



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROBLEMÁTICA DE LAS FUNDICIONES DE COBRE EN CHILE Y
LEAN MANAGEMENT COMO METODOLOGÍA DE GESTIÓN

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGISTER EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

JULIO PATRICIO PEREZ VALLEJOS

PROFESOR GUÍA:

JULIO MORALES OLIVARES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

JACQUES CLERC PARADA

SANTIAGO DE CHILE

2017

1. Resumen

Las fundiciones de cobre en Chile producen el 12% del mercado mundial de ánodos. A pesar de esta importante participación, la industria local vive un complejo escenario, dado que en general, se utiliza una tecnología que data de los años 70s, la cual ha sido superada con creces por nuevos desarrollos tecnológicos, especialmente chinos. Adicionalmente, las fundiciones nacionales enfrentan altos costos operacionales, tanto de remuneraciones, como materiales, servicios y energía, mientras que por el lado de los ingresos, los cargos de tratamiento para fundir el concentrado han caído, toda esta combinación de factores han provocado no solo una pérdida de competitividad en la industria, sino además sucesivas pérdidas en los estados financieros.

Por otro lado, las fundiciones locales deben invertir cerca de 2.500 millones de dólares para adaptar sus operaciones a la nueva normativa medioambiental, lo que no implicará una mayor producción.

Ante este escenario y considerando que existen varios motivos que justifican la necesidad de contar con la industria de fundición de cobre en Chile, se hace necesario el buscar mecanismos que puedan mejorar los resultados, tanto por el lado de reducir los costos como para aumentar la producción, de esta manera se presenta la metodología Lean management, una forma de gestión mundialmente extendida en varias otras industrias, que ha probado generar buenos resultados.

La implementación de Lean en las fundiciones de cobre tiene un potencial de éxito, dado que esta metodología es especialmente acertada cuando se tiene una alta variabilidad en la producción, lo que se puede mejorar con estándares operacionales, diálogos de desempeño y una gestión de adherencia a tales estándares, entre otras herramientas de Lean.

No se pretende generar utilidades en las fundiciones con la aplicación de Lean management, ni mucho menos llegar a ser tan competitivas como las fundiciones de cobre en China, porque en Chile no se tiene la tecnología de tal país, así como tampoco sus bajos costos operacionales, pero la utilización de esta metodología al buscar eliminar los desperdicios (lo que no aporta valor al servicio que ofrece la empresa) implicará una reducción de costos y/o aumentos de producción.

Tras presentar la metodología de forma teórica se presentan variados ejemplos de la aplicación de ésta, particularmente en las fundiciones de cobre, una de las cuales ha estimado que puede aumentar su producción en un 14% con la implementación de lean management. A modo de estimación, si las cuatro fundiciones de CODELCO alcanzaran este aumento potencial, se podría entregar al mercado del orden de 130 mil tmf de mayor cobre moldeado anual.

2. Agradecimientos

Las primeras personas a quien quisiera dar mis agradecimientos son a mi familia y pareja, por toda la paciencia que siempre me han tenido y por su comprensión al darme el espacio requerido para poder desarrollar un programa de postgrado tremendamente demandante, dado que no fue fácil compatibilizar la vida laboral con la personal y educacional en estos dos años, por lo que me es muy grato haber cumplido con éxito este desafío educacional.

Por otro lado, debo también agradecer a la Corporación Nacional del Cobre y en especial a la gerencia de la División Ventanas, por darme las facilidades para conseguir mi magister en administración de empresas, por permitirme mi desarrollo profesional en la corporación y por haberme dado la oportunidad de conocer la metodología Lean en una pasantía que realicé en División Teniente.

Adicionalmente, quisiera agradecer a todos quienes me ayudaron a realizar la presente tesis, ya sea con material de trabajo o con sus valiosos consejos y orientaciones, a mis colegas, jefaturas operacionales, a mi profesor guía, al ex director de excelencia organizacional de División Teniente y a mis jefaturas.

Finalmente, quisiera dirigir mis agradecimientos al programa MBA versión Industria minera de la Universidad de Chile, a su equipo directivo y a todos los profesores de quienes tuve la gran satisfacción de conocer y la oportunidad de aprender y profundizar conocimientos.

Gracias a todos.

