



# Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre

---

DE 16/2016

## Resumen Ejecutivo

Los insumos críticos son aquellos cuya situación de abastecimiento podría ser crucial para un proyecto u operación minera en el mediano y largo plazo. La criticidad está en función del riesgo de desabastecimiento, la alta dependencia de las importaciones, el monopolio de los insumos, como también el peso relativo del insumo en la estructura de costos.

Este trabajo surge de la aplicación de la metodología elaborada por Cochilco para identificar insumos críticos en la minería. En la segunda versión de este estudio se analizan 6 insumos relevantes para la minería: Cal, Bolas de Molienda, Camiones de Extracción, Palas de Carguío, Neumáticos Off The Road y Floculantes. Se debe tener presente que Cochilco, además hace seguimiento a otros insumos relevantes para la minería, como lo son el agua, energía eléctrica, ácido sulfúrico y capital humano.

Los objetivos del estudio son conocer el mercado de aquellos insumos considerados como críticos, y, por otra, focalizar los esfuerzos para hacer seguimiento dichos insumos.

### Cal

Existen dos empresas que producen cal para la minería en Chile, siendo Inacal la que concentra el 92% de la capacidad de producción a nivel nacional. La oferta de cal viva producida en el país bordea el millón de toneladas y podría incrementarse a 1,5 millones de toneladas si se concreta el proyecto de Sopromin en Tocopilla, la entrada en operación de la planta de 165 ktpa en la región de Atacama y la eventual entrada en operación de un proyecto que se concretaría en el año 2020, pero que aún se encuentra en la etapa inicial de formulación y cuya capacidad bordearía las 200 mil toneladas al año.

Durante el año 2015, las importaciones de cal viva se mantuvieron cercanas a las 400 mil toneladas, siendo Sibelco y Cefas las que lideraron dichas internaciones con una participación que en conjunto suma 72%.

Para el periodo 2016-2025 se espera un menor consumo de cal en comparación con las proyecciones de la primera versión de este informe (-2.060 miles ton). Tomando en consideración los actuales niveles de importaciones de cal y la capacidad de producción a nivel nacional, el abastecimiento de cal para la minería y otros usos está asegurada hasta el año 2022. De ahí en adelante, el abastecimiento depende del nivel de concreción de los proyectos mineros y de la estrategia para satisfacer la nueva demanda (aumento de producción nacional y/o aumento de importaciones de cal).



El valor CIF<sup>1</sup> de las importaciones de cal ha crecido en forma sostenida desde el año 2009 (+63%).

### **Bolas de Molienda**

Existen 3 empresas que producen bolas de molienda para la minería en Chile, siendo Moly-Cop la que concentra el 80,4% de la capacidad instalada de producción. Adicionalmente, se espera que a partir del año 2017, comience a producir una nueva planta de bolas de acero forjado para la minería perteneciente a la empresa Aceros Chile y cuya capacidad es de 48 mil toneladas, aumentando la capacidad de producción local en 8% (586 a 634 ktpa).

A partir del año 2010 cobran relevancia las importaciones producto de la constitución de una sociedad Joint Venture en China por parte de Elecmetal para la fabricación de bolas de molienda. En el año 2015, las importaciones de bolas de molienda alcanzaron las 157 miles toneladas y el 97% correspondió a bolas de tipo forjado. Elecmetal y Codelco son los mayores importadores de bolas de molienda con un 66% y 20%, del volumen total importado, respectivamente.

El modelamiento de la demanda señala que se estarían consumiendo 466 mil toneladas de bolas de acero al año, pudiendo llegar a las 779 mil toneladas en el 2025, en el caso de concretarse íntegramente la cartera de proyectos mineros. La capacidad instalada actual de bolas de molienda satisface con holgura la demanda de bolas de molienda en la minería. De concretarse íntegramente la cartera de proyectos mineros tomaría aún mayor relevancia el abastecimiento externo (importaciones).

El valor CIF de las importaciones de bolas de molienda forjadas (con mayor demanda en la minería), han caído desde el año 2012, así como también el valor CIF de las barras de acero utilizadas para la fabricación de bolas forjadas en Chile.

### **Camiones de extracción**

Las marcas de camiones de extracción con mayor presencia en las operaciones de la Gran Minería del cobre en Chile son Caterpillar, Komatsu y Liebherr.

Respecto de la Gran Minería del cobre, en el periodo 2002-2015 se importaron 1.132 unidades de camiones de los modelos más utilizados. El peak de las importaciones se logró el año 2012 (201 unidades), para luego disminuir y alcanzar las 24 unidades en el 2015.

En base al modelamiento realizado, para el periodo 2016-2025 la Gran Minería requerirá 554 unidades de camiones de extracción nuevos y la Mediana Minería 101 unidades.

A partir del año 2013 hay un comportamiento disímil de los precios de las unidades de camiones de mayor tonelaje (algunos modelos suben y otros bajan). En relación con las unidades de menor tonelaje se observa un comportamiento relativamente estable en los precios.

---

<sup>1</sup> Cláusula de compraventa que incluye el valor de las mercancías en el país de origen, el flete y seguro hasta el punto de destino.

### **Palas de carguío**

Las marcas de palas de carguío más utilizadas en la Gran Minería del Cobre son P&H, Caterpillar y Komatsu.

Del análisis de una muestra de operaciones mineras (75% de la producción nacional), se observa que las palas de cable son las más utilizadas (73% del parque de palas). La antigüedad promedio del parque de palas de cable e hidráulicas de la muestra es de 15 y 9 años, respectivamente.

En el periodo 2002-2015 se importaron 96 unidades de las marcas de palas analizadas en este estudio, alcanzando el peak en el año 2012 (18 palas), para luego disminuir y registrar sólo 4 unidades en el año 2015.

Existe un aumento sostenido del valor CIF de las unidades de palas importadas hasta el año 2013, para luego comenzar a disminuir.

### **Neumáticos Mineros Off the Road (OTR)**

Los principales importadores de neumáticos OTR (de las dimensiones analizadas), son Bridgestone y Michellin que en conjunto suman el 85% del valor total importado en el 2015. Las importaciones de neumáticos efectuadas directamente por las Empresas Mineras representan el 14%, donde destacan Codelco y, en años anteriores, Minera Escondida.

Las importaciones de neumáticos OTR tuvieron un aumento sostenido hasta el año 2013 (351 millones US\$ CIF). A partir de dicho año se viene observando una caída de las importaciones, llegando a los 209 millones US\$ CIF en el 2015, producto de la desaceleración del sector minero.

La proyección de la demanda de neumáticos aro 57" y 63", asociada sólo a los camiones de extracción cuya capacidad supera las 150 toneladas, indica que se requerirán cerca de 50.000 unidades para el periodo 2016-2025. Dicha cifra considera neumáticos para las actuales unidades de camiones en operación de los modelos analizados en este estudio (789, 793, 797 de Caterpillar y 730E, 830E, 930E de Komatsu), como también para las nuevas unidades que serán adquiridas

En relación con el precio, a mayor tamaño del neumático mayor es la variación de los valores CIF en el periodo analizado (2005-2015). Para los neumáticos de mayores dimensiones se observa un alza sostenida de los precios que se detiene en el año 2013. Sin embargo, dicha situación no es tan clara para los neumáticos de menores dimensiones, donde la evolución de los valores CIF presentan variaciones menos significativas.

### **Floculantes**

Los floculantes ocupados por las principales empresas de la gran minería del cobre son importados y están disponibles bajo distintas marcas comerciales. Los principales fabricantes son SNF, Basf, Kemira y Orica.

La elección del floculante adecuado se hace mediante pruebas de laboratorio y, por lo tanto, es poco probable la sustitución inmediata del uso de una determinada marca por otra.



El consumo de floculante para el periodo 2016-2025 tiene directa relación con las proyecciones de mineral de sulfuro procesado en las plantas concentradoras y podría experimentar un aumento del 67% al 2025, pasando de las actuales 9 mil a 15 mil toneladas de floculante al año.

Si bien las marcas analizadas presentan diferencias en sus valores CIF, algunas presentaron su máximo nivel en el año 2014, para luego comenzar a caer y otras muestran un comportamiento relativamente estable.

### **Comentario final**

Los insumos críticos son relevantes dentro la estructura de costos de una operación minera y, por lo tanto, su comercialización genera importantes ingresos para las empresas que los proveen. En general, se visualiza que los mercados analizados tienden a presentar una estructura oligopólica y en algunos casos existe un proveedor que claramente es el dominante.

Desde el punto de vista del origen de los productos, salvo en la producción de cal y de las bolas de molienda, el resto de los insumos analizados (camiones, palas de carguío, neumáticos OTR y floculantes), es provisto por fabricantes que tienen sus plantas de producción fuera de Chile, es decir, se trata de insumos que se deben importar. Es más, durante los últimos años la participación de mercado de aquellos insumos que son producidos localmente, se ha visto amenazado por las importaciones.



## Índice

<b>1. Introducción y objetivos .....</b>	<b>8</b>
<b>2. Cal .....</b>	<b>9</b>
2.1. Ciclo de la Cal .....	9
2.2. Usos de la Cal .....	10
2.3. Oferta de Cal .....	12
2.3.1. Producción Nacional .....	12
2.3.2. Importaciones de Cal .....	14
2.4. Demanda de Cal .....	16
2.4.1. Uso final de la Cal.....	16
2.4.2. Consumo de Cal en la Minería del Cobre.....	17
2.5. Oferta y Demanda de Cal.....	18
2.6. Precio de la Cal.....	19
<b>3. Bolas de molienda .....</b>	<b>21</b>
3.1. Uso de bolas de molienda en minería del cobre .....	21
3.1.1. Grado de llenado y tamaño de las bolas de molienda.....	22
3.2. Oferta de Bolas de Molienda .....	23
3.2.1. Producción Nacional .....	23
3.2.2. Importaciones y exportaciones de bolas de molienda .....	25
3.3. Consumo de bolas de molienda para la minería .....	27
3.4. Oferta y Demanda de Bolas de Molienda.....	29
3.5. Precio Bolas de Molienda .....	30
<b>4. Camiones de Extracción .....</b>	<b>33</b>
4.1. Importaciones de camiones.....	33
4.2. Demanda de nuevos camiones.....	35
4.3. Precio camiones de extracción .....	38
<b>5. Palas de carguío .....</b>	<b>39</b>
5.1. Oferta de palas de carguío.....	39
5.2. Importaciones de palas.....	40
5.3. Precio palas de carguío .....	41
<b>6. Neumáticos Mineros .....</b>	<b>42</b>
6.1. Importaciones de neumáticos .....	42
6.2. Demanda de Neumáticos.....	44
6.3. Precio de neumáticos.....	44
<b>7. Floculantes utilizados en la minería del cobre.....</b>	<b>46</b>
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>50</b>

## Índice de figuras

Fig. 1: Ciclo de la Cal.....	10
Fig. 2: Distribución de las Importaciones por tipo de Cal 2015 .....	14
Fig. 3: Principales empresas importadoras de Cal Viva 2005-2015 .....	15
Fig. 4: Importaciones y capacidad de producción nacional de Cal Viva 2015.....	16
Fig. 5: Participación (%) por uso final de la cal en Chile .....	16
Fig. 6: Consumos estimados de CaO vs Escenario 2015 (miles de ton) .....	17
Fig. 7: Oferta – Demanda de Cal (2016-2025). No incluye importaciones.....	18
Fig. 8: Valor CIF unitario (US\$/ton) de Óxido de Calcio 2005-2015 .....	19
Fig. 9: Tipos de circuitos de chancado y molienda.....	21
Fig. 10: Principales importadores de bolas de molienda (2005- Mar 2016) .....	25
Fig. 11: País de origen de las bolas de molienda importadas (2005-2015).....	26
Fig. 12: Importaciones y exportaciones de bolas de molienda (miles de ton) .....	27
Fig. 13: Proyecciones de mineral procesado de Cu 2016 vs 2015 .....	28
Fig. 14: Proyección Consumo de Bolas de Acero (2016-2025).....	29
Fig. 15: Oferta – Demanda de Bolas de Acero (2016-2025). No incluye importaciones.....	30
Fig. 16: Valor CIF unitario bolas de molienda forjadas 2009-2016 (Mar) .....	31
Fig. 17: Valor CIF unitario bolas de molienda fundidas 2009-2015 .....	32
Fig. 18: Importaciones de camiones mineros nuevos, por marca, 2002-2015 .....	34
Fig. 19: Importaciones de camiones mineros nuevos, por mercado objetivo, 2002-2015.....	34
Fig. 20: Importaciones de camiones mineros nuevos para la Gran Minería, 2002-2015 .....	35
Fig. 21: Material movido mina a cielo abierto (2016-2025).....	36
Fig. 22: Necesidad de nuevos camiones mineros (2016-2025).....	37
Fig. 23: Valor CIF (Millones US\$/unid) camiones CAEX.....	38
Fig. 24: Unidades importadas de palas de carguío (2005-2015).....	40
Fig. 25: Valor CIF unitario Palas de Carguío 2005-2015 .....	41
Fig. 26: Importaciones de neumáticos (Millones US\$ CIF).....	42
Fig. 27: Unidades de neumáticos importadas según tipo .....	43
Fig. 28: Demanda de neumáticos de grandes dimensiones (2016-2025) .....	44
Fig. 29: Valor CIF unitario neumáticos (US\$/unid).....	45
Fig. 30: Importaciones de principales marcas de floculantes para la minería (MMUS\$ CIF).....	47
Fig. 31: Consumo proyectado de floculantes (ton) .....	48
Fig. 32: Valor CIF unitario promedio de floculantes convencionales (US\$ CIF/kg) .....	48

## Índice de tablas

Tabla 1: Usos de la Cal (Viva, Hidratada e Hidráulica) .....	11
Tabla 2: Principales productores de Cal en Chile para la Minería.....	13
Tabla 3: Grado de llenado .....	22
Tabla 4: Uso de Medios de Molienda.....	22
Tabla 5: Empresas productoras de Bolas de Molienda .....	24

Tabla 6: Categorización de camiones de extracción off the road, según mercado objetivo .....	33
Tabla 7: Palas de Carguío Gran Minería del Cobre.....	39
Tabla 8: N° de palas por marca, modelo y tipo .....	40
Tabla 9: Principales marcas de floculantes utilizados en minería.....	46





## 1. Introducción y objetivos

Los objetivos de este estudio son:

1. Apoyar el crecimiento de la actividad e inversión minera en nuestro país mediante la identificación y conocimiento del mercado de aquellos insumos considerados como críticos.
2. Contribuir al monitoreo de políticas públicas orientadas al desarrollo sustentable de la minería en Chile y a consolidar su aporte al país, mediante la elaboración de estudios que le hagan seguimiento a los insumos críticos.

En la primera versión de este estudio se formuló y aplicó una metodología para identificar de manera razonable la mayoría de los insumos percibidos como críticos en la Gran Minería del Cobre, tanto en la operación (OPEX) como en los proyectos de inversión (CAPEX). Como conclusión surgió la necesidad de hacer seguimiento a aquellos insumos críticos para la minería, con el objeto de identificar, conocer y monitorear las principales determinantes de sus mercados. Al respecto, desde hace un tiempo, Cochilco hace seguimiento permanente a los insumos críticos de alto impacto en la minería como son energía eléctrica, agua, ácido sulfúrico y el capital humano.

En esta tercera versión del estudio se analiza el mercado de 6 insumos mineros:

- Cal,
- Bolas de molienda,
- Floculantes,
- Neumáticos para camiones de extracción Off the Road (OTR),
- Camiones de extracción (CAEX),
- Palas de carguío.

Se tomó contacto con algunas de las empresas proveedoras mencionadas en este estudio con el fin de contar con una opinión experta respecto de los contenidos de este trabajo. En este sentido es importante destacar que los valores de oferta local corresponden, en algunos casos, a estimaciones basadas en información de las propias empresas consultadas y otras fuentes consultadas, mientras que la oferta importada se toma de los registros de aduana. Para el caso de la demanda proyectada, se utilizan estimaciones propias de Cochilco.



