túnel El Melón, la Mina El Soldado de la entonces Compañía Minera Disputada de Las Condes, la central Hidroeléctrica Ralco y más actualmente en los proyectos estructurales de Codelco y las nuevas líneas del Metro de Santiago.

Atlas proporciona una línea completa de equipos subterráneos para carguío y transporte en un amplio rango de aplicaciones, ya que los Scooptram van desde un rango desde las 3.6 hasta las 18 toneladas de capacidad (ya sea mediante accionamiento diésel o eléctrico); los camiones para minería subterránea varían su capacidad entre las 20 y las 60 toneladas; además ofrecen un cargador continuo con capacidades entre los 3.5m³/min a los 5m³/min.

La compañía sueca afirma que la seguridad ha sido siempre su prioridad número uno, la cual se puede ver en todos los productos y las muchas características inteligentes que ofrece. Además de minimizar la fatiga del operador gracias a cabinas espaciosas y ergonómicamente diseñadas. La mejor relación potencia / peso asegura una buena velocidad en pendiente para una alta productividad. Además, aseguran que en comparación con los equipos de carretera, los camiones de Atlas ofrecen alta confiabilidad y bajos costos de operación

Atlas Copco señala que siempre está dedicado a la introducción de nuevos, productivos e innovadores productos para agregar valor a sus clientes. Entre los nuevos productos que ofrece destacan un scoop eléctrico en base a batería de 7 toneladas de capacidad, el cual ofrece todas las ventajas de los scoop eléctricos tradicionales pero sin estar limitado la flexibilidad en la operación debido a la ausencia del cable de poder; otro producto a destacar en el área de carguío y transporte de minería subterránea es la introducción del camión de carguío más grande del mundo con una capacidad de 65 toneladas y que cuenta con sistema de automatización total.

Sin embargo, el principal foco actualmente de la compañía en Chile es seguir mejorando la conectividad entre las máquinas para ir dirigiéndose hacia la full automatización de todos sus equipos, repitiendo los éxitos que han tenido en países mineros como Canadá y Australia.

6.1.2. Caterpillar

Caterpillar es una corporación con sede central en Estados Unidos, la cual se dedica al diseño, desarrollo, ingeniería, fabricación, comercialización y ventas de productos

como maquinarias, motores y productos financieros. CAT es manufacturero líder en equipos de construcción y minería, motores en base a diésel y gas natural, turbinas a gas y locomotoras eléctrico-diésel.

En Chile el distribuidor oficial de Cat es Finning, empresa la cual es el distribuidor más grande del mundo y ha ofrecido el servicio por más de 80 años y llegó a Chile en el año 1993 para mejorar la calidad de servicio que hasta ese entonces se entrega y ampliar el negocio más allá de la industria minera.

A diferencia de empresas como Atlas Copco y Sandvik, Caterpillar tiene una participación no menor en el mercado de minería a cielo abierto, ya que ofrece distintos productos como camiones, palas (tanto eléctricas como hidráulicas) y perforadoras además de todo tipo de equipos auxiliares a la operación.

A pesar de esto Caterpillar tiene una completa línea de cargadores (LHD) y camiones articulados diseñados especialmente para minería subterránea de roca dura. La capacidad de los cargadores varía entre las 7 y las 20 toneladas, mientras que la capacidad de los camiones va desde las 30 toneladas a las 60 toneladas nominales. La empresa entrega la opción de poder realizar las modificaciones necesarias para adaptar los equipos a diferentes aplicaciones. Además, todos los equipos de Cat para minería subterránea se caracterizan por ser diseñado, construidos y fabricados por Caterpillar. Asimismo, el sistema de accionamiento junto a todos los componentes de los equipos son fabricados por Cat, facilitando así la operación al cliente ya que se pueden encontrar repuestos en común en todas las maquinas Cat y permite contactar sólo a una fuente para cualquier tipo de soporte.

Cat está pasando por momentos financieros complejos ya que acumula cuatro años consecutivos con números rojos, lo que representa el lapso más prolongado en su historia. Esto se debe a la apuesta de la empresa durante el año 2010 de tener una mayor participación en el mercado, justificándose en los buenos precios de las materias primas en ese entonces, para lo cual destino más de 10 mil millones de dólares para la instalación de nuevas plantas que permitan aumentar la producción de equipos. También destinó 8 mil millones de dólares a la adquisición de la empresa Bucyrus en el año 2011.

Esta estrategia parecía rendir frutos en un comienzo ya que desde el año 2008 al año 2012 la empresa había aumentado sus ingresos por sobre el 60%, sin embargo, con la caída en el precio de las materias primas y la contracción de las economías de Brasil y China, países en los cuales CAT contaba con varias plantas, llevaron a la disminución de demanda de equipos de construcción, uno de los principales líneas de negocio de Caterpillar.⁶

Ante un escenario así de complejo toma suma relevancia cual es la estrategia que toma la compañía. Específicamente, en el área de carguío y transporte de minería subterránea de roca dura está en proceso de mejorar los equipos recientes con sistemas más modernos y mejor diseño de partes, un ejemplo de esto es el lanzamiento del LHD R1700K que viene a reemplazar al modelo R1700G⁷, permitiendo reducir los costos para todos sus clientes. Todos estos enfoques se llevan

⁶ <http://www.mch.cl/2016/10/18/caterpillar-paga-precio-altas-apuestas/>

⁷ <https://www.australianmining.com.au/news/cat-unveils-new-underground-loader/>

a cabo sin dejar de lado el desarrollo de tecnologías que permitan implementar una full automatización.

6.1.3. Sandvik

Sandvik es una empresa mundial de ingeniería y alta tecnología que está altamente comprometida con la productividad, rentabilidad y seguridad de sus clientes. La visión de la empresa está basada en la experiencia sobre tecnología de materiales, conocimiento de procesos industriales y cooperación cercana con sus clientes. Estos pilares juntos a la innovación y desarrollo han permitido que Sandvik sea un referente mundial en las áreas de fabricación de herramientas (para torneado, fresado, taladrado, mandrinado y para la industria siderúrgica), minería y construcción (maquinarias de perforación, carga, excavación, chancado, cribado además de otra amplia gama de servicios para la minería y construcción) y tecnología de materiales (Aleaciones y aceros inoxidables).

Chile representa una ubicación de alto interés para la compañía finlandesa debido al aumento en las ventas de sus equipos que ha tenido en el país. En Chile cuenta con la casa matriz para la región, además de cuatro oficinas distribuidas por el país.

Sandvik ha puesto gran esfuerzo en trabajar de manera cercana y colaborativa con sus clientes, con el fin de aumentar la productividad, reducir costos y mejorar la eficiencia energética pero siempre asegurando la seguridad para los trabajadores como para el medio ambiente.

Un pilar clave en la estrategia de Sandvik es el fomento de la innovación y desarrollo de productos en todas sus áreas productivas. En cuanto a equipos para minería subterránea el último producto lanzado al mercado de forma comercial corresponde al Jumbo Sandvik DD422iE el cual es el primer jumbo en la industria impulsado por baterías. La batería del equipo se puede recargar mientras el equipo hace el ciclo de perforación o cuando hace el traslado o el descenso.

El Sandvik DD422iE es el primer equipo de la compañía en dispensar de un motor diesel y la empresa espera que se convierta en un símbolo de su tendencia de cero emisiones de material particulado.

Sin embargo, el programa que se ha llevado el mayor de los esfuerzos de la compañía es el mejoramiento e implementación del sistema Automine, Este sistema es el software que permite una automatización o manejo de manera remota. Existen varios ejemplos de la aplicación de este sistema, pero uno de los más exitosos es el de la mina Kidd Operations perteneciente a Glencore Canadá, en el cual una flota de 14 equipos operan de manera automatizada por debajo de 3 mil del nivel del suelo y solo necesitan de control a distancia para realizar la carga y descarga del mineral.

6.2. Oferta de equipos

Como ya se estableció anteriormente el mercado de los equipos de carguío de minería en Chile está ampliamente dominado por los equipos con capacidad de levante nominal de 10 toneladas (ver Figura 12) mientras que la participación de equipos de

mayor tamaño ha ido en aumento en los últimos años. En primera instancia el 18HD debiese competir con equipos que tienen la misma capacidad, sin embargo, este rango de competencia puede llegar a crecer abarcando desde 14 toneladas de capacidad hasta las 21 toneladas. Este rango va a depender exclusivamente de cada faena minera y las condiciones que establezcan en cada licitación o requerimiento de compra, en particular del tamaño de balde que ofrezca cada proveedor.

En la Tabla 5 se pueden ver estos modelos con las principales características dimensionales y de capacidad. Mientras que la Tabla 5 muestra características físicas como el peso, capacidad del estanque del estanque y potencia del motor.