Tabla de contenido

1.	Resumen.....	ii
2.	Agradecimientos	iii
3.	Introducción	1
4.	Justificación del proyecto y Objetivos.....	2
5.	Tecnología e Industria mundial de fundiciones de cobre	3
6.	Situación y problemática fundiciones de cobre en Chile	5
7.	Lean management.....	10
	7.1 Principios de Lean management	11
	7.2 Herramientas de Lean management	11
	7.3 Desperdicios para Lean management	13
8.	Ejemplos de aplicación de Lean management en minería	14
	8.1 Aplicación Lean en Rio Tinto Aluminium	15
	8.2 Aplicación de Lean en Minera The Northparkes.	17
9.	Aplicación de Lean management en una Fundición de cobre	18
	9.1 Identificación del valor de la fundición.....	18
	9.2 Plan de comunicación, selección y capacitación del equipo Lean	20
	9.3 Análisis de datos, procesos y flujo.....	20
	9.4 Procesos generales en la fundición de cobre	21
	9.5 Diagnóstico de desperdicios para reducir el MUDA en una fundición	22
	9.6 Potencial aumento de producción y/o ahorro de costos con Lean	26
	9.7 Primera intervención o “Primera Ola”	27
	9.8 Gestión del desempeño.....	28
	9.9 Desarrollo de las personas	29
	9.10 Resolución de problemas	30
	9.11 Estandarizar	31
10.	Evaluación económica	34
11.	Conclusiones y curso de acción	36
12.	Bibliografía	38

3. Introducción

En una primera parte de la presente tesis, se aborda la industria mundial de fundiciones de cobre, el tipo de tecnología que se utiliza y la participación de mercado, para luego llegar a la industria local con la problemática que enfrenta esta industria en Chile, sus participantes, tecnología, calidad del concentrado que se procesa en el país, temas medioambientales y la justificación de la existencia de las fundiciones de cobre en el país.

Posteriormente, se presenta la metodología Lean de forma teórica, como una forma de gestión para aumentar la producción y/o reducir los costos, cuyo origen está ligado al creador de la automotriz Toyota y fue bautizada con el nombre de Lean por los investigadores del Massachusetts Institute of technology (MIT), JP Womack, y Daniel Jones, creadores de los libros “La máquina que cambió el mundo” y “Lean thinking”.

Además de la industria automotriz, la cual ya ha masificado la implementación de la metodología Lean en sus procesos como en las empresas Toyota, Opel, Porsche, BMW, Ford, Audi, Renault, entre otras, se ha utilizado Lean en las industrias de logística, salud, aeronáutica, manufactura, farmacéutica, retail, minería y otras. En Chile, la empresa aeronáutica LAN se ha destacado por su aplicación, la cual comenzó en el año 2009, logrando buenos resultados como la reducción del tiempo en tierra de los aviones, disminución de errores en los procesos y aumento de la productividad.

En la minería local, Codelco División Teniente ha implementado la metodología Lean para eliminar desperdicios y alcanzar mejores desempeños productivos, así por ejemplo, logró en el año 2013 mejorar los indicadores de procesos en la mina El Diablo Regimiento, en donde incrementó la utilización efectiva de los equipos LHD en un 31% y logró aumentos de producción de un 25%, logros basados en la reducción de los desperdicios y la instalación de estándares operacionales con Lean management.

Posteriormente, se revisan algunos ejemplos de empresas mineras que han implementado Lean en sus operaciones, para pasar finalmente a la implementación de Lean, particularmente en la industria de fundiciones de cobre en Chile.

4. Justificación del proyecto y Objetivos

La industria de fundición de cobre en Chile está siendo cuestionada por la sociedad, debido a sus malos resultados económicos y la necesidad de realizar una alta inversión para cumplir con la normativa medioambiental.

En la presente tesis se expone porqué se tienen los actuales resultados financieros en las fundiciones nacionales, de forma de darle al lector una revisión general de la problemática que enfrentan las fundiciones de cobre, la tecnología que se utiliza en Chile, la que se utiliza en el mundo, participación de mercado, costos de producción, calidad de concentrados procesados y las razones que justifican la existencia de esta industria en el país.

Adicionalmente, se estima que la metodología lean tiene un alto potencial de éxito en las fundiciones locales, por lo que se pretende con la presente tesis, fomentarla en la industria junto con entregar al lector algunos de los conceptos y herramientas básicas lean y como se aplicarían en las fundiciones de cobre en Chile.