## 2. Cal

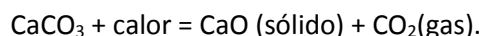
La cal<sup>2</sup> es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza (mineral), a la temperatura de descomposición del carbonato de calcio. En ese estado se denomina cal viva (óxido de calcio) y si se apaga sometiéndola al tratamiento con agua, se le llama cal apagada (hidróxido de calcio). Tal como se explicará más adelante, el principal uso de la cal (cal viva) en minería es como regulador de pH en los procesos de flotación de minerales de cobre sulfurados y de cobre auríferos.

### 2.1. Ciclo de la Cal

Para entender los conceptos de cal viva y cal apagada es necesario conocer el Ciclo de la Cal.

#### Calcinación

La cal se fabrica a partir de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) de alta pureza (calizas), que son sometidos a un proceso de calcinación, en hornos verticales o rotatorios a temperaturas entre los 1.100°C y 1.300°C, lo cual permite la descomposición de éste. La ecuación química que determina la reacción es la siguiente:



El CaO (sólido) se conoce comúnmente como **Cal Viva** y su principal característica es que posee una alta alcalinidad (pH 12) al solubilizarse con el agua, por lo que se utiliza como regulador de pH en la minería y en los procesos industriales, donde es requerida para neutralizar, ablandar y clarificar agua, y para la estabilización de suelos arcillosos.

#### Hidratación

El óxido de calcio es químicamente inestable y al contacto con agua en cualquier estado (líquida, sólida, gaseosa), se transforma en el proceso conocido como hidratación, convirtiéndose en hidróxido de calcio Ca(OH)<sub>2</sub>, comúnmente llamada Cal Apagada, Cal Aérea o Cal Hidratada. El proceso de hidratación o apagado es rápido y libera una gran cantidad de calor. La ecuación química que representa dicha reacción es la siguiente.



#### Re carbonatación

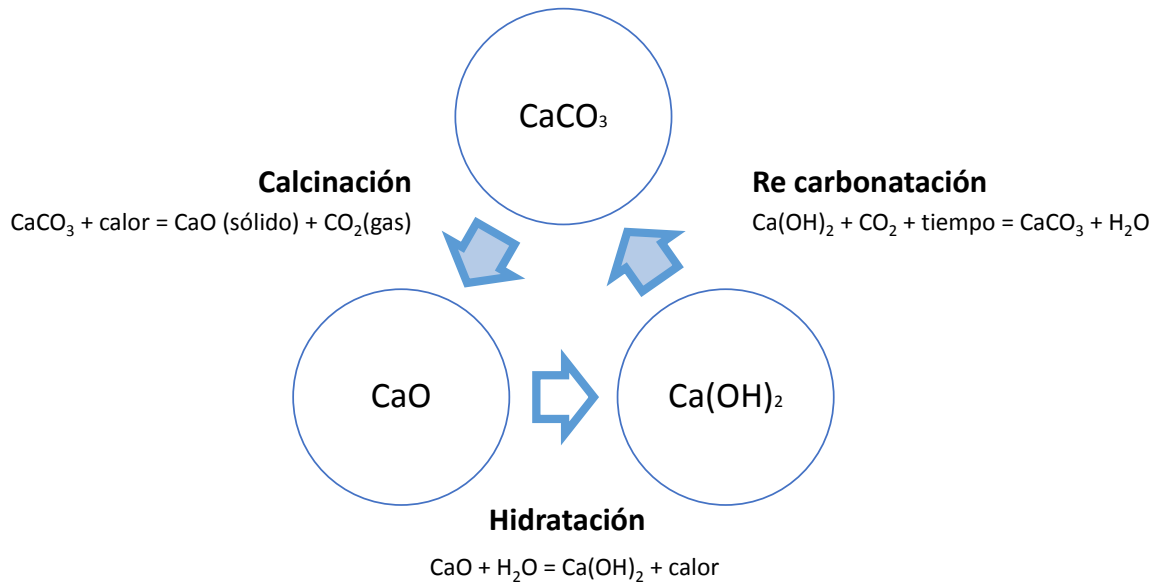
Al reaccionar la Cal Apagada con el CO<sub>2</sub> del aire, proceso denominado re carbonatación, vuelve a formar carbonato de calcio adquiriendo las propiedades que poseía originalmente como roca.



---

<sup>2</sup> Óxido de calcio, CaO.

**Fig. 1: Ciclo de la Cal**



Fuente: Cochilco

## 2.2. Usos de la Cal

Los innumerables usos de la cal están resumidos en la siguiente tabla:



**Tabla 1: Usos de la Cal (Viva, Hidratada e Hidráulica)**

Rubro	Uso	Función
<b>Industrial</b>	Química orgánica e inorgánica	Agente enlazante, colector o precipitante.
	Tratamiento de Agua	Agente coagulante, depresante, purificante y regulador de pH.
	Tratamiento de agua vía osmosis inversa	Regulador de pH.
	Papel y pulpa	Agente enlazante y basificante.
	Alimentos y subproductos	Nutriente, coagulante y estabilizante, entre otros usos.
	Producción de azúcar	Aglomerante y neutralizador de la acidez.
	Petrolíferos	Enlodante, sellante y regulador de pH.
	Centrales térmicas de generación eléctrica	Captador o absorbente de azufre, según el proceso.
<b>Construcción</b>	Ladrillos silícicos y ligeros	Agente enlazante.
	Hormigón liviano	Agente reaccionante.
	Morteros	Agente plastificante y desplazante.
	Pavimentos asfálticos	Agente impermeabilizante, antidisgregante y estabilizante.
	Estabilización de suelos	Agente aglomerante y desplazante.
	Revestimientos protectores	Pinturas
<b>Agricultura</b>	Mejoramiento de terrenos	Regulador de pH.
	Nutriente vegetal	Acelerante
	Abonos	Desodorizante y como nutriente.
	Insecticida, fungicida	Diluyente
<b>Usos Diversos</b>	Pigmentos	Agente enlazante y regulador de pH.
	Barnices	Neutralizante
	Caucho-gomas	Desecante
	Control de contaminación	Absorbente
	Cultivos marinos	Descontaminante
	Granjas	Germicida
<b>Minería Metálica</b>	Fundición	Actúa como fundente, agente enlazante. Absorbe gases en humos y gases de chimeneas. Desmoldante de barras, catalizador en precipitación de níquel,

Rubro	Uso	Función
		lubricante en el estirado de alambres, entre otras.
	Fundiciones de cobre	Fundente y desmoldante. Neutralizante de los efluentes ácidos que generan las plantas de ácido asociadas a estas fundiciones.
	Cianuración de minerales auríferos (Au) y argentíferos (Ag)	Además de tener un rol específico en cada uno de los procesos de cianuración, evita la generación de ácido cianhídrico en la hidrólisis del cianuro. Alcalinizante en cianuración.
	Flotación alcalina	Agente regulador del pH, depresante de la pirita, precipitante de sales de calcio, enlazante de la sílice activa que contienen las arcillas, entre otros.
	Ripios de lixiviación	Agente neutralizante de la acidez residual y como aglomerante de las arcillas contenidas en el mineral (estabilizante)
<b>Minería No Metálica</b>	Obtención de sales de yodos y nitratos	Regulador de pH o precipitante, entre otros.
	Obtención de colemanita sintética	Agente enlazante (producción de ácido bórico).
	Obtención de ulexita granulada (fertilizante)	Aglomerante
	Obtención de nitrato de potasio granulado	Aglomerante
	Obtención de litio	Agente enlazante y depresante del magnesio presente en la salmueras que contienen litio.
	En tratamiento de aguas o RILES	Agente neutralizante.

Fuente: Cochilco sobre la base de libro "La Cal: ¡es un reactivo químico!" (2008)

En relación con el alcance de este trabajo, interesa conocer el mercado de la cal asociado a la minería del cobre y más específicamente al relacionado con el proceso de flotación.

## 2.3. Oferta de Cal

### 2.3.1. Producción Nacional

Este trabajo busca estimar la oferta interna de cal en Chile destinada al mercado minero y, en especial, conocer la oferta de Óxido de Calcio (CaO) o Cal Viva, utilizada en los procesos de flotación

de cobre, en fundiciones y en la minería del oro. Cabe señalar que las principales empresas nacionales productoras de cal que abastecen a la minería no publican información segmentada de los volúmenes de su cartera de productos de cal, con el fin de determinar el porcentaje correspondiente a producción de Cal Viva, por lo que se recurrió a ajustes basados en los despachos reales (por producto), información entregada por las propias empresas y para el resto se asume que el 90% de su producción es cal viva.

En el mercado nacional existen dos empresas que lideran la producción de cal (viva e hidratada) para abastecer a la minería, cuyas capacidades se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 2: Principales productores de Cal en Chile para la Minería**

Empresa	Controlador	Productos	Plantas	Mercados Objetivos	Máxima Capacidad (ktpa)
<b>INACAL</b>	Cementos Bío Bío S.A.	Cal viva (granulada y molida) y Cal Hidratada	Antofagasta	Regiones de Arica-Parinacota, Tarapacá y Antofagasta	650
			Copiapó	Regiones de Atacama y Coquimbo	550
<b>SOPROCAL</b>	Familia Rozas Rodríguez a través de Inversiones La Tirana Ltda.	Cal viva (granulada y molida) y Cal Hidratada	Melipilla	Faenas mineras de la zona central	110 (*)

Fuente: Cochilco en base a Memorias, información de Empresas y Servicio de Evaluación Ambiental

(\*) La capacidad de la planta es de 165 ktpa. Sin embargo, debido a restricciones ambientales se redujo a 110 ktpa.

#### **Proyecto con DIA aprobada y pronto a entrar en operación<sup>3</sup>:**

En mayo del 2014 se calificó favorablemente (RCA N° 0260/2014), el proyecto que reemplaza los 3 hornos verticales de la Planta de Cal de SOPROMIN, por 2 hornos horizontales. Con dicho reemplazo la capacidad de tratamiento **del proyecto de planta** aumenta de 87 a 216 ktpa. La ampliación contempla una inversión de US\$ 25 millones y la fase de construcción se estima en 18 meses. Actualmente se negocian aspectos relevantes de un contrato de Ingeniería, Compras y Construcción (EPC) para adquirir la planta fuera de Chile y que debería iniciar su producción en el transcurso del 2018. Las reservas propias de calizas permiten una vida útil de 25 años.

<sup>3</sup> Hasta el cierre del presente estudio, no se tuvo información del estado en que se encontraba la planta de producción de cal ubicada en la región de Atacama (Comunas de Caldera y Copiapó), cuya capacidad es de 165 ktpa de cal viva (destinada a los mercados mineros y medioambientales) y que debería haber entrado en operación en el segundo semestre del 2015. Por tal motivo no fue considerada en la tabla anterior, aunque sí en el balance de oferta y demanda para los años siguientes.

Para determinar la capacidad de las empresas productoras de cal para abastecer el mercado nacional, se efectuaron los siguientes supuestos:

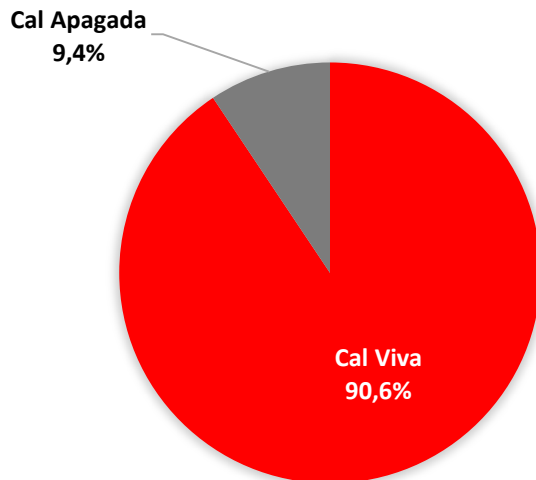
- **Utilización de la Planta:** Se estima que la utilización efectiva de la capacidad instalada alcanzaría el 90%.
- **Distribución de la cartera de productos:** La plantas productoras de cal mayoritariamente producen óxido de calcio. Sin embargo, parte de dicha producción se transforma en hidróxido de calcio, la cual tiene por destino otros mercados. De igual forma, una parte de la producción de óxido de calcio tiene un uso no minero (entre 10% y 20% de la producción de CaO, según empresa).

Efectuados los ajustes, en el año 2016 la oferta de cal viva producida en el país bordearía el millón de toneladas. La oferta se incrementaría a 1,5 millones de toneladas de cal viva anuales, si se concreta el proyecto de Sopromin durante el transcurso del 2018 y entra en operación la planta de producción de cal ubicada en la región de Atacama (Comunas de Caldera y Copiapó), cuya capacidad es de 165 ktpa de cal viva.

### 2.3.2. Importaciones de Cal

Existe 3 variedades de cal importadas: Cal Viva, Cal Apagada (Hidratada) y Cal Hidráulica<sup>4</sup>. Durante el año 2015 se importaron 425,4 mil toneladas de cal, de las cuales la Cal Viva representa el 90,6% del total.

**Fig. 2: Distribución de las Importaciones por tipo de Cal 2015**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

<sup>4</sup> La diferencia entre la cal hidráulica e hidratada es que la primera contiene cantidades importantes de silicio y aluminio. Vale recordar, que las cales hidráulicas sólo se utilizan para la construcción, en estado hidratadas.

En términos CIF, se importaron US\$ 74,6 millones de los cuales el 79% corresponde a la Cal Viva y el 21% a la Cal Apagada. Comparativamente las importaciones de cal hidráulica (US\$ y toneladas), son marginales representando menos del 1% de los montos totales.

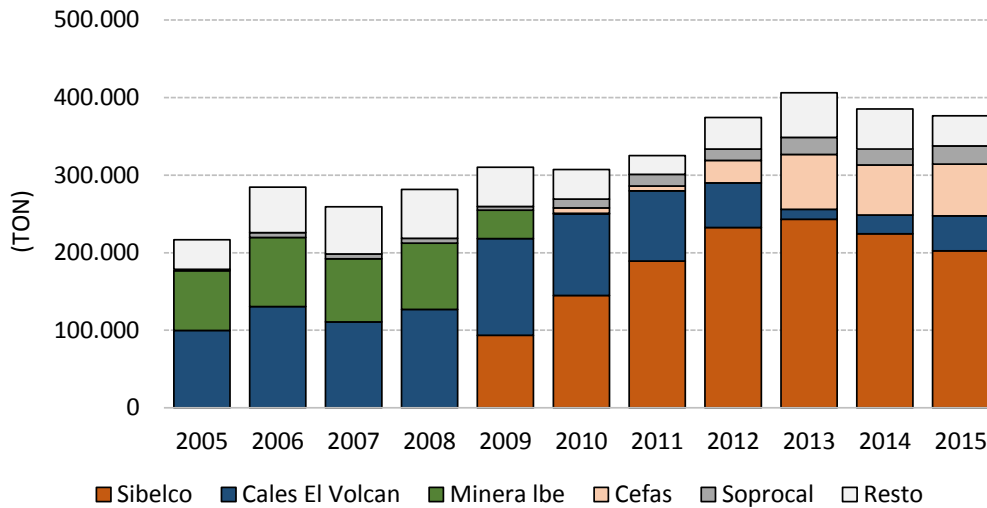
Respecto de la Cal Viva, al igual que lo sucedido en años precedentes, en el 2015 el 95% del volumen total de importaciones de Cal Viva proviene de Argentina.

Los mayores volúmenes importados de Cal Viva se registraron en el año 2013 con 406 mil toneladas. En el año 2015 se mantuvo la tendencia decreciente de las importaciones registrando 376 mil toneladas importadas, es decir una disminución del 2,3% respecto del periodo anterior.

SIBELCO Chile se mantiene como el mayor importador de Cal Viva, con volúmenes que representan el 54% del total importado en el 2015. En el segundo lugar se ubica CEFAS Chile, empresa cuyas plantas de producción se encuentran en Argentina y que en el año 2015 importó el 18% del total de óxido de calcio.