Una característica que salta a la vista es que para misma capacidad nominal distintas marcas tienen un rango de tamaño distinto. Sin embargo, existen casos en donde los LHD tienen un balde distinto a las opciones que ofrece la hoja de especificaciones, esto dependerá exclusivamente de la densidad del mineral presente en cada mina. Dos claros ejemplo de esto es la utilización de equipos LH517 con baldes de 13 yardas cubicas en División El Teniente y la utilización del equipo CAT modelo R1700G con un balde de 13 yardas cubicas por parte de División Andina.

Tabla 5: Características físicas de equipos LHD. Fuente: Eleboracion propia.

Marca	Modelo	Capacidad nominal [ton]	Rango tamaño balde [m3]	Altura [m]	Ancho [m]	Largo [m]
Atlas Copco	ST14	14	5.4-7	2.55	2.66	10.8
CAT	R1700G	12.5	4.6-5.7	2.55	3.05	11.0
Sandvik	LH514	14	4.6-7.0	2.54	2.92	10.9
Sandvik	LH517	17.2	6.5-8.6	2.75	3.15	11.5
CAT	R2900G	17.2	7.2-8.9	2.88	3.18	11.3
Joy	18HD	18	7.2-9.0	2.90	3.10	11.4
Atlas Copco	ST18	18	6.3-9.7	2.84	3.06	11.0
CAT	R3000H	20	8.3-11.6	3.00	3.55	11.6
Sandvik	LH621	21	9.0-10.7	2.94	3.25	12.5

Tabla 6: Características mecánicas de principales equipos LHD. Fuente: Elaboración propia.

Marca	Modelo	Power [hp]	Capacidad combustible [Litros]	Peso [ton]	Modelo Motor	Normativa
Atlas Copco	ST14	335	390	39	Cummins QSM11	Tier III
CAT	R1700G	323	570	40	Cat® C11 ACERT™	Tier III
Sandvik	LH514	348	420	38.1	Volvo TAD1360VE	Tier III
Sandvik	LH517	388	485	44	Volvo TAD1361VE	Tier III
CAT	R2900G	430	854	50.2	Cat C15 ACERT™	Tier III
Joy	18HD	375	757	49.9	MTU Detroit Series 1100	Tier IV
Atlas Copco	ST18	450	660	51	Cummins QSX15	Tier III
CAT	R3000H	398	1539	56	Cat C15 ACERT	Tier III
Sandvik	LH621	469	620	56.8	Volvo TAD1363VE	Tier IV

Un aspecto importante que resalta en la Tabla 6 es que el 18HD es el único LHD que viene con un motor certificado bajo la norma americana de emisión de gases Tier IV lo que además de una mejor eficiencia en el combustible se emiten menos gases nocivos.

La información contenida tanto en la Tabla 5 como en la Tabla 6 fue obtenida de las hojas de especificaciones de los respectivos equipos. Las hojas de especificaciones de dichos equipos se encuentran en la sección B de anexos.

Al analizar las tablas anteriormente señaladas y las hojas de especificaciones completas de todos los equipos se ve que el mercado ofrece una amplia variedad de características de los LHD, permitiendo así que todos los clientes pueden encontrar solución a sus necesidades ya que hay amplios rangos en dimensiones, capacidades, peso, potencia, motor y características extras. Sin embargo esta gran variedad de oferta no se ve reflejada al momento que las empresas toman la decisión de comprar equipos nuevos ya que como se ve en la Figura 36, en los últimos años las empresas se han inclinado por prácticamente los mismos modelos de equipos.

Durante los últimos años el modelo que más ha ingresado al país es el LH517 de Sandvik, seguido del ST14, R1700G y el LH514. Al considerar los equipos con capacidad mayor a 7 yardas cubicas existe una clara preferencia por Sandvik.

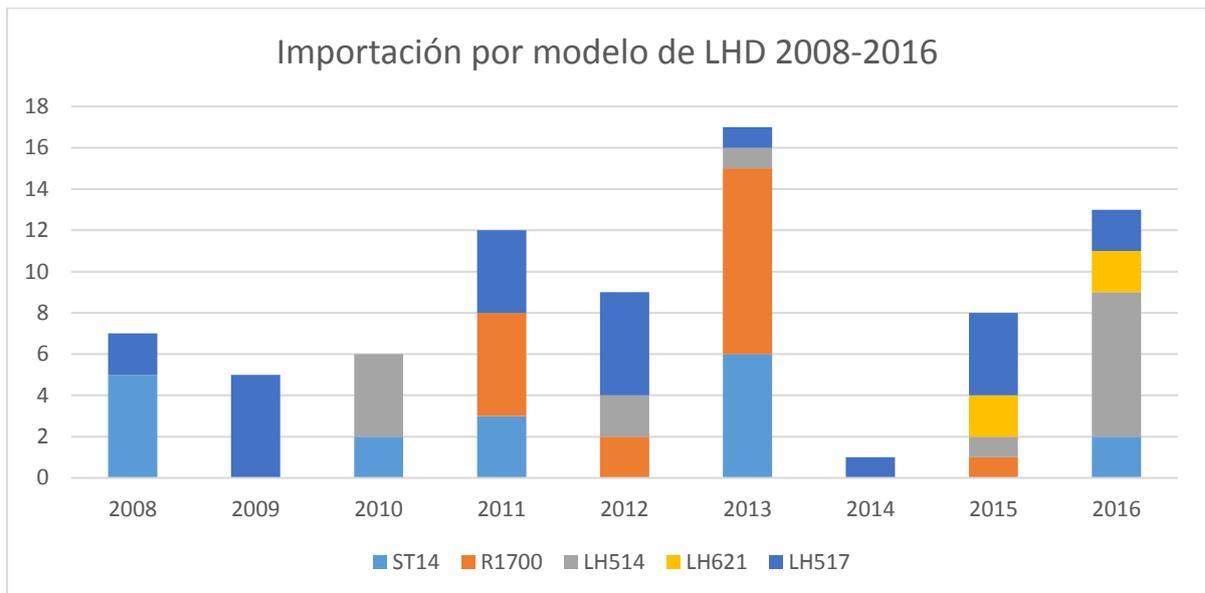


Figura 36: Importación por año de LHD con capacidad mayor a 10 toneladas. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecomex)

6.3. Clientes

El mercado de la minería se caracteriza por ser intensivo en capital, en donde la compra de nuevos equipos juega un papel importante debido a su alto costo, haciendo que las empresas no se tomen las decisiones de compra a la ligera. Esta característica puede explicar en parte la alta concentración que sufre el mercado de equipos ya que no son muchos los proveedores que son capaces de cumplir con las necesidades actuales de las empresas. Estas necesidades se pueden resumir en cinco puntos y la importancia que le da cada empresa a cada una de estas puede variar significativamente entre una y otra:

- Características del equipo: Al momento de comprar un equipo se analizan distintas características como la capacidad de carga, motor, tipo de transmisión, dimensiones para comprobar que equipos cumplen con las características del cliente.
- Precio: Factor decisivo al momento de realizar una compra. Si el precio supera el presupuesto existente no hay manera de llevarla a cabo.
- Facilidades de pago o modalidad de ventas: Los proveedores más grandes trabajan con grupos de soluciones financieras que entregan facilidades a los clientes que les permiten aumentar las ventas. Entre las más destacadas se encuentra arriendo y préstamo tanto de equipos nuevos como usados, opciones de financiamiento, largos plazos de pagos.
- Lead time: El tiempo de entrega de un equipo nuevo puede ser considerablemente alto dependiendo de la estrategia de fabricación que tenga cada empresa manufacturera. Plazos de entrega altos pueden resultar claves cuando el cliente necesita los equipos en el corto plazo.
- Servicio: Este aspecto ha ido tomando una relevancia mayor con los años ya que el costo de oportunidad de tener un equipo fuera de servicio es tan alto que

las empresas no pueden riesgos con empresas que no tengan capacidad de respuesta ante algún tipo de falla.

Estas necesidades cada se van haciendo más notorias debido a que nuevo escenario de precios bajos que vive la minería a nivel mundial impacta directamente en la compra de nuevos equipos. Como se señaló anteriormente (Ver Figura 11) los años con mayores compras de equipos nuevos son los años 2011 y 2012, periodo que coincide con los precios que ha visto el metal rojo en los últimos años, mientras que durante los últimos tres años las importaciones se han reducido a menos de la mitad de las realizadas entre 2011 y 2013.

El efecto anterior se traduce en un envejecimiento de la flota de LHD en Chile, en donde muchas de las empresas tienen un parque de equipos con un promedio cercano o sobre los 5 años de antigüedad, lo que implica que se están acercando al límite de la vida útil de los equipos. Situación la cual afecta a todos los actores involucrados en la compra de equipos, sin embargo el efecto puede variar dependiendo el tamaño de empresa, si es mediana o gran minería o si se trata de una empresa contratista según las necesidades que tenga cada cliente al momento de llevar a cabo la compra de nuevos equipos.