Los objetivos generales de la presente tesis son los siguientes:

- Identificar la tecnología utilizada en los procesos de fundición de cobre
- Indicar la participación de mercado mundial de las fundiciones de cobre
- Indicar la problemática de las fundiciones de cobre nacionales
- Introducir la metodología lean
- Definir las herramientas básicas de lean
- Mostrar ejemplos de empresas mineras que han implementado Lean
- Fomentar la utilización de Lean en las fundiciones de cobre

5. Tecnología e Industria mundial de fundiciones de cobre

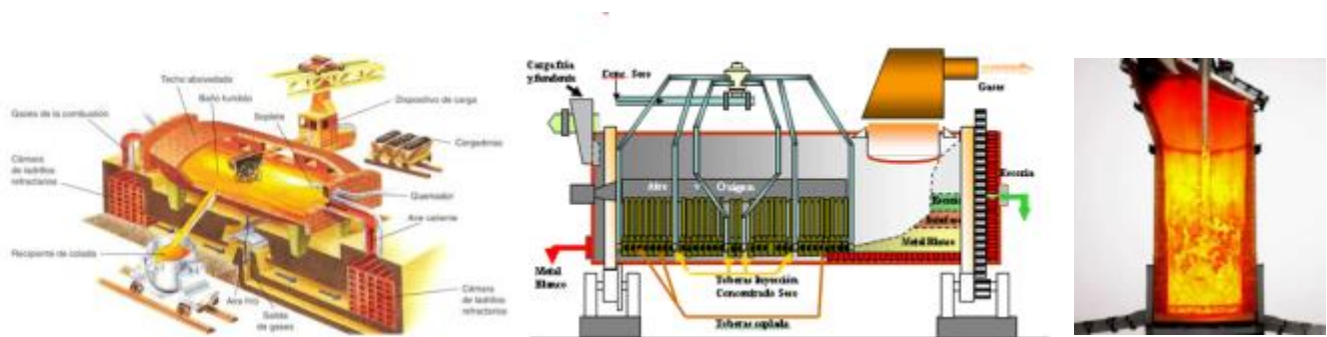
El proceso de fundición de cobre consiste en separar el cobre de otras especies presentes en el concentrado de cobre, siendo el hierro y el azufre lo más abundante, lo que se logra mediante sucesivos procesos, con las que se logra producir blíster, refino a fuego o ánodos de cobre.

Las tecnologías utilizadas para la fusión de cobre son:

1) **Fusión por calentamiento directo:** es un horno que funciona por calentamiento directo (combustión de hidrocarburos), el más famoso es el horno reverbero, casi ya no utilizado a nivel mundial por la ineficiencia térmica.

2) **Fusión en baño:** es un reactor que funciona por la energía producida con las reacciones de oxidación que ocurren dentro. Los más famosos son el convertidor Teniente (CT), Noranda, Isasmelt, Ausmelt y Mitsubishi.

3) **Fusión por inyección en baño líquido (Flash):** funciona con la combustión de las partículas de concentrado en suspensión en altas torres de reacción, el más famoso es la versión de Outotec.



Horno reverbero

Convertidor Teniente

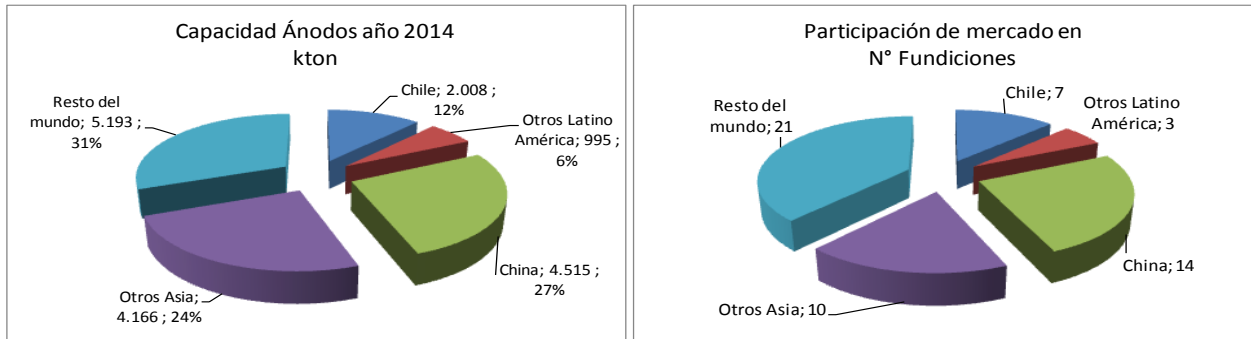
Horno Flash

Fuente Google

Por otro lado, la conversión de cobre puede realizarse de forma continua o discontinua:

- **Conversión continua:** Consiste en el ingreso y sangrado continuo de cobre sin interrupciones, destacándose la tecnología flash, Mitsubishi y las chinas desarrolladas por la fundición Jinfeng.
- **Conversión discontinua:** Consiste en la conversión de cobre por etapas, las que deben terminar para comenzar la siguiente. Se destaca el convertidor Peirce Smith (CPS) y Hoboken.