Durante los últimos 10 años el liderazgo de las importaciones de cal ha cambiado, tal como se muestra a continuación:

**Fig. 3: Principales empresas importadoras de Cal Viva 2005-2015**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

En el año 2009 Minera LBE fue adquirida en el año 2009 por Sibelco en Argentina.





**Fig. 4: Importaciones y capacidad de producción nacional de Cal Viva 2015**



Fuente: Elaboración propia

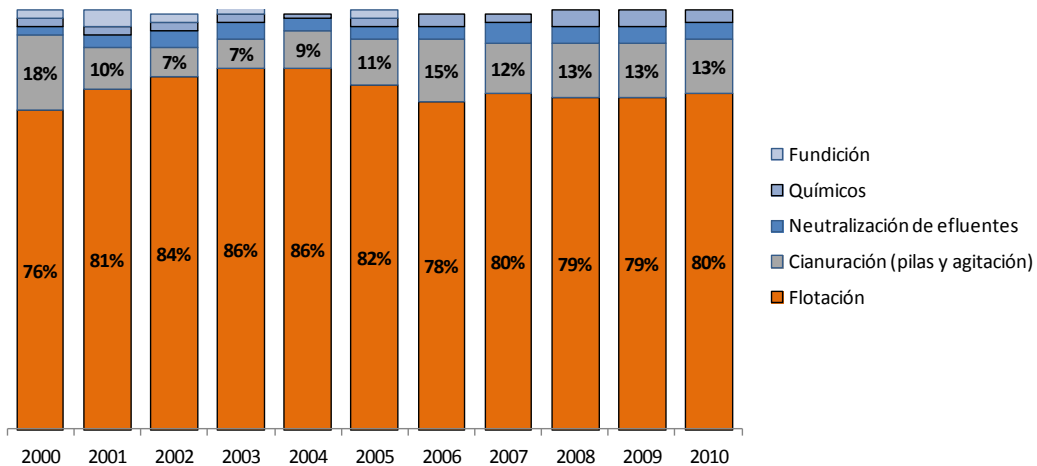
Si se toma en consideración la capacidad instalada que existe en el país para producción de Cal Viva y se suman las exportaciones cuyo uso final es la minería, se tiene que la oferta de cal viva en el año 2015 es de aproximadamente 1.341 miles de toneladas.

## 2.4. Demanda de Cal

### 2.4.1. Uso final de la Cal

Existen innumerables usos para la cal, pero no hay información pública actualizada que indique las participaciones por uso final. Sin embargo, Coloma (2008) desglosa las participaciones de usos finales de la cal entre los años 2000 y 2010 de la siguiente forma:

**Fig. 5: Participación (%) por uso final de la cal en Chile**



Fuente: Cochilco sobre la base de libro "La Cal: ¡es un reactivo químico!" (2008)



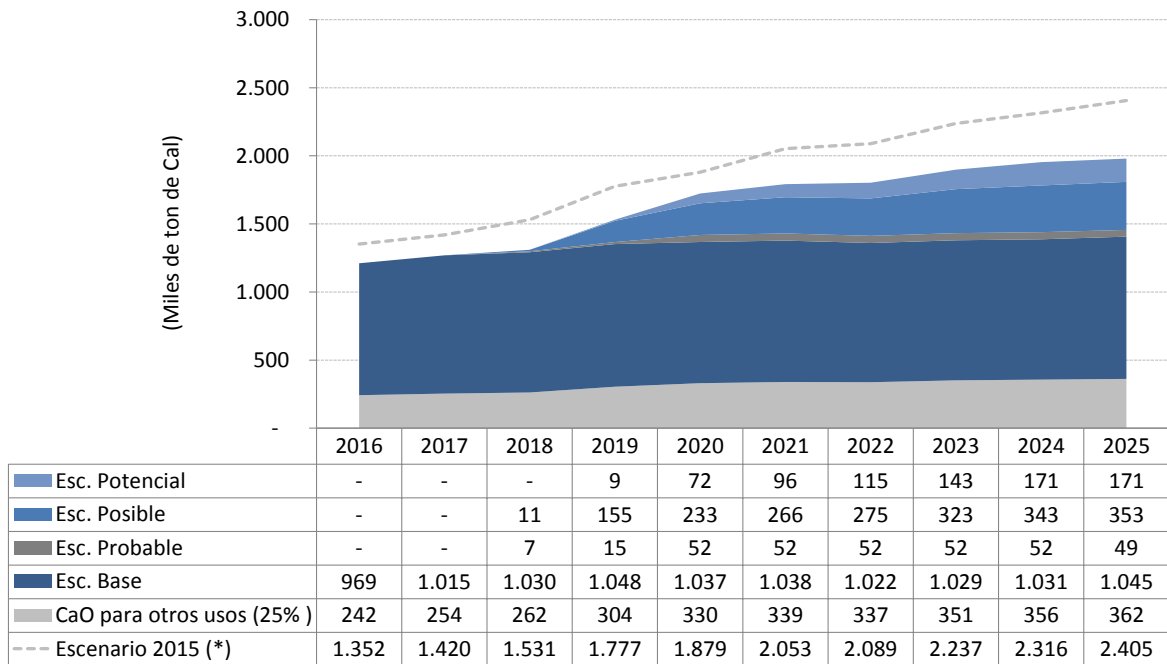
La cal utilizada en los procesos de flotación (asociada a la minería del cobre) representó el 80% de su consumo, entre los años 2007 y 2009. La cianuración por pilas y por agitación está asociada a la minería del oro y en promedio totalizan el 13% del uso final de la cal a nivel nacional.

**2.4.2. Consumo de Cal en la Minería del Cobre**

El principal uso de la cal en la minería del cobre corresponde a los procesos de flotación de concentrados. Por lo tanto, para tener una estimación de la demanda cal es necesario conocer algún indicador de consumo unitario medido como kilogramo de cal por tonelada de mineral procesado (Kg. cal/ton. mineral). Dependiendo de las características de mineral a tratar, el consumo unitario de cal presenta variaciones significativas. Al respecto los consumos unitarios de cal por tonelada de mineral procesado varían entre los 1,5 y 1,7 kg/ton mineral procesado. Cabe señalar que el primer valor fue obtenido de un estudio Cochilco (2007)<sup>7</sup> y es cercano a los valores incluidos en las ingenierías de algunos proyectos a los cuales se tuvo acceso. El segundo valor corresponde a estimaciones del mayor productor de cal viva en Chile (INACAL). Para efectos de cálculos de balance de oferta y demanda se adoptará un valor intermedio de consumo unitario de cal de 1,6 kg/ton de mineral procesado.

Al multiplicar el consumo unitario de cal por las proyecciones del mineral de cobre sulfurado procesado para el periodo 2016-2025, se obtienen las siguientes estimaciones:

**Fig. 6: Consumos estimados de CaO vs Escenario 2015 (miles de ton)**



Fuente: Cochilco

(\*) Corresponde a las estimaciones de consumo de cal consideradas en la versión 2015 de este estudio, pero asumiendo una tasa de consumo corregida de 1,6 Kg de CaO/ton de mineral de Cu tratado.



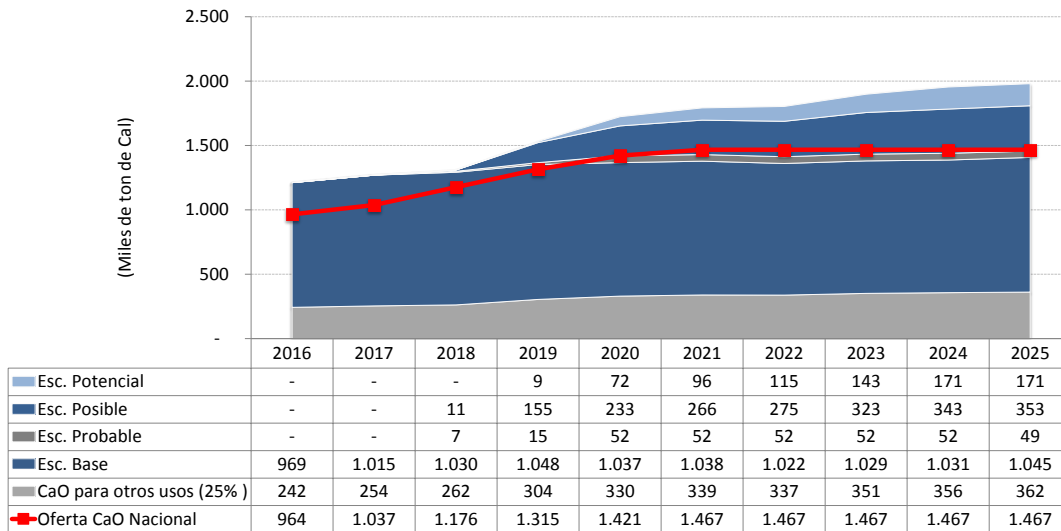
Los escenarios “Base”, “Probable”, “Posible” y “Potencial” consideran el consumo de cal viva para distintos escenarios de procesamiento de mineral de cobre en procesos de flotación, los cuales están sujetos a la probabilidad de concreción de las inversiones de la cartera de proyectos mineros al año 2025 (Cochilco). Dichas estimaciones se contrastan con las proyecciones del informe del año 2015 (línea punteada), con lo cual queda en evidencia la caída en el consumo esperado de la cal debido a que algunas compañías mineras han aplazado y otras pospuesto sus proyectos de inversión producto del deterioro de las condiciones de mercado. El nuevo escenario, con un menor volumen de mineral procesado, implica un menor consumo de cal en los procesos de flotación de cobre para el periodo 2016-2025 y equivalente a -2.060 miles de ton (estimación 2015 vs estimación 2016).

El ítem “CaO para otros usos” corresponde a una estimación del consumo de cal viva en fundiciones, cianuración (minería de plata) y otras aplicaciones, lo que equivale aproximadamente a un 25% del consumo de cal viva para el proceso de flotación de cobre (se excluye el consumo del escenario potencial).

### 2.5. Oferta y Demanda de Cal

El balance entre la oferta interna y la demanda de cal se muestra en la siguiente figura:

**Fig. 7: Oferta – Demanda de Cal (2016-2025). No incluye importaciones.**



Fuente: Cochilco

Las proyecciones en la demanda de cal cambiaron (son menores), respecto de la primera versión de este informe, influido por las condiciones del mercado.

Desde el punto de vista de la oferta nacional, aparte de la entrada operación del proyecto de Sopromin y de la puesta en marcha de la planta de 165 ktpa en la región de Atacama, se incorporó la eventual entrada en operación de un proyecto que se concretaría en el año 2020, pero que aún se encuentra en la etapa inicial de formulación y cuya capacidad bordearía las 200 mil toneladas al año.

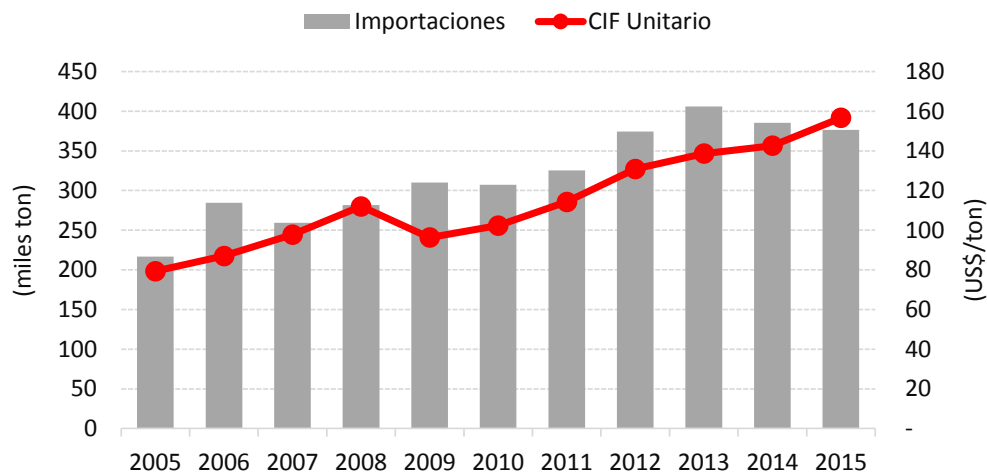


En el año 2015 las importaciones de cal viva alcanzaron las 377 mil toneladas lo que sumado a la capacidad instalada de producción nacional permitió satisfacer holgadamente las necesidades de dicho insumo para la minería. Si se mantienen los actuales niveles de las importaciones, el abastecimiento de cal para la minería debiera estar asegurado hasta el año 2022. De ahí en adelante, la demanda sería satisfecha por el aumento de las importaciones de cal (principalmente de Argentina) y/o aumento de la capacidad de producción nacional.

## 2.6. Precio de la Cal

Desde el año 2005 el CIF unitario de las importaciones de Óxido de Calcio aumentó en promedio a una tasa anual de 7%, lo que significa un aumento del 97% del valor entre los años 2005 y 2015.

**Fig. 8: Valor CIF unitario (US\$/ton) de Óxido de Calcio 2005-2015**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

Durante el año 2015 continuó el aumento del valor CIF alcanzando los 156,7 US\$/ton, es decir, un aumento del 9,9% respecto del año anterior.

Un aspecto a considerar es que casi el 99% de las importaciones de Cal Viva provienen de Argentina y, por lo tanto, no pagan derecho de internación, lo cual abarata los costos.

Se tiene el siguiente panorama:

- El volumen y precio de las importaciones ha ido en aumento.
- Las importaciones de cal le han quitado mercado a la producción nacional.
- Existen proyectos de operación de nuevas plantas de producción de cal en Argentina, específicamente en la provincia de San Juan.

La competencia entre oferta nacional e importaciones mantendrá los precios relativamente estables hasta el año 2022. De ahí en adelante la entrada en operación de nuevos proyectos mineros



(posibles y potenciales), podrían presionar al alza el precio de la cal, siempre y cuando no aumente el volumen de las importaciones y/o se concreten nuevos proyectos de producción de cal.



### 3. Bolas de molienda

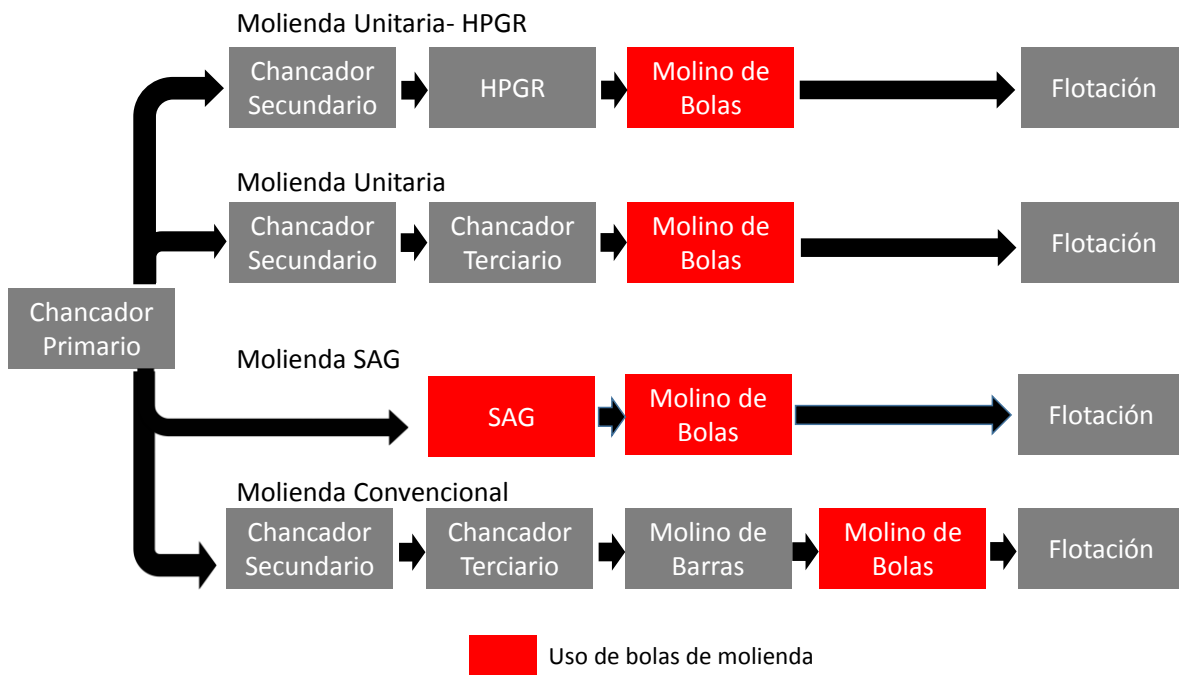
Aparte de la minería del cobre, las bolas de molienda se utilizan en otras industrias como la del cemento y de la generación de energía.