6.3.1. Gran Minería

Como se estableció anteriormente la gran minería subterránea en Chile es exclusivamente las divisiones de Codelco. En este caso se debe separar el análisis en dos, primero ver el efecto que tiene el actual escenario sobre las divisiones que actualmente están operando, y en segundo lugar el efecto sobre los proyectos estructurales. Esta separación es posible ya que los proyectos estructurales de la corporación dependen de la vice presidencia de proyecto, mientras que las minas en operación dependen exclusivamente de cada división.

En cuanto a las divisiones, todas están sufriendo el envejecimiento gradual de sus flotas. Sin embargo, lo anterior no se traduce en la planificación de grandes cantidades de equipos nuevos.

Esto se puede verificar al revisar los datos de Divisiones El Teniente y Andina. En el caso de la DET la flota promedio de los equipos va disminuyendo cuando se analiza el largo el plazo, lo que también responde al agotamiento de los recursos. En cuanto a división Andina, para el resto de la vida útil de la mina subterránea, el cual está planificado para 2020 si es que no se aprueban los proyectos de continuidad, solo está planificado la adquisición de un equipo LHD. Estos datos se encuentran adjuntos en la Tabla 7 y la Tabla 8.

Tabla 7: Flota promedio División El Teniente. Mina sin proyecto Nuevo Nivel Mina (Fuente: PND 2015 División El Teniente)

Equipo de Extracción	Promedio Quinquenio PND 2015	Promedio Decenio PND 2015	Promedio PND 2015
Cargadores LHD 5 yd3	7	5	2
Cargadores LHD 7 yd3	48	44	20
Cargadores LHD 10 yd3	2	2	1
Cargadores LHD 13 yd3	11	6	6
Cargadores LHD 15 yd3	6	4	2

Tabla 8: Perfil de reemplazos de equipos LHD División Andina (Fuente: División Andina)

	P0 2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Flota requerida	7.7	7.6	8.5	8.7	8.4	7.4	6.7
Horas requeridas	30,255	29,419	32,334	32,520	31,131	27,768	24,992
Flota req operativizada	8	8	9	9	9	8	7
LHD Dado de Baja	-	-	-	-	3	-	-
LHD Overhaul	1	4	1	5	2	-	-
LHD adquisición	-	-	-	-	1	-	-

La baja adquisición de equipos nuevos se puede explicar debido al agotamiento paulatino de los recursos, sin embargo, la principal causa es la mayor destinación de recursos a mantenciones y reparaciones mayores que apuntan a alargar la vida útil del equipo. Este servicio es conocido como Overhaul. La Tabla 8 ilustra el crecimiento que ha tenido este servicio durante los últimos años. Si bien los datos corresponden a División Andina, es un efecto que se ha visto replicado en toda la industria.

Una característica distintiva de Codelco es la rigurosidad en sus estándares de seguridad, lo que se traduce en requerimientos mayores para los equipos. Lo que en cierto modo limita la cantidad de Overhaul que se le puede hacer a cada equipo.

Las principales necesidades al momento de decidirse por una empresa proveedora u otra al momento de comprar un equipo nuevo en Codelco son las características del equipo y la calidad del servicio que entregue el proveedor, ya que al ser la minera con mayor demanda de equipos los proveedores ajustan sus condiciones a la empresa para asegurar una mayor cantidad de ventas.

6.3.2. Mediana Minería

La mediana minería se ha visto bastante afectada por la situación actual del mercado la que se ha traducido en una reducción en su producción de cobre y un escenario aún más complejo para el acceso al financiamiento de sus proyectos. Esta situación ha llevado tan al límite al sector que algunas faenas están operando al margen mientras que otras bajo pérdidas operacionales. Para sobreponerse a esta situación el sector ha realizado importantes esfuerzos para mantenerse activo, mejorando la productividad, reduciendo costos y haciendo sus procesos más eficientes.

Una característica distintiva del sector es la gran diferencia entre el C1, costos directos asociados a la operación, y el C3, costos operacionales más amortizaciones y costos indirectos, lo que hace pensar que gran parte de los costos del sector tienen que ver con el financiamiento.

Lo que permite que el sector pueda seguir operando a pesar de todas las complicaciones descritas anteriormente es el apoyo del estado mediante las políticas de fomento, señaladas en el Capítulo 2.2.2, entregadas por la Enami. Estas políticas se entregan gracias a la importancia de la mediana minería para la economía del país.

6.3.3. Empresas contratistas

Las empresas contratistas cumplen un importante rol dentro de la industria minera ya que son responsables de prácticamente del 70% de los empleos directos que genera la minería y aproximadamente del 10% de los empleos totales del país⁸. Este tipo de empresas realizan variados tipos de servicios incluyendo desarrollos mineros y en algunos casos operaciones mineras.

Las condiciones de cada contrato puede variar considerablemente entre una y otra empresa mandante. Si esto se suma los distintos servicios que puede entregar las distintas empresas contratistas se tiene un mercado bastante complejo, lo que requiere un estudio más profundo para determinar las principales necesidades de las empresas.

Sin embargo como son los contratistas los que por lo general están a cargo de realizar los desarrollos mineros necesarios para la construcción de proyectos, se espera que exista un alza de equipos necesarios para estas funciones debido a la construcción de mega proyectos subterráneos que actualmente se están llevando como lo son los casos de Chuquicamata Subterránea y Nuevo Nivel Mina.

⁸ Fuente: <http://www.latercera.com/noticia/contratistas-de-la-mineria-anticipan-fuerte-caida-del-empleo-por-baja-del-cobre/>

7. Análisis de mercado

Una vez establecida la estructura del mercado con las características de las empresas proveedoras, la oferta de equipos existente y los tipos de clientes con sus respectivas necesidades, se debe realizar un análisis de factores tanto internos como externos que puedan llevar a afectar las posibilidades de comercialización del equipo híbrido.

Para analizar el mercado se utilizan las herramientas de estudios conocidas como Análisis FODA y Análisis de las Fuerzas de Porter. Para la utilización de estas herramientas se consideraron varios puntos dentro del análisis como la estructura del mercado, los beneficios de la tecnología híbrida, la situación de la minería en Chile, la implementación de la tecnología en Chile, la empresa comercializadora, etc.

7.1. Análisis FODA

El término FODA proviene de la primera letra de las palabras Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas. Este análisis busca detectar los principales factores internos (Fortalezas y Debilidades) como los externos (Oportunidades Y amenazas)

Las fortalezas son las capacidades distintivas con las que cuenta la empresa y que le permiten tener una posición privilegiada en comparación a la competencia. Mientras que las debilidades son todas aquellas barreras que impiden el buen funcionamiento del proyecto y la obtención de buenos resultados.

En cuanto a los factores externos, las oportunidades son aquellos factores positivos que se generan en el entorno y que, una vez identificados, pueden ser aprovechados, mientras que las amenazas son situaciones negativas, externas al proyecto, por lo que puede ser necesario diseñar una estrategia adecuada para poder sortearlas.

Este análisis FODA se resume en la Figura 37.

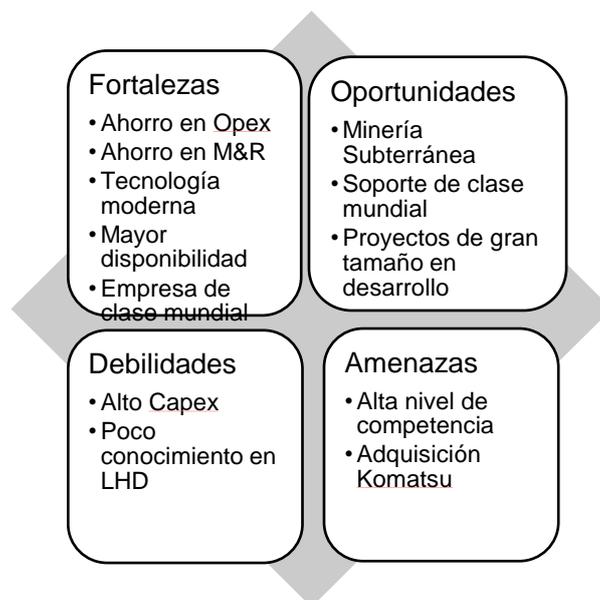


Figura 37: Análisis FODA LHD Híbrido – Joy Global (Fuente: Elaboración propia)

7.1.1. Fortalezas

La principal fortaleza del equipo, y en la cual se basa la estrategia de comercialización de la empresa es la disminución del costo total equivalente, o TCO por su significado en inglés, para el cliente. Esta disminución se logra gracias a la mejora en ciertos índices de rendimiento claves como lo son el ahorro en costo de operación, ahorro en costos de mantención y reparación y mayor disponibilidad física. Otros aspectos en los que se logra una mejora con respecto a los equipos accionados mediante tecnología diésel son una mayor aceleración, sin sacrificio de la velocidad máxima; menor gasto en combustible y una mayor vida útil gracias a la mejora en la construcción de las partes mayores de la máquina. Todos estos aspectos hacen que el costo por tonelada del equipo sea menor y contrarrestan el alto costo de capital del equipo, permitiendo así que el costo total del equipo sea menor. En la Figura 38 se compara el TCO de ambas tecnologías.