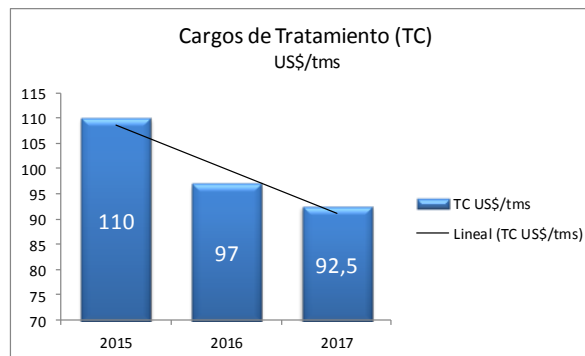
Respecto a la industria mundial de fundiciones, según fuentes de Cochilco, en el año 2014 existían 55 fundiciones de cobre en el mundo, 7 de éstas ubicadas en Chile con una participación de mercado de ánodos del 12%. China por su parte lidera la producción con 14 fundiciones que producen el 27% del mercado de ánodos, como se muestra en la siguiente imagen:



Fuente: Tecnologías en fundición de cobre, COCHILCO, 2015

Respecto al tipo de tecnología utilizada, el 43% utiliza la fusión de tipo flash, el 34% utiliza la fusión en baño, el 20% utiliza una mezcla de distintas tecnologías, mientras que un 3% utiliza otra tecnología. Sin embargo a lo anterior, posterior al año 2000, la tecnología de baño es la tecnología predominante que han preferido las fundiciones, y la que prefieren las nuevas debido a la mayor eficiencia de éstas.

Los ingresos de la fundición de cobre provienen principalmente por los cargos de tratamiento (treatment charges o TC), factor de localización, venta de ácido sulfúrico y recuperación de metales preciosos. Los TC se fijan mediante dos formas: al mercado spot y en contratos de largo plazo entre las mineras productoras de concentrado y las fundiciones, precios que han caído los últimos años, como se observa en el gráfico a continuación.



Fuente: Elaboración Propia

6. Situación y problemática fundiciones de cobre en Chile

De las 7 fundiciones nacionales, 5 de éstas son operadas por empresas del Estado de Chile que juntas procesan el 73% del concentrado que se procesa en el país, a través de la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) y la empresa nacional de minería (ENAMI), como se muestran en la siguiente tabla.

Fundiciones de Cobre en Chile

Fundición	Capacidad Kts/año	% Capacidad	Dotación	Inversión para normativa	Tecnología
<i>Codelco</i>	3.790	67%	2.550	1.285	
Chuquicamata	1.400	25%	850	384	Convertidor Teniente - Flash
Caletones	1.350	24%	700	467	Convertidor Teniente
Potrerrillos	640	11%	400	301	Convertidor Teniente
Ventanas	400	7%	600	133	Convertidor Teniente
<i>ENAMI</i>	320	6%	320	395	
HVL	320	6%	600	395	Convertidor Teniente
<i>Privadas</i>	1.550	27%	1.100	241	
Altonorte	1.000	18%	700	150	Convertidor Noranda
Chagres	550	10%	400	90	Flash
Total	5.660	100%	3.970	1.921	

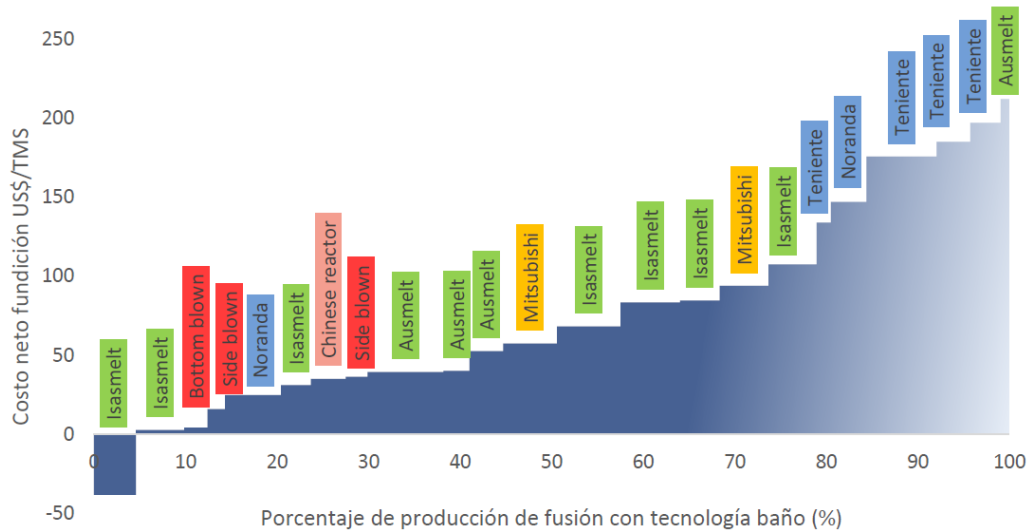
Fuente Elaboración Propia a partir de Situación Actual Fures, ENAMI, 2015 y Hoja de ruta de la minería al 2035, Fund Chile y CORFO Nov 2015