#### 3.1. Uso de bolas de molienda en minería del cobre<sup>5</sup>

Las bolas de molienda se utilizan en todos los procesos de molienda de mineral: convencional, unitaria, SAG y remolienda. La molienda es el proceso que sigue al proceso de chancado del mineral y en la cual se continúa con la reducción del tamaño de las partículas que componen el mineral, obteniendo una granulometría máxima de 180 micrones, permitiendo así la liberación de las partículas de cobre.

El proceso de molienda se realiza en tres formas diferentes: molienda convencional, unitaria (con y sin HPGR) y molienda SAG.

**Fig. 9: Tipos de circuitos de chancado y molienda**



Fuente: Cochilco

**Molienda Convencional:** Esta se realiza en dos etapas, la primera con molinos de barras y la segunda con molinos de bolas.

<sup>5</sup> [www.codelcoeduca.cl](http://www.codelcoeduca.cl)



**Molienda Unitaria (con y sin HPGR):** Este tipo de molienda utiliza molinos de bolas y también puede que incorpore molienda unitaria con rodillos de alta presión (HGPR).

Los molinos de bolas son cilindros metálicos cuyas paredes están revestidas con corazas fabricadas en aleaciones de acero cromo-manganeso mejoradas y cuyo volumen interior está ocupado entre un 40 y 45% de su capacidad por un collar de bolas de acero de 1" hasta 4" de diámetro, las cuales son los elementos de molienda. En un proceso que dura aproximadamente 20 minutos para cada partícula de mineral que debe ser molida, el 80% del mineral es reducido a un tamaño máximo de 180 micrones.

**Molienda SAG:** Se utiliza un molino de gran capacidad que recibe material directamente del chancador primario y tiene en su interior bolas de acero de manera que cuando el molino gira, el material cae y se va moliendo por efecto del impacto entre bolas y el propio mineral. La mayor parte del material que sale de este molino pasa a la etapa de flotación para obtener el concentrado de cobre, y una menor proporción vuelve a la molienda en el molino de bolas para seguir moliéndose hasta conseguir el tamaño requerido para la etapa siguiente.

### 3.1.1. Grado de llenado y tamaño de las bolas de molienda

El grado de llenado corresponde a la fracción porcentual del total del volumen interno del molino que está cargado con el material moedor (barras o bolas).

**Tabla 3: Grado de llenado**

Tipo de Molino	Grado de Llenado
Barras	30-40%
Bolas	40-45%
Bolas (remolienda)	25-30%
SAG	10-15%

Fuente: Cochilco.

El tamaño de las bolas de molienda requerido dependerá del tipo de molienda, tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 4: Uso de Medios de Molienda**

Tipo Molienda	Tamaño Bolas (pulgadas)
SAG	4" - 6"
Bolas	1" - 4"
Vertical	0,5" - 1,5"
Ultra fina (ISA)	< 0,1"

Fuente: Cochilco en base a presentación de Moly-Cop, 2012

Respecto a los tipos de bolas, en Chile se producen 2 tipos de bolas. Acero Forjado y Acero Fundido.



A pesar de su mayor precio, las bolas de acero forjado son más rentables en un 10-15%, debido a su menor desgaste en comparación con las bolas de acero fundido.

La producción de bolas de acero fundido está limitada a tamaños de hasta 4" de diámetro, ya que no pueden sostener los altos impactos característicos de entornos de molienda semiautógenos (SAG), donde se requieren bolas de mayor tamaño.

Un circuito moderno de molienda consume aproximadamente entre 30 y 40% de bolas grandes (> 4"), entre 40 y 50% de bolas de tamaño medio (2" – 3,5") y el resto de bolas pequeñas (<2").

## 3.2. Oferta de Bolas de Molienda

### 3.2.1. Producción Nacional

En Chile las principales empresas fabricantes de bolas de molienda son Moly-Cop Chile S.A., SK Sabo S.A. y Proacer S.A.

**Moly-Cop Chile S.A.** fabrica y distribuye bolas de acero para molienda que se utilizan en industrias mineras de cobre, oro y hierro. Fundada en 1959, las plantas que la empresa posee en Talcahuano y Mejillones tienen una capacidad nominal de medios de molienda de 471.000 toneladas. Moly-Cop es controlada en un 100% por Arrium, firma australiana que la compró a Anglo American Plc en el 2011.

**SK Sabo S.A.** es una empresa controlada en un 99,99% por Magotteaux, una compañía de origen belga, líder en desarrollo, fabricación y comercialización de bolas de molienda y piezas de desgaste (casting). A su vez Sigdo Koppers S.A. controla el 95% de Magotteaux. En Chile SK Sabo S.A. posee una planta en Antofagasta con una capacidad de 55.000 toneladas anuales de bolas de molienda forjadas. Los sectores más importantes donde se comercializan sus productos son las industrias minera y cementera.

**Proacer S.A.** también es una empresa controlada en un 100% por Magotteaux, la cual a su vez es controlada por Sigdo Koppers S.A. La Compañía posee una capacidad instalada de 60.000 toneladas de bolas de bajo cromo.





**Tabla 5: Empresas productoras de Bolas de Molienda**

Empresa	Ubicación de la Planta	Producción Nominal (ton/ año)	Bolas	Mercados
<b>Moly-Cop</b>	Talcahuano	202.000	Bolas de molienda de acero forjado de 1" a 6"	Los principales clientes en Chile son las grandes concentradoras como Minera Escondida, Minera Collahuasi, Codelco, Los Pelambres, Minera Candelaria, Anglo Chile y Alumbreira en Argentina.
	Mejillones	269.000		
<b>SK Sabo S.A.</b>	Antofagasta	55.000	Bolas de molienda de acero forjado.	Clientes del Norte de Chile y Perú
<b>Proacer Ltda.</b>	Santiago (Til Til)	60.000	Bolas fundidas de molienda de bajo cromo de 2" a 4"	Mercado Minero

Fuente: Cochilco sobre la base de información de empresas, sitios web institucionales y Memorias.

Al analizar la capacidad instalada los tres principales oferentes de bolas de molienda, se tiene que Moly-Cop posee el 80,4% de la capacidad instalada y Sigdo Koppers el 19,6% restante a través de sus empresas SK Sabo S.A. y Proacer.

A marzo del 2016, la suma de las capacidades instaladas para abastecer a la minería de las tres principales empresas productoras de bolas de acero es de **586 ktpa**.

#### **RCA aprobadas**

- En octubre del año 2014 se emitió una R.C.A. (527/2014) que aprobó la construcción y operación de una planta de fabricación de bolas forjadas para la gran minería. Dicha planta pertenece a la empresa Aceros Chile S.A. y estará ubicada en la Comuna de Puente Alto. La construcción de la etapa 1 del proyecto, que tiene una capacidad de 48.000 toneladas, se inició en febrero del 2016 y estará en condiciones de producir comercialmente en enero del 2017. La implementación de las etapas 2 y 3 del proyecto están sujetas a la evolución de la demanda. El mercado objetivo es la gran minería de Chile, Perú, Argentina, mismos mercados donde hoy Aceros Chile es proveedor de revestimientos de acero fundido para equipos de molienda y chancadoras.
- En mayo del año 2013 se emitió una R.C.A. (54/2013) que aprobó la construcción y operación de una planta de fabricación de bolas forjadas de acero empleadas principalmente en los procesos de conminución (reducción de tamaño) de materiales en la minería. Dicha planta pertenece a la empresa SK SABO y se ubicaría en la Comuna de Coquimbo y con una capacidad total de 150.000 toneladas. Sin embargo, el desarrollo del proyecto no se concretó.

Con la entrada en operación de la planta Aceros Chile S.A., la capacidad instalada a nivel nacional aumentaría a 634 ktpa.

### 3.2.2. Importaciones y exportaciones de bolas de molienda

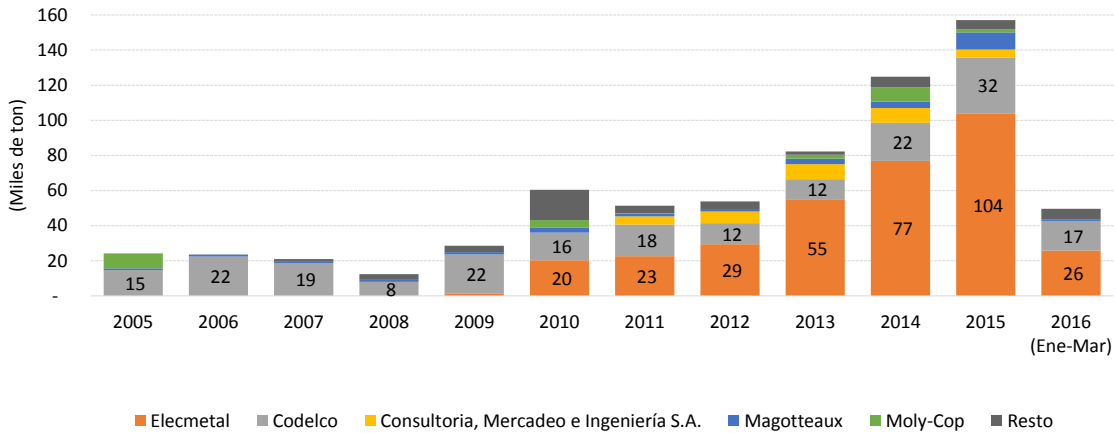
Los mayores importadores de bolas de molienda son las empresas que fabrican y/o proveen bolas de molienda, empresas mineras y empresas productoras de cemento.

A partir del año 2010 irrumpen con fuerza la importación de bolas forjadas por parte de Elecmetal, debido a la constitución en China de la sociedad Joint Venture 50/50 “ME Long Teng Grinding Media (Changshu) Co. Ltd.” para la fabricación de bolas de molienda.

En el año 2015, el 97% del volumen de las bolas importadas para la minería correspondió a bolas del tipo forjado y el resto a bolas fundidas.

En la siguiente figura<sup>6</sup> se presenta la evolución (en miles de ton) de las importaciones de bolas de molienda, pero **sin considerar** las empresas productoras de cemento, energía y otras no relacionadas con molienda en la minería de cobre.

**Fig. 10: Principales importadores de bolas de molienda (2005- Mar 2016)**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

A partir del año 2010 Elecmetal se convirtió en el principal importador de bolas de molienda para la minería, llegando a representar el 66% del total de bolas importadas en el 2015. Según declara en su memoria anual, entre sus áreas de negocios, Elecmetal está orientada a satisfacer la demanda nacional e internacional de bolas de molienda para molienda SAG y secundaria. Cabe señalar que Elecmetal importa exclusivamente bolas forjadas.

Codelco es el segundo mayor importador de bolas de molienda, representando el 20% de las importaciones en el 2015.

Hasta el año 2012 Magotteaux importó sólo bolas fundidas. Sin embargo, en el 2015 las bolas forjadas representaron el 67% de sus importaciones totales. Una situación opuesta sucede con SK

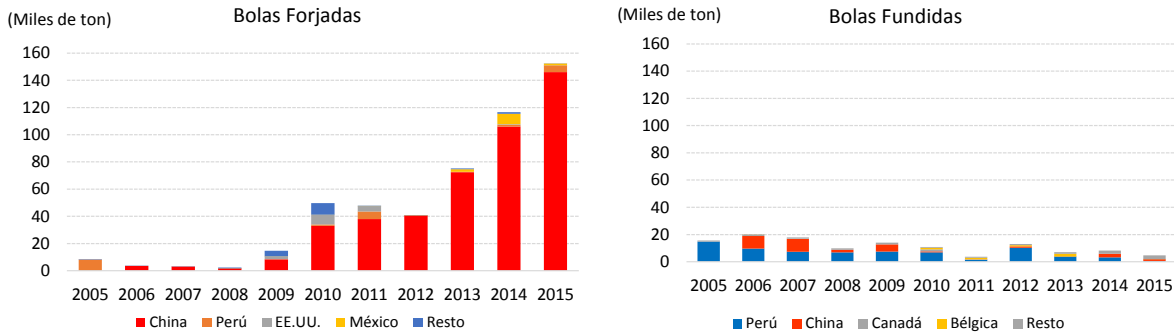
<sup>6</sup> Códigos arancelarios considerados para Bolas Fundidas: 73259900 y 73259110; Bolas Forjadas: 73261110 y 73261190.



Sabo que hasta el 2013 sólo importaba bolas para molienda forjadas; situación que cambió el 2014 cuando las bolas de acero fundidas representaron el 68% del volumen total importado. Durante el año 2015 SK Sabo no registró importaciones de bolas de molienda.

En cuanto al país de origen de las bolas de molienda, se tiene el siguiente panorama:

**Fig. 11: País de origen de las bolas de molienda importadas (2005-2015)**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

Las bolas de molienda forjadas de origen chino representaron el 96% del volumen importado en el 2015. El país que le sigue es Perú con una participación marginal de un 3%.

Por otro lado, las importaciones de bolas de molienda fundidas son lideradas por Perú y China con una participación del 12% y 30% en el 2015, respectivamente.

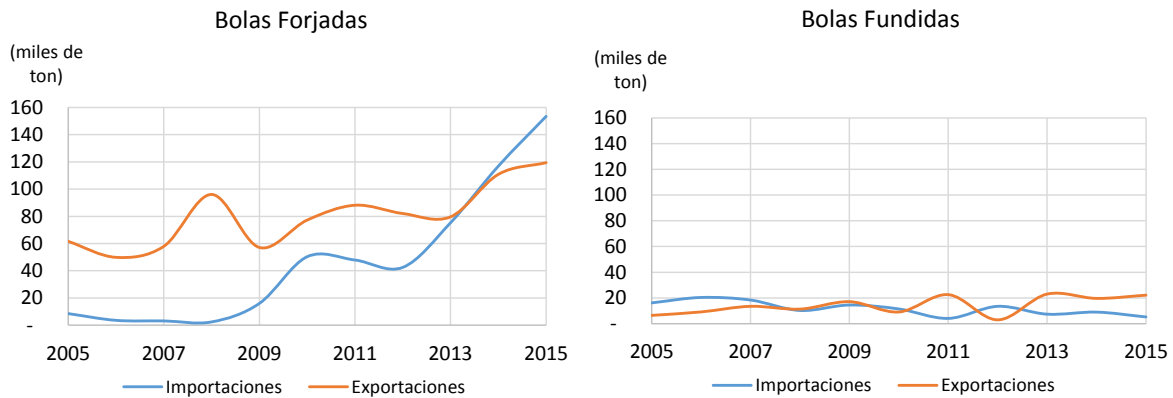
En el año 2015 el volumen de bolas de molienda importadas (forjadas y fundidas) para la minería alcanzó aprox. las 157 miles de ton, es decir, un 27% de la actual capacidad que tienen las plantas productoras de bolas en Chile (para abastecer a la minería).

En relación con las exportaciones de bolas de molienda, el 84% de las 142 miles de toneladas exportadas en el 2015 corresponde a bolas forjadas.

En el 2015 los principales destinos de las bolas forjadas fueron Brasil, Argentina y Perú que representan 53%, 20% y 16% del total exportado, respectivamente. A su vez, las exportaciones de Moly-Cop representaron el 89% de las bolas exportadas durante el 2015. Proacer exportó el 99,7% de las bolas fundidas en el 2015, siendo Brasil su principal destino.