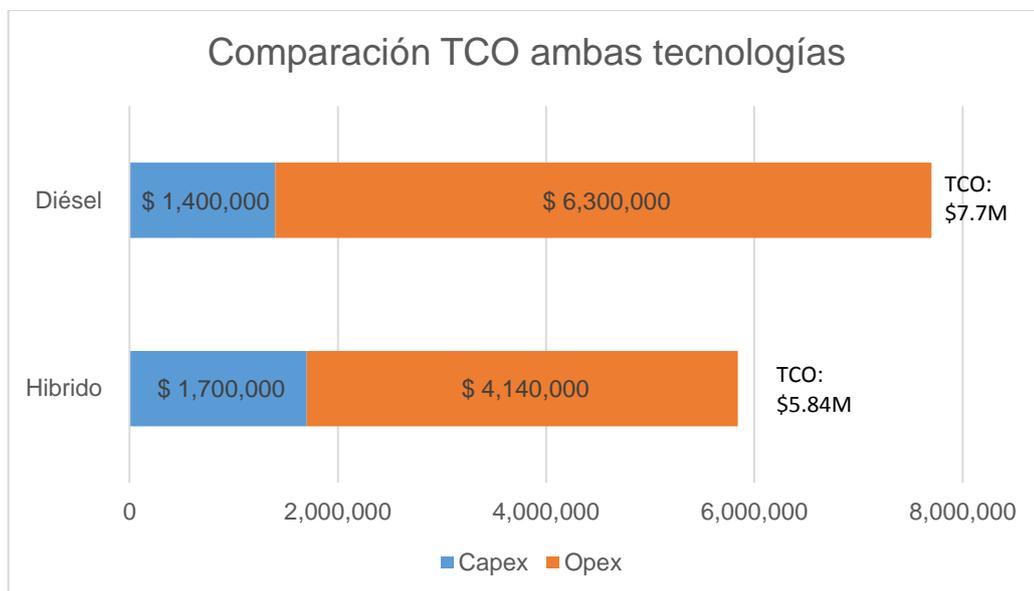


Figura 38: Comparación TCO entre equipos Diésel e Híbrido (Fuente: Joy Global)

Sin embargo, como el proyecto está entrando en la última etapa de prueba, aun es necesario comprobar que estas fortalezas se den en la realidad, además de cuantificar estos beneficios. Una característica que ya está comprobada es la mayor aceleración que tiene el equipo, permitiendo reducir los tiempos de ciclos, aumentando así la productividad.

La empresa a cargo de la comercialización del equipo es una empresa de tamaño mundial, enfocada en soluciones para la minería de alta productividad. Al ser una empresa tan grande que ya se encuentra establecida en el mercado chileno le permite absorber todos los gastos necesarios para la realización de la prueba y comenzar a posicionarse en el mercado. Sin embargo, la principal fortaleza relacionada con la empresa hace relación a la calidad de servicio que entrega. Entre los servicios que más destacan está la posibilidad de asegurar disponibilidad mediante contrato, monitoreo de condiciones a distancia, intercambio de componentes principales con entrega de repuestos inmediata, entrenamientos para mantenedores, servicio técnico

entre otros. Todos estos servicios debiesen permitir que Joy Global genere un valor agregado en comparación a la competencia para así ser preferido por los clientes.

Otra fortaleza que puede llegar a pesar mucho, sobre todo cuando se negocia con empresas de pequeño tamaño es ofrecer soluciones financieras entre las que destacan arriendo y préstamos para equipos nuevos, usados o reacondicionados, financiamiento para actualizaciones y trabajos de servicios, plazos de pago de hasta 72 meses.

7.1.2. Oportunidades

La realización de este proyecto presenta muchas oportunidades para Joy Global, ya que significa la entrada de la empresa al principal mercado de la minería subterránea en Chile, facilitando la comercialización de los otros productos y servicios que entrega.

Joy Global en el mercado de minería a cielo abierto se caracteriza por el servicio de clase mundial que entregan a todos sus clientes. Este servicio puede variar desde realizar asesorías técnicas para todos los equipos que comercializan, hasta realizar las mantenciones y reparaciones ellos mismos a través de los contratos MARC en los cuales se asegura una disponibilidad del equipo. Otro tipo de servicios que también presta es el análisis de condiciones y monitoreo del estado del equipo a través del análisis remoto de vibraciones de componentes, el cual permite detectar componentes en mal estado y poder realizar los cambios antes de que estos fallen. Si el proyecto de la prueba en División El Teniente finaliza con éxito, en término del cumplimiento de los índices operacionales establecidos, significa que la empresa supo cómo traspasar la calidad del servicio que por años aprendió en la minería a cielo abierto a la minería subterránea, lo que le permite posicionarse como un proveedor de clase mundial.

Como se estableció anteriormente, las minas explotadas mediante algún método de hundimiento son las que generan la mayor producción de cobre, ver Figura 5, debido a las características masivas propias del método, esto se traduce en una mayor demanda por LHD de estas minas. La actual situación que vive Codelco con sus proyectos estructurales, los cuales buscan asegurar la vida operativa de todas las divisiones por al menos otros 30 años, específicamente con los proyectos de minería subterránea como lo son Chuquicamata Subterráneo, el cual a partir del año 2020 tiene proyectada una producción de 140 mil toneladas de mineral sulfurado al día, y el proyecto Nuevo Nivel Mina, el cual tiene fecha de puesta en marcha para el 2022 y también producir cerca de 140 mil toneladas diarias, con la opción de poder expandirse a una producción de 180 mil toneladas en el próximo decenio.

Lo anterior muestra el buen momento en el cual se está desarrollando el proyecto, ya que para cuando comiencen las licitaciones el equipo híbrido ya debiese estar operando con normalidad en alguna faena del mundo, lo que permitirá postular a la licitación con la mayor información posible, aumentando así las posibilidades de adjuntársela si es que realmente cumple con los beneficios que se esperan.

La flota para estos proyectos se estima que sea sobre los 20 equipos y sean necesarios baldes de 10 o 13 yardas cúbicas, por lo que la adquisición de la licitación para ser proveedor del parte del equipo significaría un gran respaldo en la misión de la empresa en transformarse en un proveedor líder de la minería subterránea.

Tabla 9: Plan de compras División El Teniente. Proyecto Nuevo Nivel Mina (Fuente: PND 2015 División El Teniente)

Equipo de Extracción	Promedio Quinquenio PND 2015	Promedio Decenio PND 2015	Promedio PND 2015	Primer Año de Producción
Cargadores LHD 7 yd3	0	1	4	2020
Cargadores LHD 10 yd3	0	6	27	2020

7.1.3. Debilidades

La principal debilidad que tiene el equipo es su alto costo de capital. Si bien en el escenario que planteó la compañía para comparar la tecnología híbrida con la tecnología la inversión necesaria para adquirir un equipo híbrido corresponde a un 20% mayor que el costo de capital del equipo diésel, esta brecha en la realidad puede llegar a ser mucho más significativa. Por ejemplo, el equipo LH517 de Sandvik con el cual se hacen la mayoría de las comparaciones del equipo híbrido, entre los años 2011 y 2014 su precio de venta bordeaba los mil dólares, mientras que en los últimos dos años promedió un valor de venta cercano a los 800 mil dólares, lo que representa una reducción superior al 50% con respecto al precio de venta del equipo híbrido. Haciendo la competencia, al menos aquí en Chile, la competencia muy compleja para el equipo híbrido.

Otro análisis relevante que se puede realizar en este mismo aspecto es cuando se compara el precio con un equipo diésel de mayor capacidad, el LH621 de 21 toneladas de capacidad nominal, el cual en los dos últimos años ha tenido un costo que equivale al 70% del costo del equipo híbrido.