7.1 Tecnología y costos

La tecnología predominante en Chile, sin duda es el Convertidor Teniente, como se indica en la tabla anterior, el cual fue desarrollado y patentado por División El Teniente de Codelco en los años 70's. Su creación fue producto de la investigación del superintendente de fundición Caletones, Hermann Schwarze, quien experimentó con un convertidor pequeño proveniente de Chagres. Su creación fue en éxito debido al menor requerimiento de materiales y combustible, por lo que varias fundiciones en el mundo comenzaron a operar con esta tecnología.

Sin embargo, actualmente la tecnología del Convertidor Teniente dejó de ser una de las más eficientes, dada la irrupción de nuevos desarrollos de fusión en baño, particularmente Chinos, como top blowing, side blowing y bottom blowing, los cuales se diferencian según la posición del ingreso de aire (soplado superior, lateral o inferior, respectivamente), cuyo costo neto de fundición no pasa de 50 US\$/tms, versus la tecnología del Convertidor Teniente que fácilmente llega a 200 US\$/tms, como se muestra en el siguiente gráfico:

Porcentaje de producción de fusión con tecnología baño



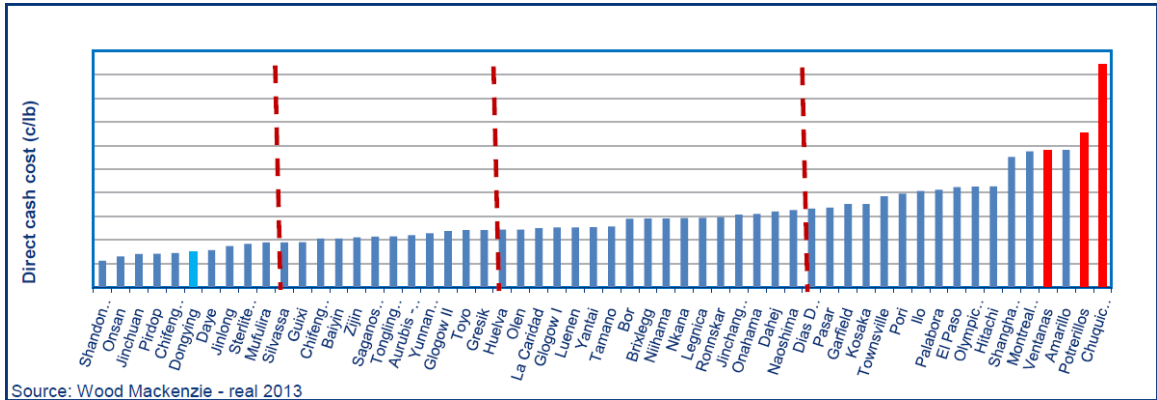
Fuente: Tecnologías en fundición de cobre, COCHILCO, 2015

Entre las ventajas del desarrollo tecnológico Chino, particularmente del bottom blowing, se encuentran:

- Mayor energía de burbujeo lo que favorece la fusión y reduce el tiempo de la mezcla
- Disminución de gases fugitivos y mayor fusión autógena
- Mayor vida útil del horno y lanzas de oxígeno
- Menor ruido
- Bajo contenido de magnetita en escoria, dado que el aire se inyecta directamente en la mata de cobre evitando el contacto con la zona de escoria.
- Mayor adaptabilidad en la alimentación, porque puede tratar concentrados con humedad entre 8% y 10%, evitando el proceso de secado.

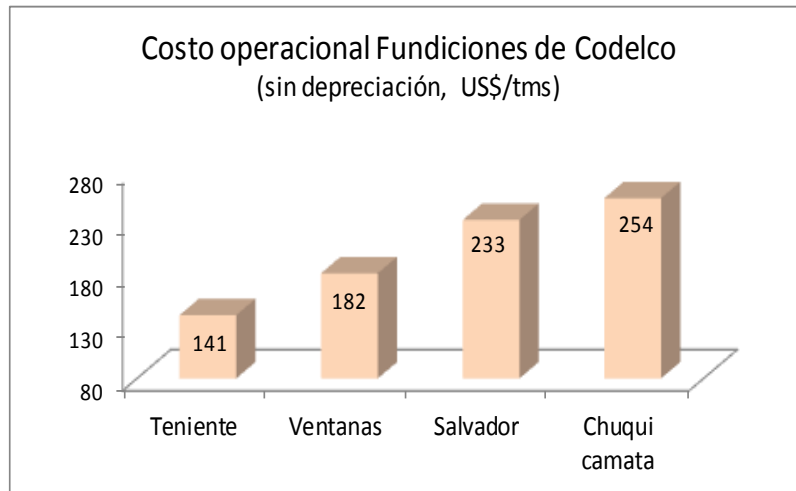
En el año 2013, Wood Mackenzie publicó los costos directos de fundiciones a nivel mundial, dejando a las fundiciones chilenas Ventanas, Potrerillos (Salvador) y Chuquicamata en el último cuartil de costos, como se muestra en la siguiente imagen. Es importante indicar que los mayores costos obedecen no solo al tipo de tecnología utilizado, sino también a los mayores costos de energía eléctrica, petróleo, servicios de terceros y mano de obra que enfrentan las fundiciones locales.