La evolución de las exportaciones e importaciones por tipo de bolas de molienda, en miles de toneladas, es la siguiente:



**Fig. 12: Importaciones y exportaciones de bolas de molienda (miles de ton)**

Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

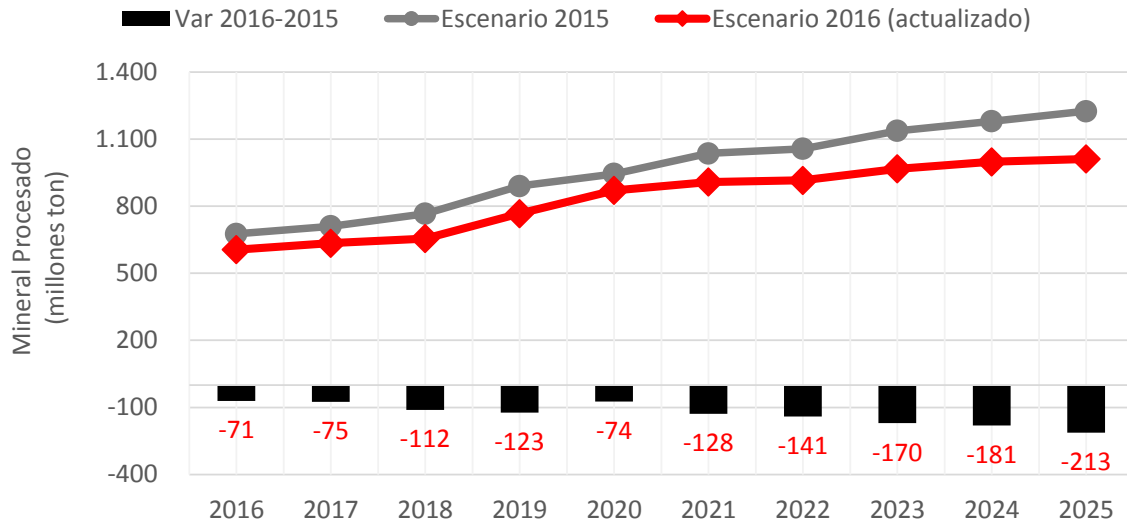
A partir del año 2014 las importaciones de bolas de molienda forjadas superaron a las exportaciones. En el caso de las bolas de molienda fundidas, se presenta una situación inversa.

### 3.3. Consumo de bolas de molienda para la minería

La demanda de bolas de molienda en la minería del cobre está dada por la cantidad de mineral procesado en las plantas concentradoras (el mineral lixiviado no es sometido a procesos de molienda).

En la siguiente figura se presenta la comparación entre las proyecciones actualizadas de procesamiento de mineral y las del informe del año anterior (2015). Dichas proyecciones se basan en las decisiones de las empresas mineras respecto de la concreción, aplazamiento, restructuración o eliminación de sus proyectos de inversión.

**Fig. 13: Proyecciones de mineral procesado de Cu 2016 vs 2015**



Fuente: Cochilco

La caída en las proyecciones de mineral procesado (línea de sulfuros), se explica por las decisiones de las compañías mineras de aplazar y, en otros casos, desistir de sus iniciativas de inversión producto del escenario económico adverso y que se ha visto reflejado en la caída de los precios de los commodities.

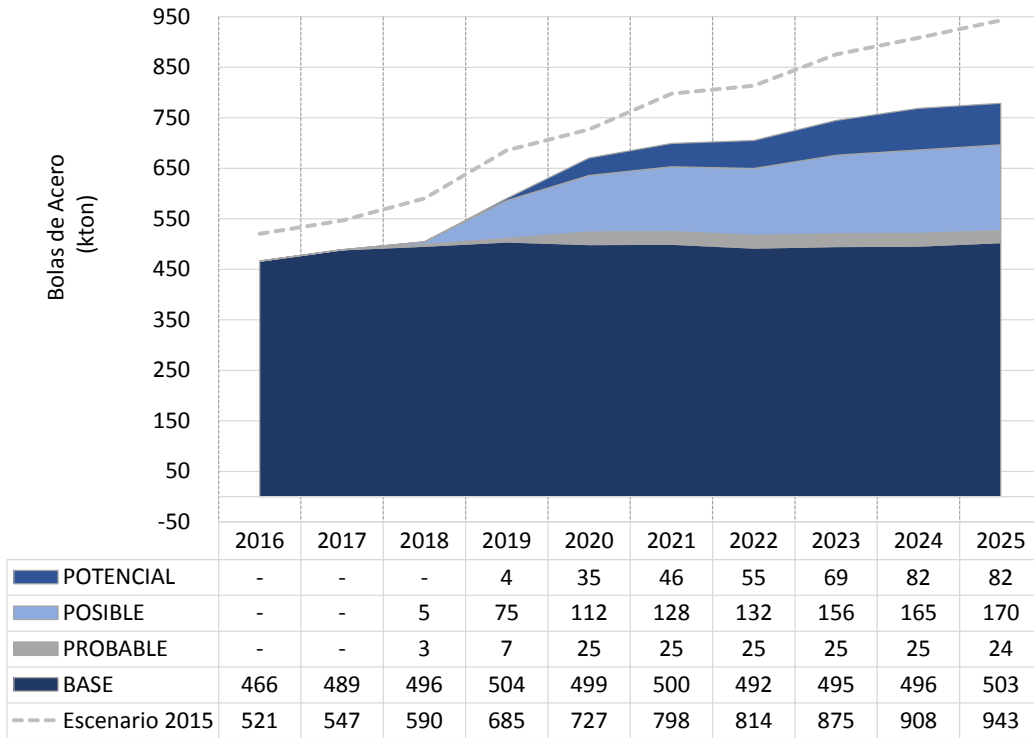
Se tomó una tasa de consumo unitario de bolas de acero de **770 gr/ton de mineral**, valor obtenido de un estudio de Cochilco<sup>7</sup> del año 2007 y cuyo valor se enmarca dentro del promedio una serie valores analizados. Con dicho valor unitario se obtuvo la estimación de consumo de bolas de molienda de la industria.

Tomando en consideración las proyecciones de mineral de cobre procesado 2016-2025 de la última actualización del Catastro de Proyectos Mineros, se obtuvo la siguiente estimación del consumo de bolas de acero para molienda, agrupados por proyectos probables, posibles y potenciales.

<sup>7</sup> “Oportunidades de Negocios para Proveedores de Bienes, Insumos y Servicios Mineros en Chile”, Cochilco, Noviembre 2007.



**Fig. 14: Proyección Consumo de Bolas de Acero (2016-2025)**



Fuente: Cochilco

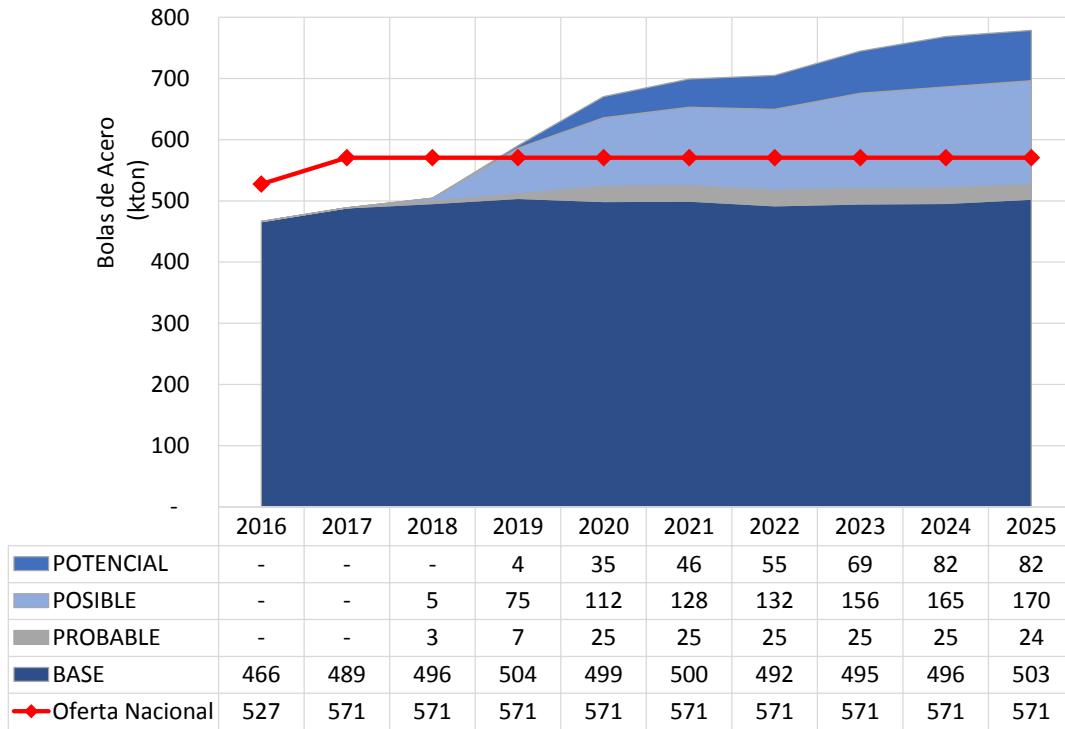
De acuerdo con la estimación, actualmente se estarían consumiendo 466.000 toneladas de bolas de acero al año, pudiendo llegar a las 779.000 toneladas en el 2025, en el caso que se concretara toda la cartera de proyectos del catastro (proyectos mineros probables, posibles y potenciales).

### 3.4. Oferta y Demanda de Bolas de Molienda

Tomando en consideración la oferta y demanda estimadas al 2025 de bolas de molienda, se tiene el siguiente panorama:



**Fig. 15: Oferta – Demanda de Bolas de Acero (2016-2025). No incluye importaciones.**



Fuente: Cochilco

Para la estimación de la oferta nacional de bolas de molienda se toma como supuesto un 90% de utilización de las plantas de producción y la entrada en operación del proyecto de Aceros Chile. S.A. en el año 2017

La capacidad instalada actual de producción de bolas de molienda satisface con holgura la demanda de bolas de molienda en la minería. Sí se concretan las inversiones que presentan el mayor nivel de incertidumbre en su ejecución (escenarios posible y potencial), la capacidad de producción nacional se vería sobrepasada a partir del año 2019.

Sin embargo, el balance de mercado cambia si se consideran las importaciones de bolas de molienda (principalmente forjadas) y que en el año 2015 ascendieron a 157 mil toneladas. A partir del año 2019 las importaciones de bolas de molienda adquirirán una relevancia aún más significativa si se concreta la mayor parte de la actual cartera de proyectos mineros.

### 3.5. Precio Bolas de Molienda

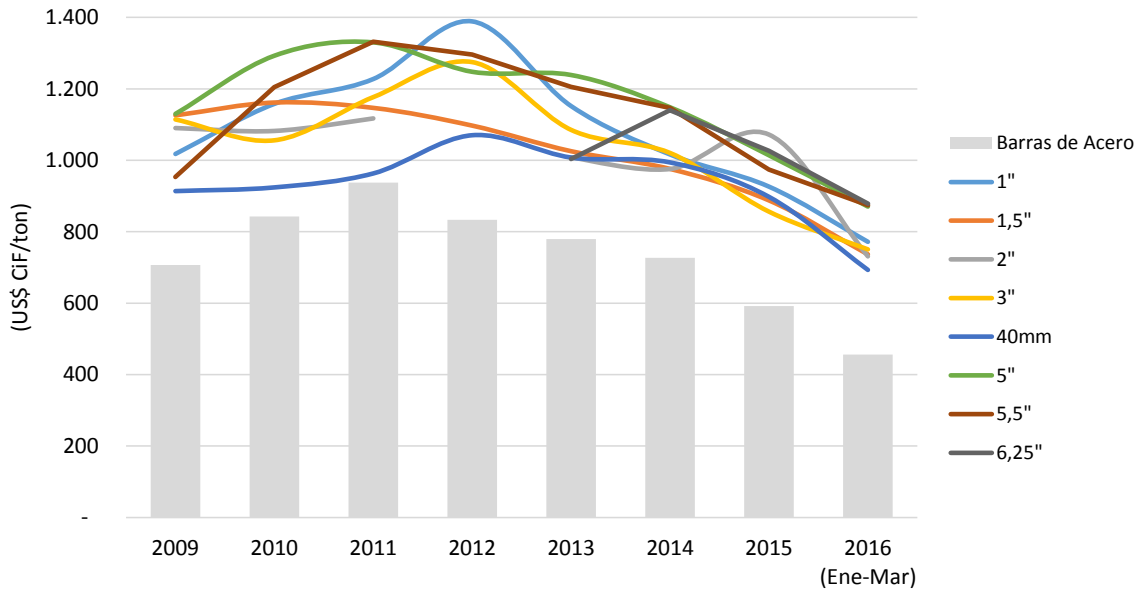
#### Bolas Forjadas

A continuación se muestran los precios CIF unitarios (US\$/ton) de una muestra de bolas de molienda forjadas importadas para uso en la minería, cuyo volumen representa el 79% del tonelaje total



importado para dicha industria en el periodo 2009- 2015. Los diámetros considerados son: 6,25", 5,5", 5", 3", 2", 1,5", 1" y 40mm. Dichos precios se comparan con el precio CIF de las barras de acero importadas para la manufactura de las bolas<sup>8</sup>.

**Fig. 16: Valor CIF unitario bolas de molienda forjadas 2009-2016 (Mar)**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

**Bolas Fundidas**

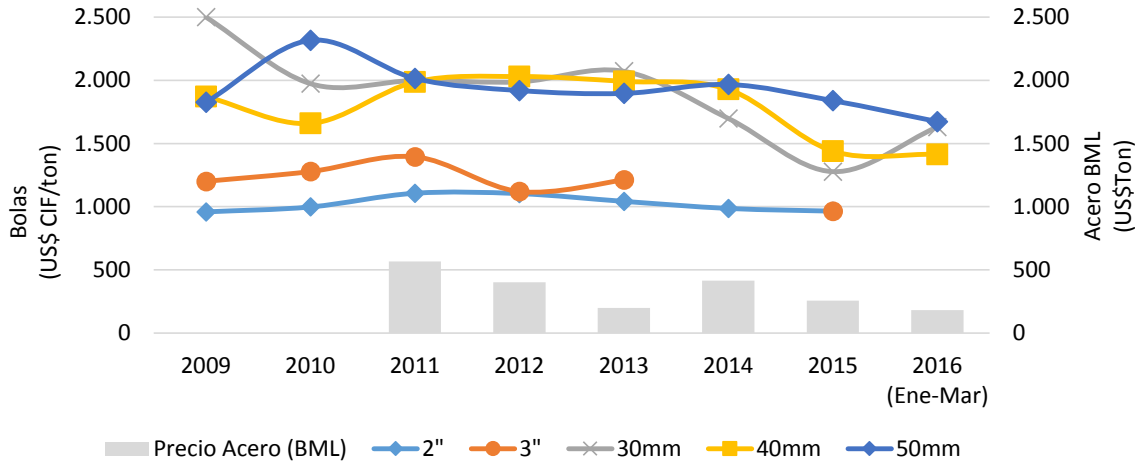
Se tomó una muestra de bolas de molienda fundidas importadas para uso en la minería, que representa el 78% del tonelaje total importado para dicha industria en el periodo 2009-2015. Los diámetros considerados son: 2", 3", 40 mm, 30 mm y 50 mm. Los precios se comparan con el promedio anual del precio spot del acero en la Bolsa de Metales de Londres.

<sup>8</sup> Código arancelario 72283000.





**Fig. 17: Valor CIF unitario bolas de molienda fundidas 2009-2015**



Fuente: Thomson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

En el caso de la muestra de bolas de molienda forjadas es clara la caída de los precios a partir del año 2012, al igual que el precio de las barras de acero importadas utilizadas para su fabricación.



## 4. Camiones de Extracción

El análisis se centra en el mercado de los camiones fuera de carretera (*off road*), para transporte del material extraído en faenas mineras de cobre a cielo abierto, con énfasis en la Gran Minería del cobre.

Los camiones de extracción tienen por función desplazar el material extraído hacia un punto de destino definido por el plan minero. Corresponde a la unidad de transporte más comúnmente utilizada en explotación de minas y están especialmente diseñados para acarrear tonelajes mayores en minería.