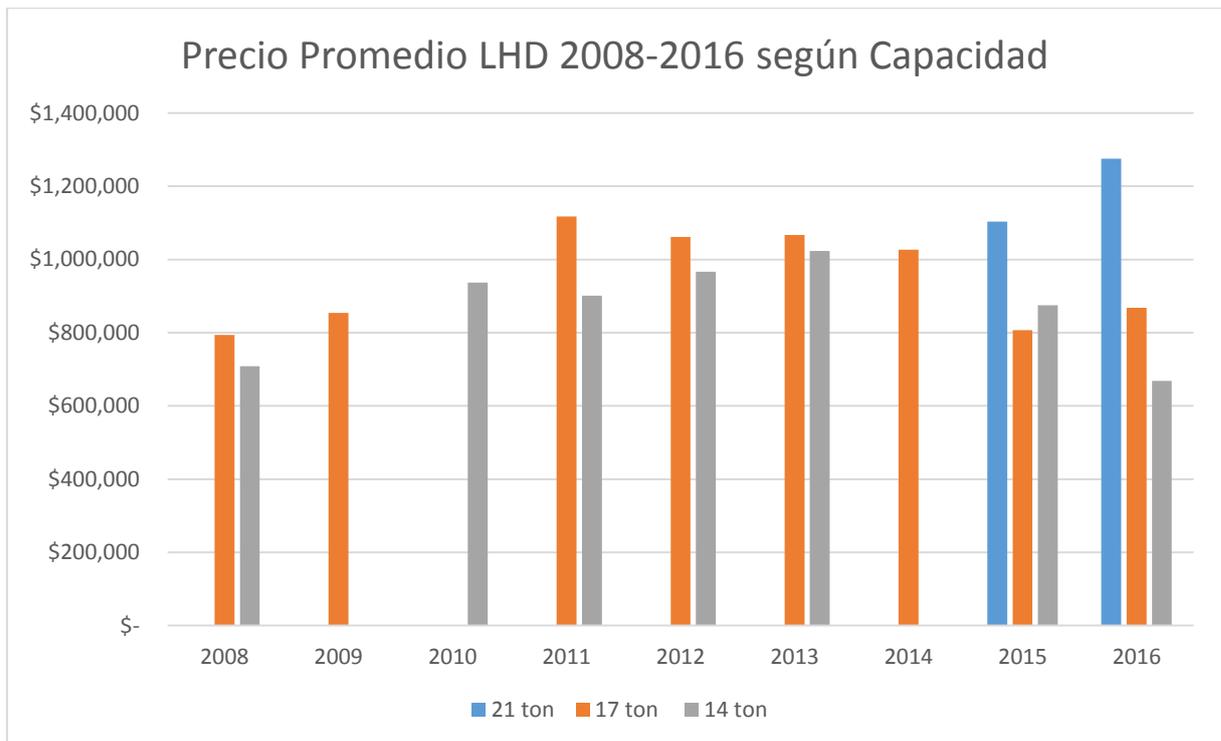


Figura 39 : Precio promedio por LHD para distintas capacidades. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ecomex.

7.1.4. Amenazas

En julio del año 2016 se dio a conocer la noticia de la adquisición de Joy Global por parte de Komatsu, proveedor japonés de equipos mineros y de construcción⁹. Komatsu se caracteriza por ser la segunda empresa manufacturera de equipos mineros de superficie, y su negocio se limita solo a la minería en superficie, mientras que Joy Global es la empresa manufacturera de equipos de minería superficie más grande del mundo, debido exclusivamente a su alta participación en el mercado del mundo.

Si bien se espera que la adquisición de Joy Global por parte de Komatsu entre en operación para mediados del año 2017 y que Joy Global funcione como una empresa subsidiaria del holding, aún existe cierta incertidumbre en el rol que jugará el área de minería subterránea de roca dura de Joy Global, considerando que la empresa japonesa no tiene participación de mercado en este sector. Dependiendo de lo anterior las estrategias de comercialización del 18HD pueden variar.

Las amenazas que rodean el mercado se detallan a través del análisis de las fuerzas de Porter.

7.2. Análisis Fuerzas de Porter

Las fuerzas de Porter permiten establecer un marco para analizar el nivel de competencia existente dentro de una industria, para así poder desarrollar una

⁹ <http://www.mining.com/japans-komatsu-is-buying-joy-global-for-3-7-billion/>

estrategia de negocio acorde con la realidad. En este análisis se puede dividir en cinco fuerzas que determinan la intensidad de competencia y rivalidad en una industria, y por lo tanto, en cuan atractiva es esta industria en relación a oportunidades de inversión y rentabilidad.

Las cinco fuerzas de Porter incluyen 3 fuerzas de competencia horizontal: Amenaza de productos sustitutos, amenaza de nuevos entrantes o competidores en la industria, y la rivalidad entre competidores, y también comprende 2 fuerzas de competencia vertical: El poder de negociación de los proveedores, y el poder de negociación de los clientes.

7.2.1. Peligro de entrada de nuevos participantes

Entrar a competir en un mercado tan competitivo y dominado ampliamente por Atlas Copco, Caterpillar y Sandvik siempre va a hacer complejo ya que estos proveedores llevan bastante tiempo en el negocio y conocen las necesidades de los distintos clientes. Sin embargo, existen amenazas de la entrada de nuevos competidores al mercado.

Un ejemplo de esto es la empresa GHH Fahrzeuge, empresa alemana de ingeniería y fabricación de maquinaria para minería subterránea, la cual cuenta con presencia en Chile desde el 2011 y durante el año 2016 tomó la decisión de instaurar una casa matriz en el país¹⁰. Este hecho marca una clara señal de la intención de la empresa de expandirse en Chile.

Otra amenaza de nuevos participantes en el mercado de la minería subterránea en Chile es el ingreso de empresas manufactureras chinas, las cuales debido al bajo costo de manufacturación del equipo pueden ofrecer precios mucho más atractivos para las compañías, sin embargo, no cuentan con un respaldo histórico en temas de calidad la calidad de los equipos, como si cuentan la mayoría de los proveedores en el mercado.

La entrada de un nuevo participante al mercado desde cero tiene un costo bastante elevado debido al alto costo capital y de trabajo necesario para llegar desde el diseño de un equipo hasta la comercialización de este. Es por esto que si una empresa quiere ingresar al mercado debe tener la solidez financiera suficiente para lograr subsidiar los periodos con pérdidas.

7.2.2. Poder de los proveedores

Los principales proveedores para las empresas manufactureras de equipos son las empresas dedicadas a la construcción de motores como lo son MTU, Volvo, Cummings entre otras. Estas empresas son de carácter mundial y tienen participación en variadas industrias, por lo que la venta de motores a empresas proveedoras de equipos mineros representa solo una pequeña porción de su mercado.

Además la venta de un equipo permite a la empresa representante del motor utilizado entregar sus servicios aftermarket al cliente, aumentando así sus ingresos.

¹⁰ <http://www.mch.cl/2016/09/02/ghh-inauguro-casa-matriz-chile/#>

Es por esto que los proveedores no tienen intereses en ejercer su poder para subir precios e integrarse de manera vertical es un proceso largo y costoso.

7.2.3. Poder de los sustitutos

El sustituto natural de los scoop para el carguío y transporte en la minería subterránea sería un sistema minería continua. Sin embargo, esta tecnología aún se encuentra en etapa de prueba para la gran minería de roca dura, por lo que no podría ser considerado como un sustituto de los equipos de carguío por el alto nivel de penetración que tienen estos en el mercado.

En cambio, si se considera que la comercialización del equipo se da bajo un escenario de renovación de flota de las empresas mineras, si existen sustitutos que pueden reemplazar perfectamente al equipo. El sustituto natural a la compra de un LHD híbrido sería optar por uno accionado mediante diésel. Sin embargo, vale la pena considerar otras opciones como sustitutos.

Una opción que permite atrasar la compra de nuevos equipos a un costo mucho menor y que ha aumentado considerablemente su uso debido a las condiciones actuales del mercado es la reconstrucción de equipos que estén en uso, mantención conocida como Overhaul. Esta opción consiste en la reparación y/o sustitución de componentes mayores de los equipos. Entre los componentes que más se reparan y/o se sustituyen destacan son el sistema de propulsión, sistemas hidráulicos, motores, transmisiones, convertidor de torque además de actualizaciones y extensiones de garantía. El Overhaul permite alargar la vida útil de un equipo, con un costo considerablemente menor que la compra de nuevos equipos. Dicho costo puede llegar a ser un 50% del valor de venta de un equipo nuevo, si lo que se busca es duplicar la vida útil.

Otro sustituto posible es la utilización de los LHD en base a baterías eléctricas (. Estos scoop se encuentran prácticamente en la misma etapa que el 18HD, comenzando su etapa comercial. Sin embargo, no representa un sustituto a al quipo híbrido ya que debido a sus dimensiones y capacidad menores es utilizado para otras funciones.

7.2.4. Poder de los compradores

El poder del comprador depende casi exclusivamente del tamaño de la empresa. Por ejemplo El Teniente, al ser la mina subterránea más grande del mundo tiene un poder de negociación muy alto ya que es un foco de interés para los principales proveedores de equipos por el alto parque que tienen. Este alto poder de negociación se ve reflejado en los bajos precios a los cuales pueden llegar a comprar los equipos y que a pesar de todas las condiciones que establezcan en las licitaciones siempre llegan ofertas de los proveedores principales.

Un ejemplo de lo anterior se puede ver en la Figura 39 en donde el año 2015 el precio del LH517, modelo adquirido por División El Teniente en el último tiempo, fue inferior al precio promedio por el cual se compraron los modelos con capacidad nominal de 14 toneladas.

En el caso de las empresas mineras que son consideradas como mediana minería el escenario es bastante distinto ya que las decisiones de compra de nuevos equipos se ven altamente afectadas por el precio y por el financiamiento que puedan lograr ya que

al no requerir una cantidad de equipos tan alta como las grandes mineras no pueden acceder a precios tan atractivos como los señalados anteriormente.