Costo directo por fundición



Fuente: Programa Nacional de minería, CORFO y Fundación Chile, junio 2015

Consistente con los gráficos anteriores, al comparar exclusivamente las fundiciones de Codelco, se observa que los costos unitarios operacionales para fundir una tonelada de concentrado de cobre, varían desde 141 US\$/tms hasta 254 US\$/tms, como se observa en el siguiente gráfico:



Fuente: Elaboración Propia, en base a inf de gestión divisionales, año 2015

Fundición Caletones, de Teniente, no se ubicaría en los cuartiles de mayor costo, en parte influido por el mayor denominador, el que llega a 1,3 millones de tms procesadas al año, como se muestra en el siguiente cuadro:

Fundición		Salvador	Teniente	Chuqui camata	Ventanas
Indicadores Fundición					
Costo operacional FU sin Dep	US\$/tms	233	141	254	182
Cucons Procesado	Ktms	408	1.313	950	383
Prod Acido Sulfurico	ton	312	1.183	1.022	332
Cobre Moldeado Total	Ktmf	97	372	296	158

Fuente: Elaboración Propia, en base a inf de gestión divisionales, año 2015

7.2 Calidad de concentrados

Chile produce concentrados con distintos contenidos de arsénico, algunos de los cuales llegan a 4%, los que se denominan concentrados complejos o “sucios”, dado que su composición mineralógica tiene consecuencias negativas en la fundición. Los concentrados complejos tampoco se pueden enviar directamente a tratar en China, dado que desde el año 2014 China restringió la importación de concentrados de cobre con contenidos de arsénicos superiores a 0,5%, por tal motivo se han buscado las siguientes vías de solución:

- Mezcla de concentrados limpios con sucios, con el fin de llegar al 0,5% de contenido máximo de arsénico, lo cual no es lo ideal, dado que, según estudios de COCHILCO, para tratar un concentrado de 1.000 tms con un 3% de arsénico, se requieren al menos 5.000 tms de concentrado limpio para llegar a un % de arsénico final de 0,5%.
- Elaboración de calcina, que es un producto intermedio obtenido tras el proceso de tostación parcial del concentrado de cobre, lo que logra bajar el contenido de arsénico al orden del 0,3%.

7.3 Impacto medioambiental

Chile se encuentra dentro de los 5 países con peor desempeño ambiental capturando un bajo nivel de SO₂, incluso tras la aplicación de la nueva normativa ambiental referida al 95% de captura de SO₂, Chile se mantendrá en el último cuartil de la industria mundial, la cual se compara con un 98% de captura de azufre en las fundiciones chinas, 99% en las fundiciones japonesas y 98,5% en las fundiciones alemanas. Adicionalmente para cumplir la normativa, se requerirá una inversión total entre 2.000 y 2.500 millones de US\$, sin que ello implique una mayor producción.

7.4 Investigación y Desarrollo

Existe un bajo nivel de I&D en las fundiciones nacionales, así por ejemplo, la Fundación Chile y CORFO (2015) concluyeron que en el período 2010-2015, los principales países que patentaron en esta industria fueron Japón, Estados Unidos, China, Alemania y Finlandia, con desarrollos tecnológicos liderados principalmente por las empresas y poca vinculación con las universidades.

7.5 Motivos que justifican la existencia de las fundiciones locales

En general, las fundiciones locales operan con una tecnología de los años 70s que dejó de ser competitiva a nivel mundial, con altos costos, con baja captura de azufre, escasa inversión en investigación y desarrollo, baja capacidad de fusión comparada con el resto del mundo, baja recuperación de cobre y nula recuperación de energía, como se muestra en la siguiente tabla:

Parámetro	Unidad	Fundiciones chinas	Fundiciones japonesas	Fundiciones alemanas	Fundiciones chilenas
Capacidad fusión/equipo	Kts/año	1000-1500	1200	1200	320-1000
Captura de azufre	%	98	99	98,5	95
Costo Unitario	cUS\$/lb	13	18	19	22-40
Recuperación de cobre	%	98-98,5	98-99,5	98	95-97,4
Recuperación de energía	Si/No	Si	Si	Si	No
Recuperación de otros metales	Si/No	Si	Si	Si	No