El transporte de material es uno de los aspectos importantes en una operación minera a cielo abierto, llegando a representar alrededor del 50% de los costos operacionales e incluso el 60%.

### 4.1. Importaciones de camiones

El siguiente análisis se centra en la importación de camiones *off road* de las marcas con mayor presencia en las operaciones mineras de la gran minería del cobre: Caterpillar, Komatsu y Liebherr. Los modelos analizados y mercados objetivos para sus operaciones se muestran a continuación:

**Tabla 6: Categorización de camiones de extracción off the road, según mercado objetivo**

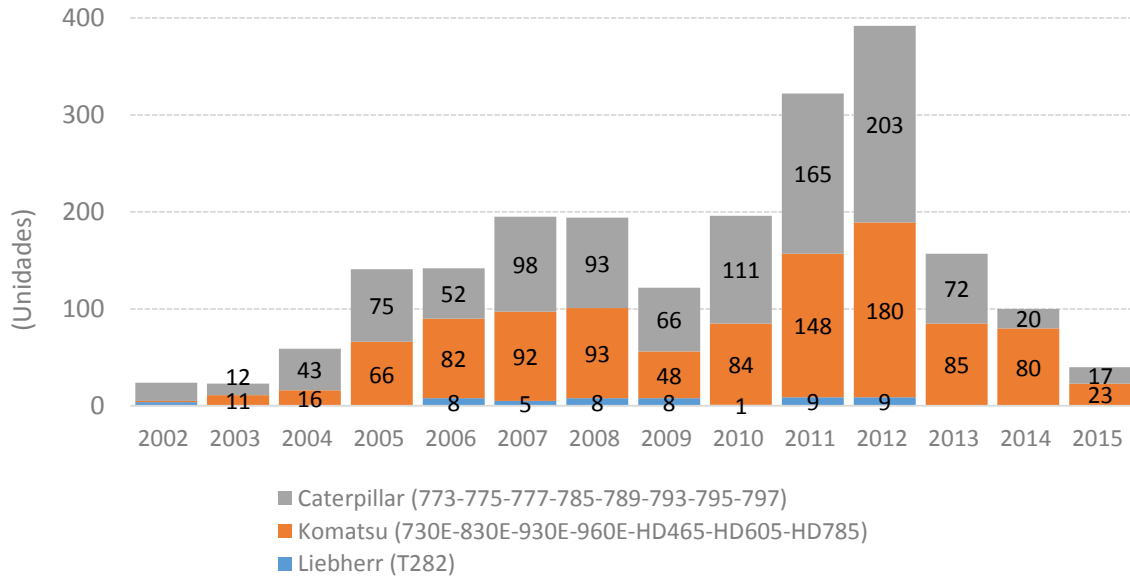
Mercado Objetivo	Marca	Modelo
Gran Minería	Caterpillar	793- 795- 797
	Komatsu	830E- 930E- 960E
	Liebherr	T282
Mediana Minería	Caterpillar	789
	Komatsu	H785
Pequeña Minería	Caterpillar	773-775-777-785
	Komatsu	HD465- HD605- 730E

Fuente: Cochilco

En el periodo 2002-2015 se importaron 2.107 unidades nuevas de camiones agrupados por marcas:



**Fig. 18: Importaciones de camiones mineros nuevos, por marca, 2002-2015**

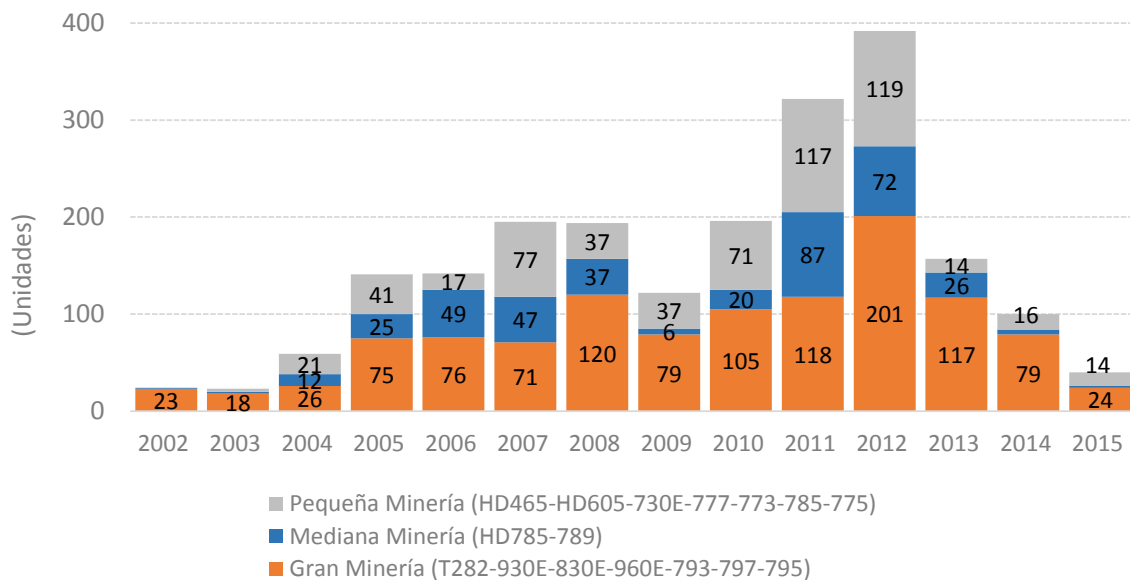


Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

El 84% de las unidades importadas fue realizado por las empresas representantes de las marcas en Chile y el 6% fue gestionado directamente por los mandantes de la Gran Minería del Cobre, donde destacan Codelco, Barrick y Anglo American.

Por otro lado, cada modelo tiene por destino un determinado mercado para su comercialización (pequeña, mediana o gran minería). Al agrupar las importaciones de camiones según el mercado objetivo, se tiene el siguiente panorama:

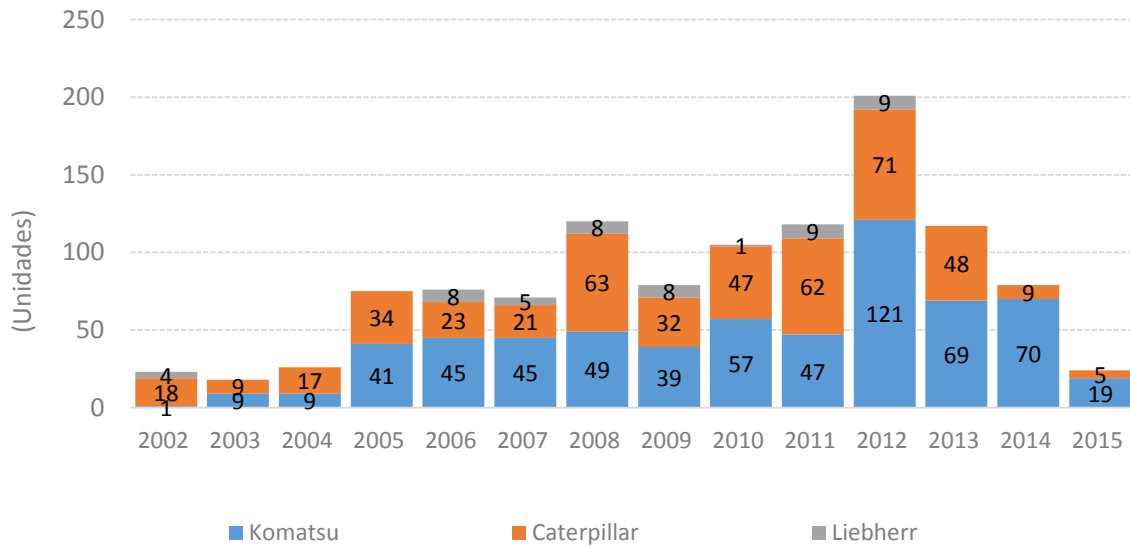
**Fig. 19: Importaciones de camiones mineros nuevos, por mercado objetivo, 2002-2015**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

En el periodo 2002-2015 se han importado 1.132 unidades de camiones para la Gran Minería del Cobre. Sin embargo, producto de la desaceleración global de los mercados, a partir del año 2012 comienzan a disminuir las importaciones de camiones, alcanzando en 2015 los niveles observados durante el año 2004. Cabe señalar, que el análisis de importaciones de camiones sólo está referido a los modelos de las marcas de camiones más utilizados en la Gran Minería (Komatsu, Caterpillar y Liebherr). Por lo tanto, el gráfico anterior no considera las importaciones de camiones de otras marcas destinadas principalmente a la Mediana y Pequeña minería.

**Fig. 20: Importaciones de camiones mineros nuevos para la Gran Minería, 2002-2015**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

Komatsu, Caterpillar y Liebherr son las marcas de camiones con mayor presencia en las labores de extracción a cielo abierto de la Gran Minería del Cobre. En el periodo analizado se importaron 1.132 unidades de camiones, logrando el peak en el 2012 (201 unidades).

Se produjo un aumento de las importaciones de los camiones marca Komatsu a partir del año 2012 (específicamente del modelo 930E) y, por otro lado, existe una baja participación de los camiones marca Liebherr, cuyo modelo T282 no registra importaciones desde el 2013.

#### 4.2. Demanda de nuevos camiones

La demanda de camiones está dada por las necesidades de movimiento de material de las faenas en operación y de los futuros proyectos mineros a cielo abierto. A partir de las estimaciones de

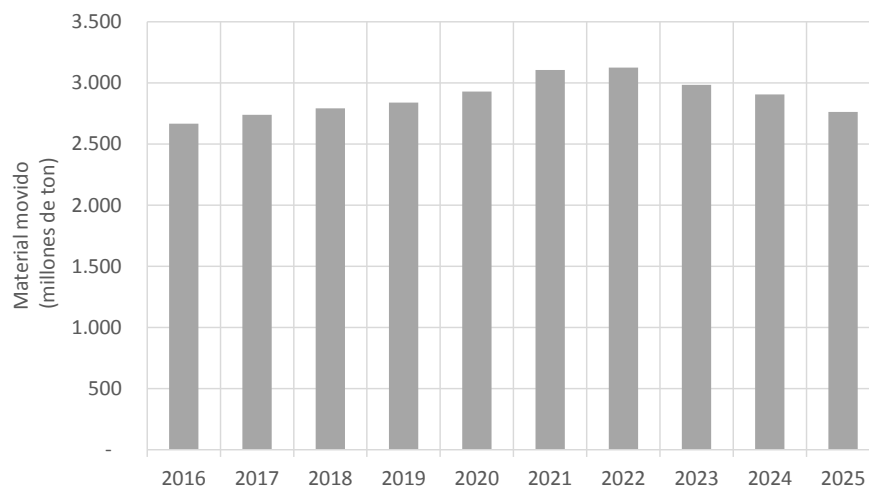


movimiento de material<sup>9</sup> para el periodo 2016-2025, se efectuó una estimación de la demanda de camiones para los próximos años, focalizándose en las operaciones de la Gran Minería del cobre. El dimensionamiento del parque de camiones toma en consideración variables, tales como:

- Distancia promedio de acarreo a botadero, pilas o planta
- Velocidad en pendiente y horizontal (lleno y vacío)
- Capacidad de los camiones
- Disponibilidad y utilización efectiva de los camiones
- Aumento de las distancias por profundización de los rajos

El volumen de toneladas de material (lastre + mineral), que requerirá ser movido en las minas a cielo abierto, en el periodo 2016-2025, se presenta a continuación:

**Fig. 21: Material movido mina a cielo abierto (2016-2025)**



Fuente: WoodMackenzie (Q2 2016)

Las proyecciones de movimiento de material indican que en los años 2021 y 2022 se alcanzará un peak de 3.100 millones de toneladas, para luego comenzar a decrecer.

Hay dos drivers que determinan la demanda de camiones para el movimiento de material:

- Necesidad de reemplazo de equipos (camiones) por término de su vida útil.
- Necesidad de equipos adicionales (camiones) para satisfacer el aumento de movimiento de material.

Al igual que en la versión 2015 de este estudio, se efectuó un modelamiento para la estimación del número de camiones **nuevos** necesarios para satisfacer la demanda de acarreo de material (lastre

<sup>9</sup> Wood Mackenzie, Q2 2016.

y mineral) para los próximos años<sup>10</sup>. A continuación se muestra una estimación de la demanda de camiones para el periodo 2015-2026, para un conjunto de operaciones que representa más del 90% del movimiento de material de minas a cielo abierto y teniendo en consideración que el valor obtenido corresponde al promedio de los modelamientos de escenarios con distintas vidas útiles de los camiones y que van desde los 10 a un máximo de 15 años.

**Fig. 22: Necesidad de nuevos camiones mineros (2016-2025)**



La estimación asume que los reemplazos de flotas se realizan en un plazo de 3 años y para camiones agrupados en 2 rangos de capacidades:

- \_ Gran Minería (Camiones asimilables a modelos Caterpillar 793-9797 y Komatsu 830E - 930E).
- \_ Mediana Minería (Camiones asimilables a modelo Caterpillar 789).

En el periodo 2016-2025 la Gran Minería requerirá 554 unidades de camiones de extracción nuevos y la Mediana Minería 101 unidades.

Cabe señalar que el modelamiento de la demanda de nuevos camiones toma en consideración el reemplazo de las actuales flotas de equipos producto del fin de su vida útil y asume que se mantienen las actuales configuraciones de carguío (modelos de camiones). Dicho supuesto también

<sup>10</sup> Supuestos utilizados:

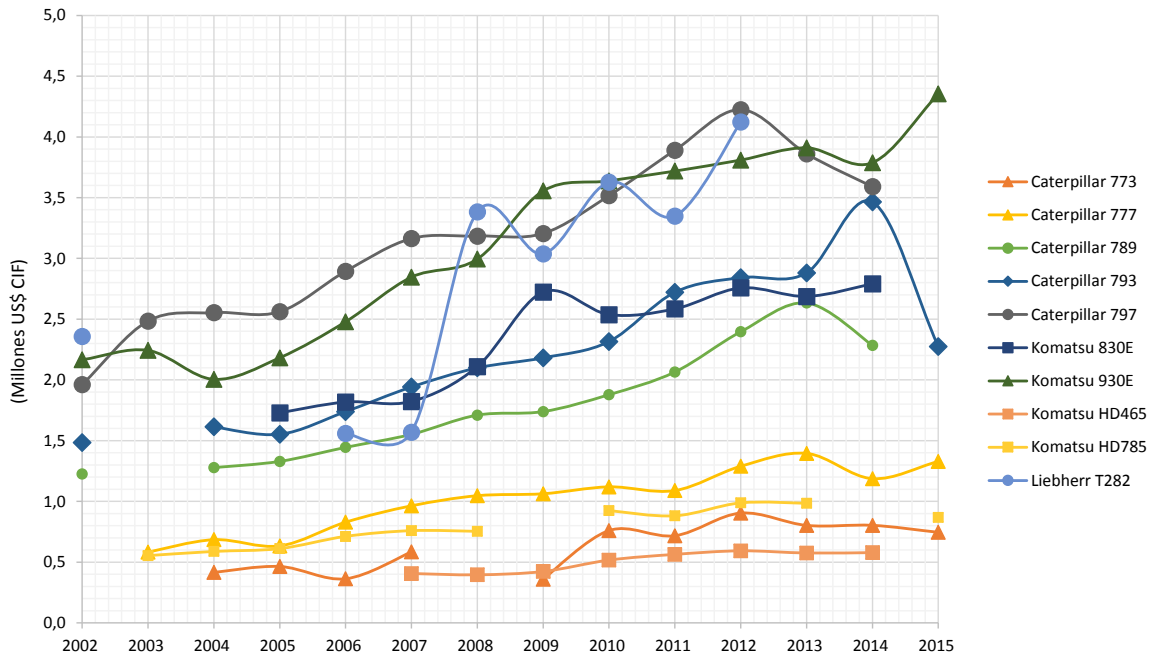
- \_ Velocidad promedio en pendiente y horizontal (lleno y vacío)= 25 Km/hr.
- \_ Se mantiene la configuración de capacidad de flota de camiones en cada faena (modelos usados actualmente).
- \_ Disponibilidad según vida útil del camión que va desde 86% a 73%.
- \_ Utilización efectiva de los camiones BD (76%)

se aplica para cuantificar el número de camiones adicionales necesarios para satisfacer el aumento del material movido en una operación minera.