Otro caso bastante peculiar es el que se da en las compañías más pequeñas, las cuales adquieren sus equipos mediante remates de equipos dados de baja debido al incumplimiento de ciertos estándares de control de fatalidades, los cuales son reparados para que puedan seguir operando por un tiempo mayor.

En cuanto a la integración vertical de los clientes el único interés radica en el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías que permitan mejorar sus índices operacionales y en ninguna manera desarrollar sus propios equipos.

7.2.5. Rivalidad entre los competidores

La rivalidad entre las empresas que dominan el mercado es bastante alta y se puede diferenciar a dos niveles, nacional e internación. La competencia a nivel internacional tiene relación con las estrategias centrales de cada compañía, mientras que la competencia a nivel nacional tiene relación con la estrategia para mantener y generar nuevos clientes.

En cuanto a nivel de estrategias la tendencia de todas las empresas manufactureras de equipos es apuntar progresivamente hacia la full automatización con el fin de aumentar la productividad debido a la mayor velocidad y utilización que podrían lograr los equipos. La automatización, y también la operación remota, juegan un rol importante en la seguridad de los trabajadores ya que permite sacar a los operadores de la frente de trabajo, este es un beneficio clave en los proyectos de minería subterránea que cada vez se construyen en profundidades mayores, aumentando así los riesgos a los cuales son sometidos los trabajadores.

Otra estrategia que han implementado las principales empresas es el desarrollo de tecnologías que puedan reemplazar al Diésel. La solución por la cual han optado los proveedores es el desarrollo de un LHD eléctrico a batería, el cual debido a las limitaciones existentes a las baterías solo tiene un par de horas de autonomía y son de baja capacidad.

La rivalidad a nivel nacional tiene que ver con la prestación de servicios que los proveedores entregan a sus clientes como lo son venta de repuestos, soporte técnico, capacitaciones, mantenciones, etc.

8. Conclusiones

El equipo híbrido muestra un gran potencial y puede llegar a ser una real alternativa para el uso de equipo diésel. Sin embargo aún falta implementar la tecnología a un nivel operacional, para así poder cuantificar los beneficios que genera al cliente en comparación a los equipos diésel.

Los beneficios más importantes del equipo híbrido que permiten una disminución en el costo total equivalente del cliente son aquellos relacionados al mantenimiento como: disponibilidad, menores costos de mantención, tiempo entre fallas; y el mejoramiento en la productividad. El costo de combustible en la minería rodea aproximadamente el 5% de los gastos operacionales, por lo que una reducción de consumo de 30% solamente en los equipos de carguío no se traduce en ahorros significativos para el cliente. En cuanto a los menores requerimientos de ventilación, estos van a variar significativamente entre una operación y otra ya que en algunas faenas el mayor consumo de ventilación es para el polvo en suspensión y no dilución de partículas diésel.

Para determinar el real potencial del equipo Híbrido, la primera implementación de esta tecnología a través de la prueba a realizarse en División El Teniente es fundamental ya que permitirá comprobar si los beneficios que genera son capaces de contrarrestar el alto costo de inversión del equipo. Además, esta prueba entrega la oportunidad a Joy Global de demostrar que puede ser considerado como una alternativa confiable a los proveedores tradicionales de la minería subterránea.

El mercado de las empresas proveedoras de equipos subterráneos en Chile está ampliamente dominado por Atlas Copco, Sandvik y Caterpillar. En particular, Sandvik ha aumentado considerablemente la venta de sus equipos LHD debido principalmente a las variadas licitaciones adjudicadas de compra de equipos de División El Teniente. Es justamente este el último el cliente más dominante en el mercado debido a su gran demanda de equipos, aprovechando su condición para obtener precios más bajos. Esto se contrapone con el alto costo del equipo, lo que puede traducirse en dificultades para futuras licitaciones.

La mediana minería es un importante sector económico del país, a pesar de la poca producción de cobre en relación a la gran minería, y que además cuenta con políticas de fomento por parte del estado. Este sector representa, a pesar de históricamente utilizar equipos de menor capacidad, un alto potencial para futuros clientes ya que los servicios relacionados con el mantenimiento y las soluciones financieras que entrega Joy Global pueden llegar a ser bastante atractivos para este tipo de empresas.

Sin embargo, el mercado ofrece varias oportunidades para la comercialización del equipo. Las proyecciones del precio del cobre prevén un alza para los próximos años, lo que permitiría la realización de proyectos postergados en la mediana minería. Además en los próximos años se espera la puesta en marcha de los principales proyectos estructurales de Codelco, ambos minería subterránea con una producción superior a las 130 mil toneladas por días cuando entren a régimen, lo que aumentaría considerablemente la demanda por equipos LHD.

Otra oportunidad que ofrece es el envejecimiento de las flotas de LHD en Chile. Este envejecimiento está provocando que los equipos se estén acercando, y en algunos casos, la vida útil para la cual fueron diseñados y se debe a que la mayoría de las empresas adquirió sus equipos en el último ciclo de precios altos (2011 – 2012) produciendo una caída en el número de importaciones de scoop en los años siguientes. Las mineras para hacerle frente a esta situación han incurrido en realizar mayores servicios de Overhaul, para así alargar la vida de útil y postergar la decisión de compra.

Para que el equipo tenga buenas probabilidades de ser comercializado con éxito en el país se debe trabajar con las oportunidades que ofrece del mercado y colocando especial énfasis en el servicio aftermarket, que cada vez se ha vuelto más relevantes para los clientes. En este aspecto Joy Global debería destacarse por sobre la competencia debido a la larga experiencia que tiene entregando distintos servicios en la minería a cielo abierto.

9. Bibliografía

Baez, F N. (2016). 'Intelligent Mining' – the Way of the Future in Proceedings Seventh International Conference and Exhibition on Mass Mining (MassMin 2016), pp 3-8 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).

Chadwick, J. 2016. Global Rebuild Popularity. International Mining. November 2016: 3.

Charlie Ekberg en Revista Minería Chilena: "La full automatización será la cuarta revolución industrial" - Atlas Copco Chile. (2017). Atlascopco.cl. Retrieved 29 March 2017, [en línea] <http://www.atlascopco.cl/cles/aboutus/aparicionesenprensa/charlie-ekberg.aspx>. [Consulta 29 marzo 2017]

Chaparro R. (2002) Aplicación de equipos eléctricos en mina subterránea División Andina. Memoria de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Universidad de Chile.

División Andina (2016) Informe Mensual de Gestión Operacional. Mayo 2016

Editorial EDITEC (2013). Catastro de Equipamiento Minero 2013/14. Santiago. Editorial EDITEC

Flores, G. (2014). Future challenges and why cave mining must change. In *Proceedings of the 3rd International Symposium on Block and Sublevel Caving, Santiago, Chile* (Vol. 5, pp. 23-52).

González, J. 2009. Estrategia de posicionamiento de Mercado para una empresa distribuidora de equipos mineros. Tesis de magister en Gestión y Dirección de empresas. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Gustafson, A., Schunnesson, H., Galar, D., & Kumar, U. (2013). Production and maintenance performance analysis: manual versus semi-automatic LHDs. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 19(1), 74-88.

Hernández, S. 2016. Situación de la Mediana Minería. En: MEDIANA MINERA, Medmin 2016. Santiago, Chile. Sociedad Nacional de Minería (SONAMI) y Techopress.

Jacobs, W. 2013. *Electric LHDs in Underground Hard Rock Mining: A Cost/Benefit Analysis* (Doctoral dissertation, University of Western Australia).

Jacobs, W., Hodkiewicz, M. R., & Bräunl, T. 2015. A Cost–Benefit Analysis of Electric Loaders to Reduce Diesel Emissions in Underground Hard Rock Mines. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(3), 2565-2573.

Jamasmie, C. 2016. Japan's Komatsu is buying Joy Global for \$3.7 billion [en línea] MINING.com < <http://www.mining.com/japans-komatsu-is-buying-joy-global-for-3-7-billion/> > [consulta: 13 marzo 2017]

JOY GLOBAL, 2016 Joy Global presents new Joy hybrid diesel LHD line at MINExpo INTERNATIONAL@2016 [en línea] MINING.com <<http://www.mining.com/web/joy-global-presents-new-joy-hybrid-diesel-lhd-line-at-minexpo-international2016/>> [consulta: 21 enero 2017]

Joy Global, 2016. 18HD 2202 Service manual [pdf]

Kim, C. J. (2009). Diseño y evaluación técnico económica de un nuevo sistema de carguío y transporte para la minería de hundimiento. Memoria de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Universidad de Chile.

Kulmala, T. 2016. Renacida, reconstrucciones Sandvik. Solid Ground 1.2015:16-19.

Laubscher, D. H. (2003). Cave mining handbook. *De Beers, Johannesburg*.