Fuente: Situación actual, perspectivas y alternativas para FuRes de Chile, ENAMI, 2015

Sin embargo a lo anterior, existen varios motivos que explican la existencia de las fundiciones en Chile, algunos de los cuales son los siguientes:

- Alta concentración de mercado de fundición a nivel mundial, de no existir las fundiciones en Chile, se entregaría aún más poder a las fundiciones Chinas para la fijación de los cargos de tratamiento.
- Inexistencia de infraestructura portuario que resista la exportación de solo concentrado de cobre.
- Aporte al valor agregado del mercado del cobre, permitiendo la exportación de cobre de alta ley versus la venta de concentrado de cobre.
- Permite la explotación de minerales complejos como los provenientes de Ministro Hales o Chuquicamata subterránea, dado que los concentrados complejos (con alto contenido de arsénico) tienen restricciones para ser exportados a China.
- Permite la existencia de la pequeña y mediana minería, dando acceso a los mercados internacionales a través de ENAMI y la maquila desarrollada por Codelco Ventanas.
- Alto costo de cierre, estudios de ENAMI indican que el cierre de las fundiciones y refinerías locales significaría un costo en valor presente de 7.500 millones de US\$.

Dado lo anterior, las fundiciones nacionales se encuentran en un escenario muy complejo, por una parte no son competitivas a nivel mundial y por otro son necesarias en el país. Por tanto, entre las medidas que se han adoptado para mejorar la competitividad de las fundiciones, se encuentran la contención de costos de mano de obra, la búsqueda de materiales operacionales más económicos, contratos de suministro de energía eléctrica, optimización de servicios de terceros, externalización o internalización de servicios y otros.

En la búsqueda de mejorar la eficiencia productiva, las fundiciones locales están implementando una nueva forma de gestionar sus operaciones, utilizando una metodología probada en otras industrias a nivel mundial, la cual es Lean management, con las que ya han incursionado las fundiciones Caletones de División Teniente y últimamente la fundición Chuquicamata. Actualmente Codelco se encuentra en un proyecto denominado C+, el cual pretende justamente la implementación de esta metodología en varias de sus divisiones para así alcanzar la Excelencia operacional, por lo que se hará cada vez más común los términos agentes de cambio, estándares operacionales, desperdicios, diálogos de desempeño y otros. En los próximos capítulos se pretende describir conceptualmente esta metodología de gestión para terminar con la aplicación de estos conceptos en la industria de fundición de cobre.

7. Lean management

El origen de Lean está ligado al creador de la automotriz Toyota y fue concebida por el consultor Taiichi Ohno, director de la automotriz y el ingeniero Shigeo Shingo.

Taiichi Ohno y Shigeo Shingo analizaron las técnicas de producción de Estados Unidos y se dieron cuenta de que los procesos de fabricación estadounidense podían ser mejorados y adaptados a las necesidades de una empresa como Toyota (pequeña en sus orígenes, con poco capital y que no podía permitirse el lujo de residuos), Al estudiar el sistema de producción de EEUU, se impresionaron por el énfasis excesivo de los norteamericanos en la producción en masa, en perjuicio de la variedad, y en el nivel de desperdicio que generaba. Más tarde visitando un supermercado, Ohno tuvo la inspiración del ejemplo a seguir, inventarios reducidos, eliminación de pasos innecesarios, control de actividades y primarias y en dar el control a quien hace el trabajo.

Ohno y Shingo crearon lo que se conoce como el Sistema de Producción de Toyota (TPS), cuyo objetivo era reducir los costos y mejorar la productividad eliminando actividades que no añadían valor al producto, lo que llevaría a Toyota a convertirse años más tarde en una de las compañías más grandes del mundo

Durante los años 80s, el TPS atrajo la atención del mundo occidental, que querían conocer las causas del éxito de la industria automotriz japonesa, la que mostraba índices de productividad bastante más altos que los americanos, como se muestra en el siguiente cuadro:

Producción en masa vs ajustada
Planta de montaje de Framingham, de General Motors
vs Planta de montaje de Takaoka, de Toyota, 1986

	Framingham	Takaoka
Horas de montaje bruto por auto	40,7	18
Horas de montaje ajustado por auto	31	16
Defectos de montaje cada 100 autos	130	45
Espacio de montaje por auto	8,1	4,8
Existencia de inventario (promedio)	2 semanas	2 horas

Fuente: La máquina que cambió el mundo, Womack, Jones y Ross, 1990

De esta manera, en 1985, un equipo del Massachusetts Institute of Technology (MIT), hizo un estudio sobre la industria automotriz, dentro del programa internacional de vehículos, la experiencia que recogieron fue plasmada en los libros “La máquina que cambió el mundo” (Womack y otros, 1990) y en el libro “Lean thinking” (Womack y Jones, 1996), en donde se bautizó el concepto de Lean.