### 4.3. Precio camiones de extracción

La totalidad de los camiones de extracción mineros son importados. En la siguiente figura se presenta la evolución del valor CIF de las importaciones de los modelos de camiones de extracción más demandados, de las marcas Komatsu, Caterpillar y Liebherr

**Fig. 23: Valor CIF (Millones US\$/unidad) camiones CAEX**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

Tomando en consideración las capacidades de carga nominales declaradas por los fabricantes, se aprecia similitudes de precios entre los modelos 930E (Komatsu) y 797 (Caterpillar), así como también entre los modelos 830E (Komatsu) y 789/793 (Caterpillar).



## 5. Palas de carguío

La minería en superficie no sería posible sin el uso de grandes equipos de carguío los cuales son parte integral del proceso minero. En las operaciones de la Gran Minería del Cobre a cielo abierto, las palas de cable y las hidráulicas son los equipos de carguío más utilizados.

Las palas de carguío son equipos de gran envergadura, que alcanzan elevadas producciones, con costos unitarios bajos y una alta disponibilidad mecánica. Entre otros, la diferencia entre la palas cable y las hidráulicas radica en que las primeras poseen mayor capacidad de carguío.

### 5.1. Oferta de palas de carguío

El análisis de palas se centra en los modelos más utilizados por las empresas de la Gran Minería del Cobre en Chile y que corresponden a:

**Tabla 7: Palas de Carguío Gran Minería del Cobre**

Marca	Serie	Tipo	Capacidades <sup>11</sup> (yd <sup>3</sup> )
<b>Caterpillar</b>	7495 (Bucyrus series 495)	Cable	53-73
<b>P&amp;H</b>	4100	Cable	54-76
<b>P&amp;H</b>	2800	Cable	34-46
<b>Komatsu</b>	PC 8000	Hidráulica	55
<b>Komatsu</b>	PC 5500	Hidráulica	32-37

Fuente: Cochilco

Según publicación de Editec. S.A. (2014)<sup>12</sup>, para un conjunto de 18 operaciones de la gran Minería del cobre que representa el 75% de la producción anual se observa lo siguiente:

- \_ De un total de 128 equipos, el 73% corresponde a palas eléctricas de cable y el resto (27%) son palas hidráulicas. Producto de la tendencia de las empresas mineras de mover una mayor cantidad de material (mineral y estéril), la pala de cable es la más utilizada en faenas mineras a cielo abierto debido a la productividad que puede alcanzar en las operaciones de carga.
- \_ La antigüedad promedio del parque de palas de cable e hidráulicas de las operaciones de la muestra es de aproximadamente 15 y 9 años, respectivamente (al 2015).
- \_ En relación a la distribución de palas por tipo según marca, se tiene:

<sup>11</sup> El rango de capacidades se obtuvo del “Catastro de Equipamiento Minero 2014/2013”, Editec S.A.

<sup>12</sup> “Catastro de Equipamiento Minero 2014/2013”.



**Tabla 8: N° de palas por marca, modelo y tipo**

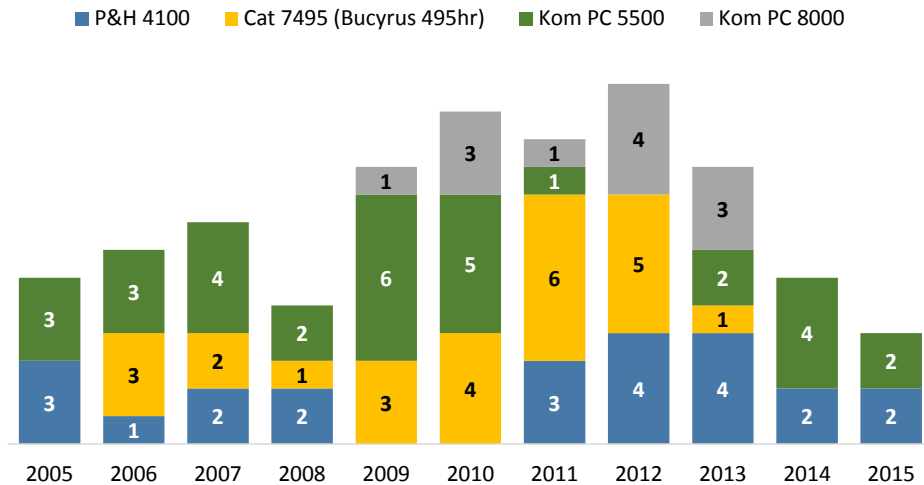
	Caterpillar	Komatsu	P & H
<b>Cable</b>			
4100			44
7495	5		
2800XP			12
495B	7		
495B I	2		
495BII	2		
495HR	21		
<b>Hidráulica</b>			
6060 FS	2		
PC5500		24	
PC8000		7	
RH200	2		
<b>Total general</b>	<b>41</b>	<b>31</b>	<b>56</b>

Fuente: Basado en “Catastro de Equipamiento Minero 2014/2013”, Editec S.A.

## 5.2. Importaciones de palas

Tomando en consideración los modelos analizados, en el periodo 2005 y 2015, se importaron en total 96 unidades.

**Fig. 24: Unidades importadas de palas de carguío (2005-2015)**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

En el año 2012 las unidades importadas alcanzaron el máximo (13 unidades), para luego comenzar a decrecer en forma sostenida y alcanzar las 4 unidades en el 2015.



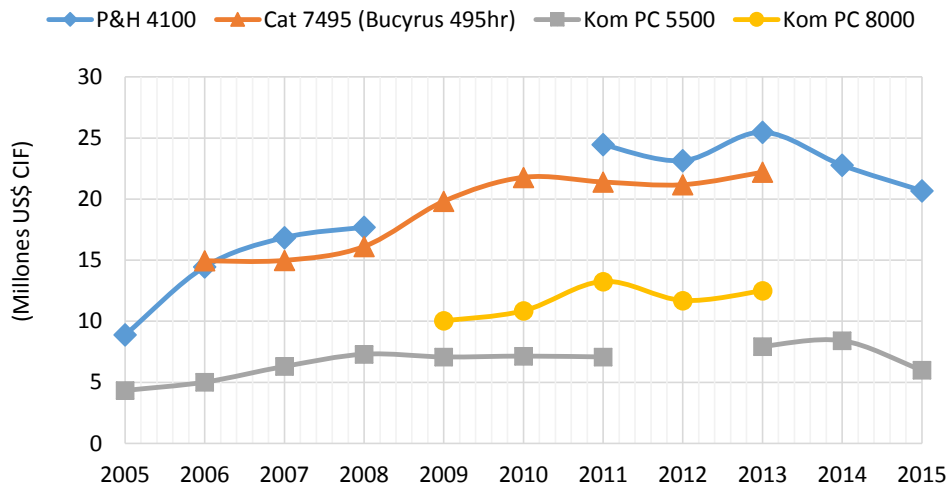
En el periodo 2005-2015 se importaron 48 unidades de los modelos de mayor tamaño (palas de cable P&H 4100 XPB-XPC y Caterpillar 7495 (Bucyrus 495hr)). Casi el 100% de las unidades fue importado directamente por las compañías mineras compradoras.

Una situación distinta ocurre con los modelos PC8000 y PC5500 de Komatsu, ya que sólo el 18% de las unidades fue importado directamente por las empresas mineras. En su gran mayoría (64%), las unidades importadas fueron hechas por el distribuidor de la marca en Chile.

### 5.3. Precio palas de carguío

Al igual que en los camiones de extracción, el 100% de las palas de carguío de los marcas analizadas son importadas. En la siguiente figura se presenta la evolución del valor CIF de los modelos de palas analizadas:

**Fig. 25: Valor CIF unitario Palas de Carguío 2005-2015**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

Al parecer el año 2013 marcó el fin del alza de los precios de las palas. Durante los últimos 2 años, los modelos 4100 y PC 5500 muestran un deterioro de sus valores CIF.



## 6. Neumáticos Mineros

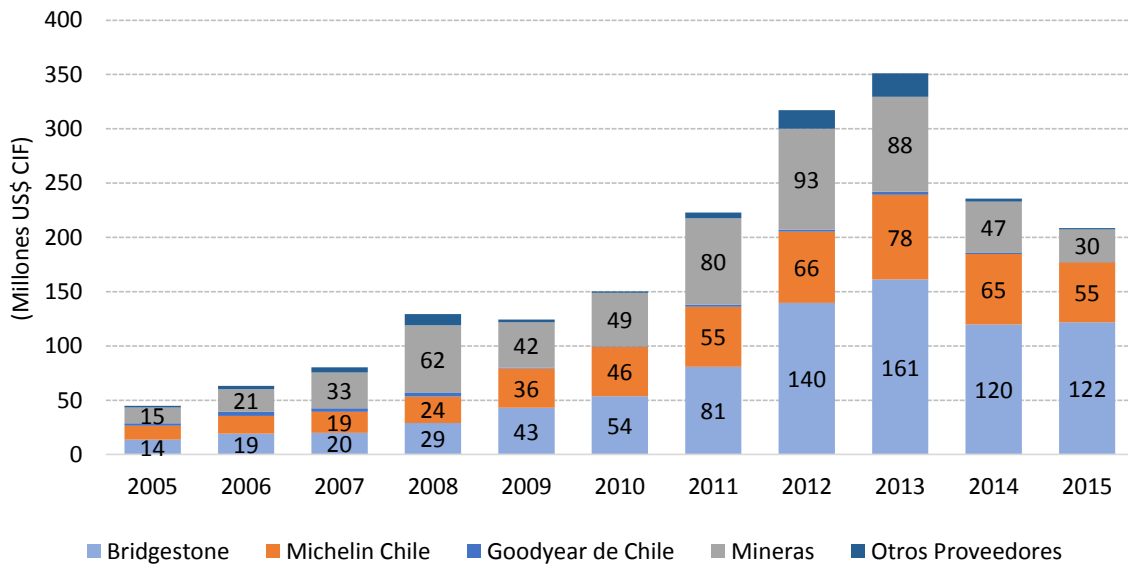
El análisis se centra en los neumáticos para camiones *off the road* analizados en el capítulo anterior de este documento y que corresponde a equipos utilizados en minas a rajo abierto. Los tamaños analizados corresponden a los especificados por los fabricantes de los camiones en sus catálogos, es decir, los siguientes tamaños<sup>13</sup>:

- \_ 24.00 R35
- \_ 40.00 R57
- \_ 27.00 R49
- \_ 46/90 R57
- \_ 33.00 R51
- \_ 53/80 R63
- \_ 37.00 R57
- \_ 56/80 R63
- \_ 42/90 R57
- \_ 59/80 R63

### 6.1. Importaciones de neumáticos

En Chile no existen fábricas para producir neumáticos de los tamaños analizados, por lo que el 100% se importa. El detalle de los volúmenes importados (millones de US\$ CIF), es el siguiente:

**Fig. 26: Importaciones de neumáticos (Millones US\$ CIF)**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

Hasta el año 2013 se produjo un aumento sostenido de las importaciones de neumáticos, la que fue de un 29% anual para el periodo 2005-2013. A partir del año 2014 se observa una brusca caída de

<sup>13</sup> RXX donde “R” hace referencia a la construcción radial del neumático y “XX” es el diámetro del aro en pulgadas.



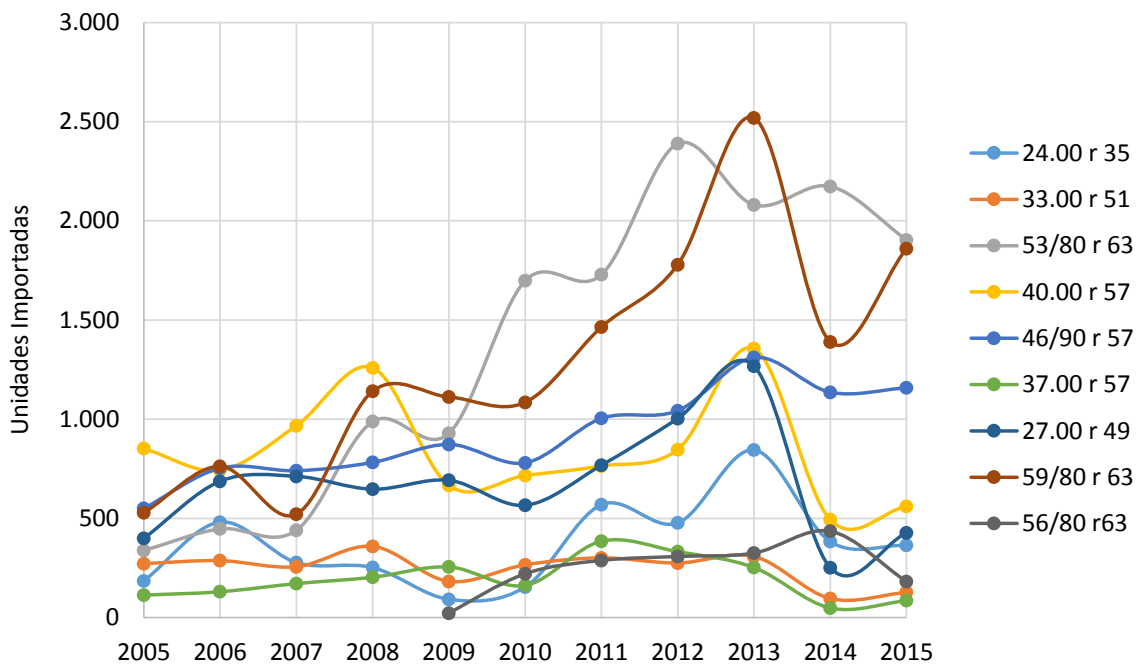
las importaciones, producto de la desaceleración del sector minero, cayendo desde los 351 en 2013 a 209 millones US\$CIF en el año 2015.

Bridgestone y Michelin son los principales fabricantes de neumáticos para camiones de alto tonelaje en la minería a cielo abierto.

Las importaciones de neumáticos gestionadas directamente por las empresas (operaciones) de la Gran Minería de Cobre representan el 29% del total importado en el periodo 2005 -2015, siendo Minera Escondida y Codelco las más significativas (24% del volumen importado en el periodo analizado). A diferencia del resto de las operaciones mineras, durante los últimos 9 años ambas empresas registran continuidad en las importaciones de neumáticos.

En la siguiente figura se desglosan las unidades importadas por tamaño de neumático:

**Fig. 27: Unidades de neumáticos importadas según tipo**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

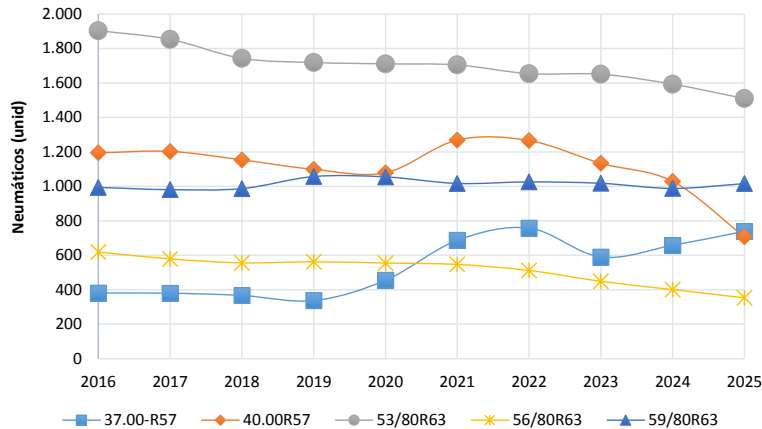
Las importaciones de neumáticos alcanzan su peak en el año 2013, para luego comenzar a descender, situación que se mantiene hasta el presente.