Lyten, M. (2014) Project Matador – SR Drive and KESS Functionally. (Documento interno)

Martcorena, J. (2016) Chile pierde terreno como productor de cobre, en medio del desplome del metal. [En línea] La Tercera en Internet. 17de enero de 2016. < <http://www.latercera.com/noticia/chile-pierde-terreno-como-productor-de-cobre-en-medio-del-desplome-del-metal/> > [consulta: 01 diciembre 2016]

- Matikainen, R. (1991) How to increase LHD productivity in hard rock mining. Proceedings International Conference: Reliability, Production and Control in Coal Mines (pp. 85-88). The Australasian Institute of Mining and Metallurgy
- Moore, P. (2016) Availability with attitude. International Mining magazine, June 2016: 22-38
- Moreno F, I. 2015. Mediana Minería en Chile - Desafíos futuros En: Seminario Medmin, Editorial Editec.
- NEWCREST. Cadia Valley, NSW [en línea] <http://www.newcrest.com.au/our-business/operations/cadia-nsw/> [consulta: 30 agosto 2016]
- Orellana, G. (2016) Cartera de proyectos estructurales sufrió profundos cambios. [En línea] La Tercera en Internet. 02 de diciembre de 2016. <<http://diario.latercera.com/2016/12/02/01/contenido/pais/31-228187-9-cartera-de-proyectos-estructurales-sufrio-profundos-cambios.shtml>> [consulta: 21 diciembre 2016]
- Paraszczak, J., Laflamme, M., & Fytas, K. (2013). Electric load-haul-dump machines: real alternative for diesels?. *CIM Journal*, 4(1), 13-19.
- Paraszczak, J., Svedlund, E., Fytas, K., & Laflamme, M. (2014, April). Electrification of Loaders and Trucks—A Step Towards More Sustainable Underground Mining. In *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'14)*. Cordoba, Spain.
- Paterson, W., & Knights, P. (2013). Management of trailing cables on electrically powered load-haul-dump units. In *Mining Education Australia (MEA) Student Conference* (pp. 67-74). The Australasian Institute of Mining and Metallurgy (AusIMM).
- Ross, I. (2008). Northparkes E26 Lift 2 block cave – A case study. *Proceedings of Massmin*, 25-34.
- Sandvik. 2016. Sandvik enables automation that mines are ready for. [en línea] Mining.com <<http://www.mining.com/web/sandvik-enables-automation-that-mines-are-ready-for/>> [consulta: 03 de marzo de 2017]
- Silva, F. (2016) Comparación entre equipos LHD mecánico vs LHD híbrido 18HD En: U-MINING 2016: Desafíos y oportunidades de la minería de hoy. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Tita, B. 2016. Caterpillar paga el precio de sus altas apuestas. [en línea] The Wall Street Journal. 17 de octubre, 2016. < <https://www.wsj.com/articles/SB12736863293049773839404582380793761481930>> [consulta: 30 de marzo de 2017]
- TUCK, Michael A. Mine Ventilation. *SME Mining Engineering Handbook*, 2011, p. 1577-1594.
- Varaschin, J. (2016). The Economic Case for Electric Mining Equipment and Technical Considerations Relating to their Implementation.
- Weston, A J. (2016). The evolution of block caving technology, in Proceedings Seventh International Conference and Exhibition on Mass Mining (MassMin 2016), pp 265–274 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Zablocki, A. 2013. La industria minera del cobre en Chile con enfoque en minería subterránea – Una visión general, desafíos y tendencias En: 8ª Jornada Ibero-Americana Técnico-Científica de “Medio Ambiente Subterráneo y Sustentabilidad” MASyS2013-2, Congreso Iberoamericano de Minería Sustentable
- Zablocki, A. 2016. Evolution of Mechanization in Chilean Private Underground Mines over the Last 30 Years. En: MININ 2016: 6th International Conference on Innovation in Mine Operations. Gecamin

ANEXO A

Hojas de especificaciones de equipo hibrido 18HD

JOY18HD



Load Haul Dump - Diesel Hybrid



Note: Indicative illustration only, machine design may vary.

Operating capacities, weights and dimensions

Bucket capacity*	7.2 m ³	9.42 yd ³
Static tipping loads	396 kN	88,890 lbs
Breakout force (tilt)	349 kN	78,500 lbs
Operating weight	49,900 kg	110,000 lbs

*Standard rock bucket based on a material density of 2,500 kg/m³ (4,213 lb/yd³).

Working ranges

Engine rated power		
Production	280 kW	375 hp
Development	360 kW	482 hp
Hybrid power**	410 kW	550 hp

Payload	18,000 kg	39,700 lbs
---------	-----------	------------

Bucket capacity: 8.2 m³/10.7 yd³ and 9.0 m³/11.8 yd³ bucket options available

**Hybrid power available for acceleration events.

Power module

Diesel power options

MTU detroit diesel engine Model	US tier IV final/EU stage IV Series 1100, 10.6 litre	US tier IV final/EU stage IV Series 1300, 12.8 litre
Type	Six cylinders	Six cylinders
Rated engine power	Four-cycle turbo charged 280 kW (375 hp) @ 1800 rpm	Four-cycle turbo charged 360 kW (482 hp) @ 1800 rpm

Note: The 280 kW engine option is most suitable for production level operations such as block/panel caving, where fuel efficiency and emission output are highly critical. The 360 kW engine option is most suitable for multipurpose applications where the machine is required to work on declines or steep grades.

The independent power module mounting system, consisting of the engine coupled to the SR generator, is cradled within the rear frame by a three-point isolation system.

Radiator/oil cooler module

- Replaceable tube type, over-under split flow
- Thermostatically controlled, variable speed hydraulic motor-driven, radiator-mounted fan

Exhaust system

MTU Tier IV final exhaust after treatment catalyst box

Control system-LINCS II

CAN Based Vehicle Control Unit incorporating high speed monitoring and advanced diagnostics including integrated data logging and storage.

LINCS II uses a dash mounted full color touch screen display as the operator interface. Out of range conditions will cause an audible alarm along with a message screen that is color coded to indicate severity.

In addition, the touch screen display provides repair technicians with operational data and fault messages.

LINCS II load weigh

Displays real-time load data, cycle times, production rates and operational profile.

- Memory capable of retaining months of production information
- JoySmart remote monitoring connectivity available for additional diagnostics and productivity analysis
- Capable of interfacing with radio dispatch systems for on-site real-time monitoring

Steering and hoisting system

Steering
Steering function is controlled by a single joystick. Constant engine rpm assures full hydraulic steering response.

Articulation angle	46°
---------------------------	-----

Turning radius		
Outside	7.3 m	23 ft 11 in
Inside	3.4 m	11 ft 1 in

Hoist and bucket control

Hoist and bucket control functions are incorporated into a single joystick control. The proportional electro-hydraulic controlled hoist and bucket system is independent of the steering system.

Standard/high lift cycle times:

Hoist	8.2 seconds
Dump	2.2 seconds
Float	3.4 seconds
Total	13.8 seconds

Operator's cabin

Features

- ISO ROPS/FOPS design, rubber mounted for comfort
- Foot box for improved operator ergonomics
- Refrigerated climate control system
- Door interlock sets park brakes, blocks steering movement once the machine is stationary and bucket and boom functions immediately
- Door movement damper to control door movement
- Adjustable air seat suspension with four (4) point harness
- External noise 115 dB(A) to ISO 6395
- Internal cabin noise 79.5 dB(A) to SAE J919

Electrical propulsion system

Switched Reluctance (SR) Technology
Electrical Propulsion System

- Digital microprocessor controlled traction drive
- Switched Reluctance (SR) drive advantages include:
 - No commutator, brushes or rotor windings on SR motors or generator
 - SR KESS - Kinetic Energy Storage System
 - Parts commonality - power conversion modules identical for motor, generator and SR KESS

Travel speed
Forward and reverse 0-27 km/h (0-16.78 mph)

Generator

- G40 SR Generator
- Switched Reluctance (SR)

Traction motors

- B9 SR motor (water cooled)

Planetary gearing
Model 29A

- In-line gear train mounted within the rim of the tire, transmitting power from the traction motor through the tire/rim assembly
- A four-stage planetary drive unit in each position
- Total reduction: 92.63:1

Hydraulic system

Pumps (Maximum flow rate at 1800 rpm)			
Bucket and hoist	Piston	234 L/min	62 gpm
Fast hoist	Piston	234 L/min	62 gpm
Accessory	Piston	171 L/min	45 gpm
Steering	Piston	171 L/min	45 gpm
Accessory	Piston	171 L/min	45 gpm

Valves			
Main	Two (2)	221 L/min	175 gpm
	Pump pressure	27,580 kPa	4,000 psi
Steering	One (1)	341 L/min	90 gpm
	Pump pressure	27,580 kPa	4,000 psi

Cylinders		
Double acting, single-stage (diameter and stroke), (standard and high lift)		
Hoist	190 mm x 1168 mm	7.5 in x 46 in
Bucket	241 mm x 508 mm	9.5 in x 20 in
Steering	140 mm x 610 mm	5.5 in x 24 in

Braking system

Primary brake system
Electric dynamic braking system is controlled from the accelerator pedal and can bring the loader to a full stop without application of mechanical brakes.

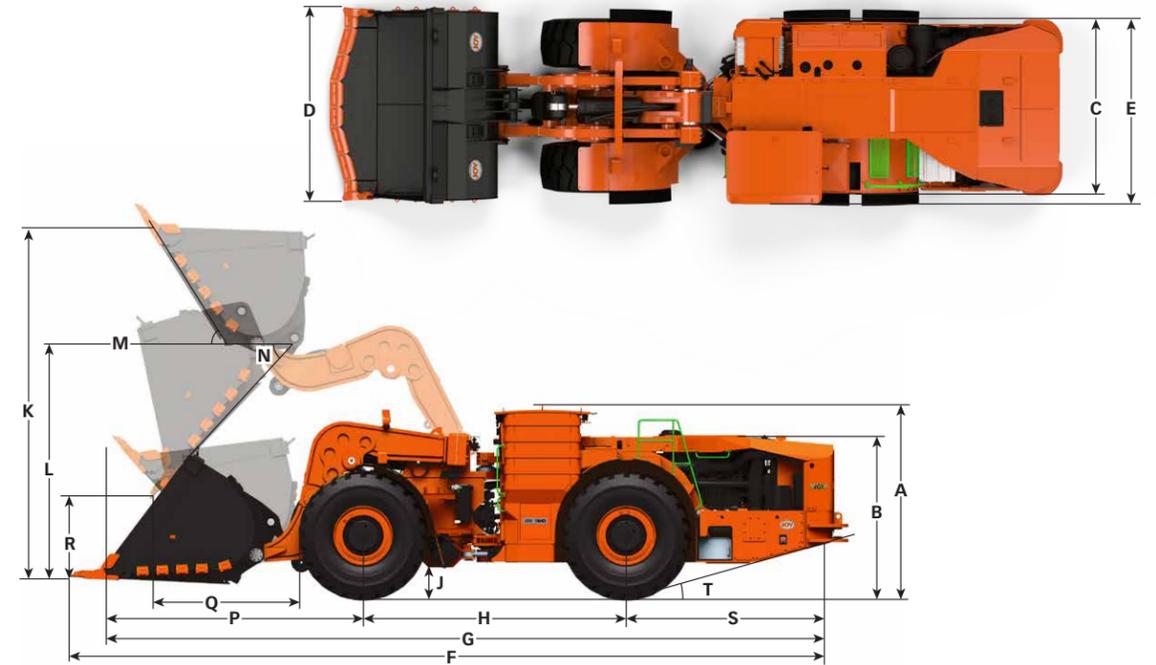
Secondary brake system
Air modulated traction motor speed disc brakes

- Single disc and caliper on each traction motor (4)
- Emergency fail safe brakes are spring applied in the event of hydraulic pressure loss

Parking brake system
Spring applied, hydraulic release traction motor speed disc brakes

24V electrical system

- 150 amp alternator
- Modular IP67 wiring system
- Lockable, dual isolation switch system
- Separate, fully isolated auxiliary power supply for fire suppression and radio systems
- 16 x 50 watt LED driving and work lights



Overall dimensions	(7.2 m³ bkt)	(9.0 m³ bkt)
A Height over cabin	2.9 m 9 ft 5 in	
B Height over power unit	2.5 m 8 ft 1 in	
C Vehicle width across tires	2.8 m 9 ft 2 in	
D Width across bucket	3.1 m 10 ft 2 in	
E Max. rear frame width	2.8 m 9 ft 2 in	
F1 Vehicle length digging (GET)	11.4 m 37 ft 4 in	11.7 m 38 ft 5 in
G1 Vehicle length hauling (GET)	11.0 m 36 ft 0 in	11.2 m 36 ft 9 in
F2 Vehicle length digging (No GET)	11.2 m 36 ft 8 in	11.5 m 37 ft 10 in
G2 Vehicle length hauling (No GET)	10.8 m 35 ft 6 in	11.0 m 36 ft 3 in
H Wheelbase	4.1 m 13 ft 4 in	
J Ground clearance	0.4 m 1 ft 4 in	
K Bucket height fully raised	5.9 m 19 ft 4 in	
L Hinge pin height	4.1 m 13 ft 6 in	
M Roll back angle	48°	
N Dump angle	53°	
P1 Wheel center to bucket - carry (GET)	3.6 m 11 ft 9 in	3.8 m 12 ft 7 in
P2 Wheel center to bucket - carry (No GET)	3.4 m 11 ft 2 in	3.3 m 10 ft 10 in
Q1 Tire to bucket - dump (GET)	1.9 m 6 ft 1 in	2.0 m 6 ft 8 in
Q2 Tire to bucket - dump (No GET)	1.8 m 5 ft 9 in	2.0 m 6 ft 7 in
R Dump height	2.9 m 9 ft 6 in	
S Wheel center to rear bumper	3.3 m 10 ft 11 in	
T Departure angle	15°	

Air filtration

Primary
Dual safety filters for engine air intake with Sy-Klone™ Dome precleaner.

Fluid capacities

Fuel	757 L	200 gal
Hydraulic	473 L	125 gal
SR converter cooling system	18.9 L	5 gal
Engine cooling system	56.8 L	15 gal
Engine oil	37.8 L	10 gal
Planetaries (each)	7.6 L	2 gal

Structural

Frames are fabricated from high strength, low-alloy steel with excellent weld characteristics and extreme low temperature properties. The front axle is an integral, fixed part of the front frame. The rear axle center oscillates eight degrees.

Unique forged ball and socket joints are utilized in multiple pivot locations (lift arms, rear axle, frame articulation, hoist cylinders). These joints are superior in absorbing and distributing multi-directional stresses. Features easily replaceable brass liners for long life and easy maintenance.

High strength castings are used in key areas of fabricated structures to reduce stress and improve structural life.

Standard features

Tires/rims

Tires	29.5 R29 L4
Rims	29 x 25 with 3.5" flange

Standard equipment

- Air conditioning/heater-defroster (filtered and pressurized)
- Air tank bleed system
- Adjustable automatic lift height cut off
- Automatic bucket leveling control
- Back-up alarm, audible
- Battery disconnect switch
- Lift arm and articulation locks
- Brake lights
- Central service with fast fuel
- Data analysis and viewing software
- Data logging - downloadable production and maintenance logs
- Door interlock on operators cabin
- Drawbar with tow points
- Electric horn
- Emergency stop buttons (cab and remote mounted)
- Fire extinguisher, manual, 20 lb (9.07 kg)
- FOPS - Falling Object Protection System
- Idle timer
- Interior lights
- Isolation monitor
- Joystick hoist and bucket control
- Joystick steering control
- Jump start
- Emergency steering
- LED working lights
- LINC II alarms
- LINC II load weigh and monitoring
- Operator seat (11-way adjustable)
- Overspeed alarm
- Parking brake
- Retractable four point over shoulder harness
- ROPS - Rollover Protection Structure
- Selectable throttle switch
- Starter disconnect switch
- Safety glass throughout
- Turn signals
- Twelve (12) volt power supply in cab
- Twelve (12) volt power port (2)
- Windshield washer reservoir 2.6 gal (9.8 L)
- Windshield wiper and washer (all cab glass)
- Automatic lubrication system
- Manuals: operators, parts (Link One), maintenance and service
- Kinetic Energy Storage System (KESS)
- Removable planetary middle pinion (x4)
- Integrated underside protection system
- Color coded and labelled lifting points

Optional features

- Beacon light kit
- Bucket GET options available
- Hood mounted hand rail kit
- Diesel particulate filter
- Fast fuel
- Fire detection and suppression system (manual)
- Fire suppression system (manual)
- Fluid sampling kit
- Lift arms - high lift
- PreVail remote health monitoring system
- Ride control system
- Video camera (360 degree)
- Tire pressure monitoring system

Buckets

7.2 m³, 8.2 m³, 9.0 m³

Bucket hardware options

- Joy GET system
- Skid plates (replaceable)
- Lip wear protection

For actual bucket configuration and sizing, consult your local representative.

Remote control/automation system

- RCT Control Master - Remote, teleremote and operator assist system for line of sight or remote operation of the machine
- CAN interface between remote hardware and machine control
- Safety system/fail safe system inter-connectivity hard wired to RCT module (emergency stop, fire system, park brake)
- Functional safety to ISO 62001

JOYGLOBAL



Product designs, specifications and/or data in this document are provided for informational purposes only and are not warranties of any kind. Product designs and/or specifications may be changed at any time without notice. The only warranties that apply to sales of products and services are Joy Global's standard written warranties, which will be furnished upon request.

Joy Global, Joy, Montabert, P&H, Le Tourneau, LINC II, Klenz, PreVail and related logos are trademarks of Joy Global Inc. or one of its affiliates.

© 2016 Joy Global Inc. or one of its affiliates. All rights reserved.

EN-J18HDLHDDH01-0716-V1

joyglobal.com