## 6.2. Demanda de Neumáticos

El análisis sólo considera aquellos neumáticos aro 57” y 63”, correspondientes a los camiones de extracción cuya capacidad supera las 150 toneladas. Por lo tanto, dicha demanda está ligada al tamaño del parque de camiones que estaría en operación durante el periodo 2016-2015<sup>14</sup>.

**Fig. 28: Demanda de neumáticos de grandes dimensiones (2016-2025)**



Fuente: Elaboración propia

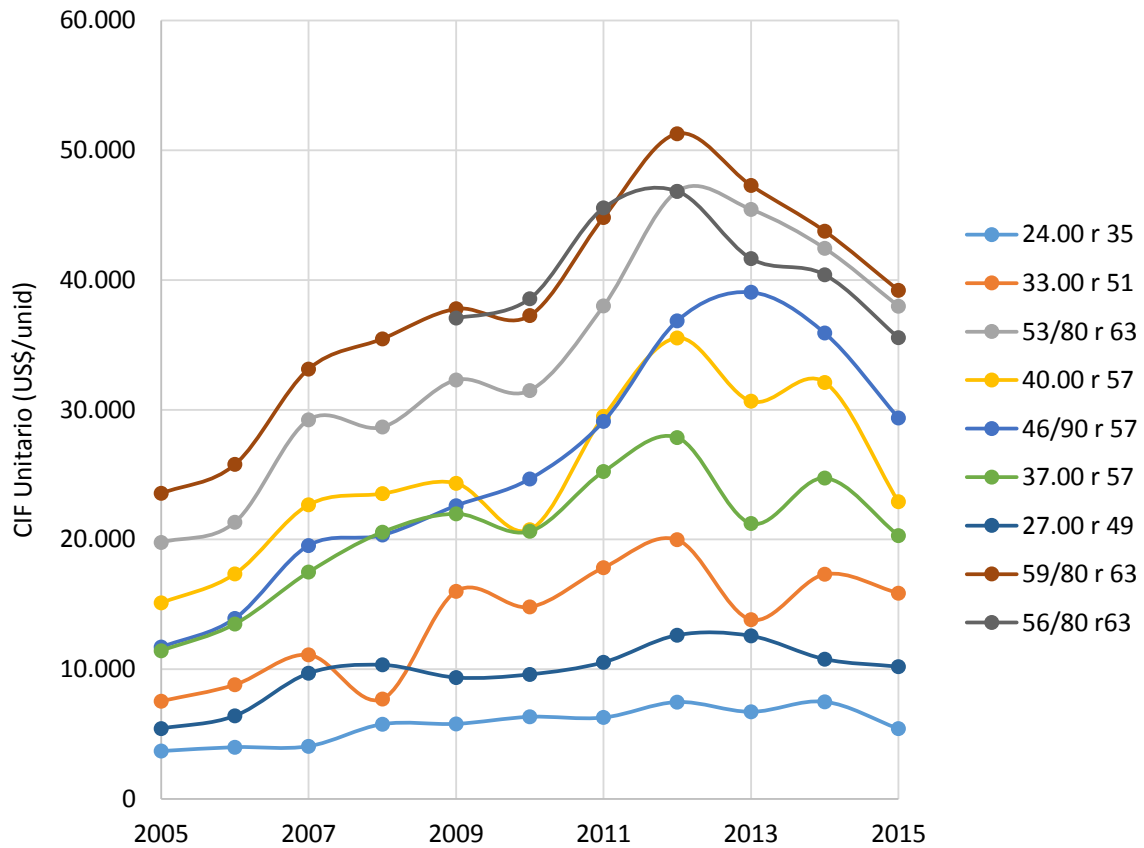
Los neumáticos analizados corresponden a los requeridos por los camiones modelos 789, 793, 797 de Caterpillar y 730E, 830E, 930E de Komatsu. Cualquier uso de dichos neumáticos en otro tipo de maquinaria no forma parte de la proyección.

## 6.3. Precio de neumáticos

Tal como ha ocurrido con el resto de los insumos para la minería, durante los últimos años se observa una caída en el precio de los neumáticos para la minería.

<sup>14</sup>Se asumen que la duración promedio de un neumático es de 5.000 hrs.

**Fig. 29: Valor CIF unitario neumáticos (US\$/unid)**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

A mayor tamaño del neumático, mayor es la variación de los precios en el periodo analizado. Planteado de otra forma, la desaceleración de la actividad minera golpeó con mayor fuerza los precios de los neumáticos de mayor tamaño, en especial aquellos neumáticos aro 57" y 63". A partir del año 2012 los precios comienzan a disminuir. Para el caso de los neumáticos de menores dimensiones, posiblemente la existencia de un mayor número de oferentes/proveedores explique la menor variabilidad de los precios.



## 7. Floculantes utilizados en la minería del cobre

Los floculantes convencionales son polímeros utilizados en el proceso de concentración de minerales, específicamente en las áreas de:

- Espesamiento de concentrado (proceso físico-químico que permite la separación de los minerales sulfurados de cobre y otros elementos como el molibdeno del resto de los minerales que componen la mayor parte de la roca original), y
- Filtrado/espesamiento de relaves (permite recuperar una parte del agua utilizada en las operaciones de molienda y flotación).

Debido a que no es posible predecir teóricamente el floculante sintético adecuado para una suspensión en particular, la selección se realiza en base a pruebas de laboratorio y se basa, entre otros, en la determinación de aspectos tales como la velocidad de sedimentación de distintos polímeros con diferentes características iónicas, pesos moleculares, estructuras de cadena, etc. sobre una muestra representativa del material a sedimentar.

Según fuentes consultadas, los floculantes convencionales ocupados por las principales empresas de la Gran Minería del cobre son importados y están disponibles bajo distintas marcas comerciales. A continuación se presenta un listado de algunos floculantes utilizados en la minería y que fue obtenido de los registros de importaciones:

**Tabla 9: Principales marcas de floculantes utilizados en minería<sup>15</sup>**

Fabricante	Marca
<b>Aguasin</b>	Praestol 2620
<b>Basf</b>	Magnafloc-1011
	Magnafloc-333
	Magnafloc-2025
	Magnafloc-155
	Magnafloc-338
<b>Kemira</b>	A-110
<b>Orica</b>	AP-2020
	NP-9910
<b>Snf</b>	TEC-2050
	913 SH
	SNF923 SH
	TEC-228
	SNF-103
	SNF-670

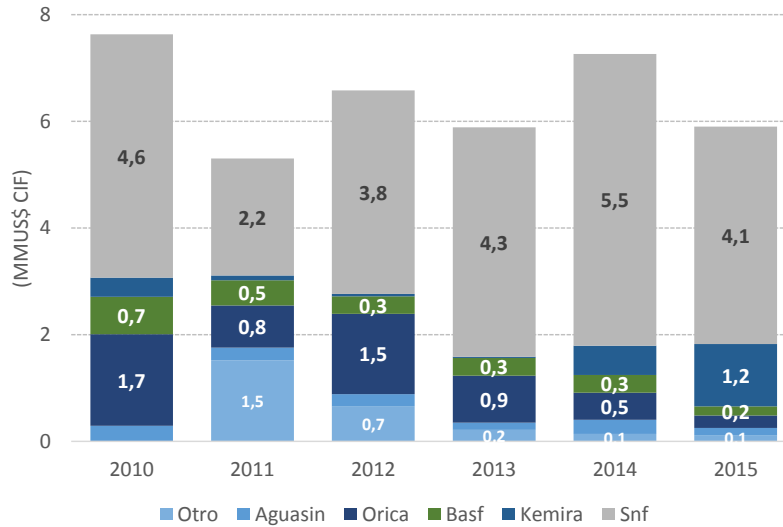
Fuente: Cochilco

<sup>15</sup> Códigos arancelarios considerados: 39089000, 38249099, 39069000, 38089329 y 36069000.

Cabe señalar que puede que existan otras marcas de floculantes importadas para ser utilizadas en la minería, sin embargo la glosa que describe al producto no entrega mayores antecedentes respecto de su uso final.

La evolución de las importaciones en MMUS\$ CIF de los principales floculantes utilizados en procesos mineros es el siguiente:

**Fig. 30: Importaciones de principales marcas de floculantes para la minería (MMUS\$ CIF)**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas

El gráfico anterior considera los volúmenes importados (MMUS\$ CIF), por los fabricantes de floculantes en base a las marcas indicadas en la Tabla N°9, además de otras marcas de floculantes pertenecientes a los fabricantes BASF, Kemira y SNF.

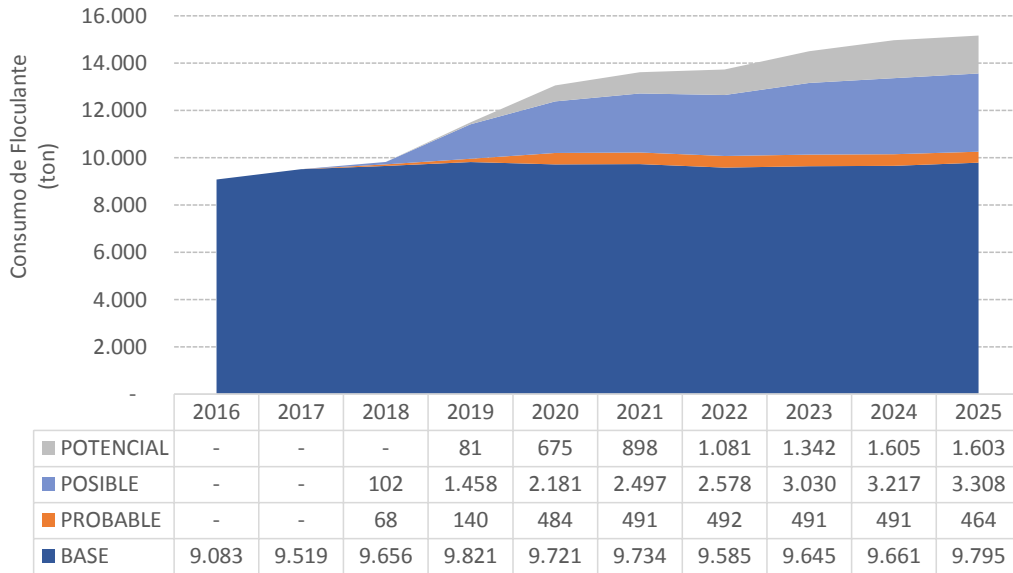
En el periodo 2010 -2015, las participaciones porcentuales de mercado según volumen importado de floculantes son: SNF (63%), Orica (15%), BASF (6%) y Kemira (6%). Dichas participaciones sólo consideran las marcas de floculantes indicadas en la Tabla N°9.

Tomando en consideración un consumo unitario de floculante por tonelada de mineral de sulfuro procesado de aprox. 15 gr/ton de mineral (criterio experto), se obtiene una estimación de consumo para los próximos 10 años.





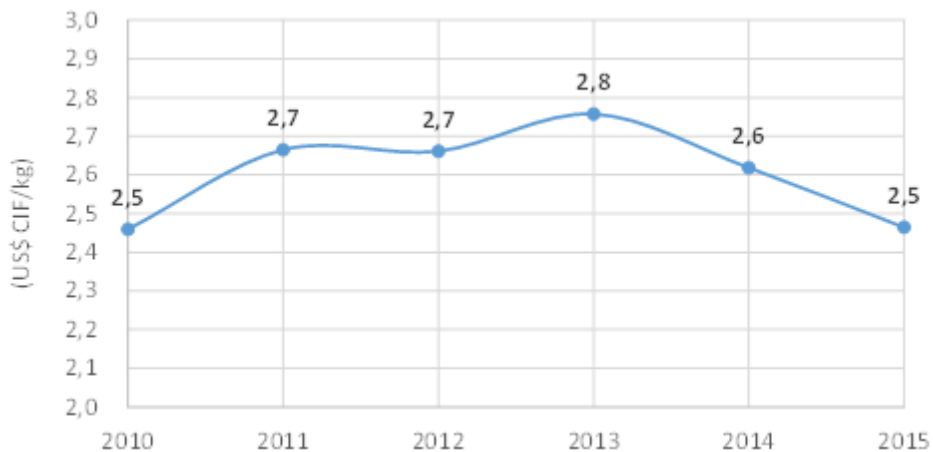
**Fig. 31: Consumo proyectado de floculantes (ton)**



Fuente: Cochilco

El consumo esperado de floculante podría experimentar un crecimiento sustantivo, en el caso de que se concreten aquellos proyectos de la cartera de inversiones mineras que se encuentran en una categoría “posible”, es decir, aquellas inversiones mineras con menor probabilidad de materializarse en los plazos definidos por sus propietarios como también las más propensas a verse afectadas por cambios en las condiciones de mercado.

**Fig. 32: Valor CIF unitario promedio de floculantes convencionales (US\$ CIF/kg)**



Fuente: Thompson Reuters (2016) en base a información de Aduanas



Durante los últimos 2 años el valor CIF de los floculantes<sup>16</sup> presenta una tendencia decreciente, situación que se mantiene en la actualidad.

Por otra parte, en los últimos años las empresas mineras están abocados a incrementar el tratamiento de minerales, esto implica aumentar la eficiencia de los espesadores encargados de recuperar agua. En algunos casos los floculantes convencionales no son capaces de mantener su eficiencia y se producen problemas operacionales (aumento torque de rastras) y de transporte de espesado. Para solucionar estos problemas, se han creado línea de polímeros “floculantes modificadores reológicos” cuyo objetivo es aumentar la eficiencia de los espesadores.

---

<sup>16</sup> El valor unitario promedio considera las marcas de floculantes que presentan continuidad y relevancia en los volúmenes importados, en el periodo 2010-2015 (Praestol 2620 (Aguasin), Magnafloc 155 (BASF), Magnafloc 2025 (BASF), Magnafloc 333 (BASF), Superfloc A-110 (Kemira), Orifloc AP 2020 (Orica), Orifloc NP 9910 (Orica), 913 SH (BASF) y 923 SH (BASF)).



## 8. Bibliografía

- Aceros Chile S.A. (s.f.). *Servicio de Evaluación Ambiental*. Obtenido de [http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id\\_expediente=2128479692](http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2128479692)
- (s.f.). *Brochure Camiones Caterpillar (773 -775 -777-785-789-793-795-797) (56 ton); Komatsu (730E- 830E -930E -960E- HD465 - HD605- HD785); Liebherr (T282)*.
- (s.f.). *Brochure Palas Mod. Caterpillar (7495); P&H (2800-4100); Komatsu (PC 8000 - PC 5500)*.
- Cementos Bio Bio S.A. (s.f.). *Memorias 2010-2015*.
- Cochilco. (2007). *Oportunidades de Negocios para Proveedores de Bienes, Insumos y Servicios Mineros en Chile*.
- Cochilco. (2016). *Actualización de la inversión en la minería chilena -cartera de proyectos 2016 - 2025*.
- Coloma Álvarez, G. (2008). *La Cal: ¡Es un reactivo químico!* Santiago.
- Compañía Electro Metaquímica S.A. (s.f.). *Memorias Anuales 2010-2015*.
- Editec S.A. (2014). *Catastro de Equipamiento Minero 2013-2014*. Santiago: Editec. S.A.
- Moly\_Cop. (Marzo de 2012). *Presentación OneSteel Mining Consumables*.
- Sigdo Koppers S.A. (s.f.). *Memorias 2014-2015*.
- Soprocal. (s.f.). *Memorias 2010-2015*.
- Sopromin Tocopilla Ltda. (s.f.). *Modificación DIA Planta de Cal*. Obtenido de Servicio de Evaluación Ambiental:  
[http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id\\_expediente=8332747](http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=8332747)
- Thompson Reuters. (2016). CheckPoint. *Base de Datos Exportaciones e Importaciones*.



Este trabajo fue elaborado en la  
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por:

**Ronald Monsalve Helfant**

[rmonsalv@cochilco.cl](mailto:rmonsalv@cochilco.cl)

Analista de Mercado Minero

**Jorge Cantallopts**

Director de Estudios y Políticas Públicas

Agosto / 2016

V2