Womack y Jones describieron el Lean thinking como el antídoto contra el despilfarro, es decir, un sistema estructurado para la búsqueda de las actividades que aportan valor al producto mediante la eliminación del desperdicio en todos los procesos de la organización, además se enfocaron, a diferencia de la producción en serie, en la importancia de las personas como elemento fundamental del modelo

7.1 Principios de Lean management

Los cinco principios claves para aplicar Lean, según Ohno (1988) son los siguientes:

1. **Valor:** Centrarse en los procesos que agregan valor al cliente (interno o externo). Es esencial entender quién es el cliente, ya sea interno o externo, entendiendo sus necesidades, expectativas, requerimientos de forma de incorporarlos en los procesos.
2. **Cadena de valor:** Mirar los procesos desde el punto de vista del cliente final, considerando los procesos como clientes del proceso anterior y proveedores del siguiente, con el fin de minimizar o eliminar los procesos de trabajo que no agregan valor
3. **Flujo:** Búsqueda de la continuidad de los procesos, la idea es reducir o eliminar, si es posible, la producción por lotes, para llegar a un movimiento continuo del proceso, eliminando desperdicios como obstáculos representados en máquinas que constituyen cuellos de botella y eliminación de transportes innecesarios
4. **Pull:** tras conseguir un flujo continuo del proceso de trabajo, se debe incorporar el sistema de producción Pull, es decir, la producción según las demandas del cliente, tratando de dar una respuesta rápida, evitando la sobreproducción y la acumulación de inventarios.
5. **Perfección:** Para Lean, la perfección no se entiende como la producción libre de errores o defectos, sino que la perfección implica también la entrega a tiempo, que los productos cumplan los requerimientos del cliente, con un precio y calidad especificada. La gestión de la perfección debe tender a la reducción o eliminación del MUDA



Fuente: Manufactura esbelta,emaze

7.2 Herramientas de Lean management

Existen variadas herramientas o técnicas que permiten implementar Lean. A continuación se revisarán algunas de las más importantes:

Kanban: Significa etiqueta de instrucción (Shingo, 1989) y es una herramienta de producción basada en un sistema de tarjetas. Es una de las bases del sistema Pull, dado que autoriza la producción o el movimiento del inventario, si no hay Kanban, el sistema se detiene, puede ser una tarjeta una pizarra, un contenedor, en el que interactúa un cliente y un proveedor y cuyo objetivo es satisfacer las demandas del cliente.

Just in Time (JIT): JIT o justo a tiempo es un Sistema que busca la producción necesaria en cada etapa de la producción, en el momento oportuno, atacando los problemas de raíz para no requerir un stock de seguridad grande, creando un flujo continuo de materiales.

Eliminación de MUDA: Como se indicó previamente, es todo lo que es adicional a los equipos, materiales, componentes y personal mínimo imprescindible para la producción: defectos, exceso de producción, transporte, esperas, inventarios, movimientos y procesos innecesarios.

Single minute Exchange of dies (SMED) es un mecanismo usado para reducir los tiempos de parada tratando de que el tiempo y el impacto en la producción sean los mínimos. Esta herramienta analiza la forma en que se realiza la transición entre actividades distintas, redifiniendo los procesos para reducir las pérdidas de tiempo. Se basa en la separación de actividades de preparación interna (que se ejecutan durante la actividad) y externas (que pueden ejecutarse antes o después de la actividad).

5S: Permite mantener un ambiente de trabajo ordenado, organizado, limpio y seguro, de ésta forma, los materiales se clasifican según criterio necesario o innecesario (Seiri) Orden de los materiales colocándolos en su lugar predeterminado, de forma que cualquier persona lo pueda encontrar (Seiton), mantención de la limpieza del lugar de trabajo (Seiso), mantención de la conservación y orden (Seiketsu) y el cumplimiento de las reglas para que éstas se conviertan en hábitos (Shitsuke).

Diálogos de desempeño: son reuniones periódicas en las cuales se revisa el cumplimiento de los objetivos, y si no se cumplen, se analizan las razones de ello, buscando una posible solución. Se realizan según calendario agendado y se analizan los KPI que se monitorean. Algunos de los mecanismos de resolución de problemas utilizados pueden ser los 5 porqué, análisis causa raíz y diagrama de Ishikawa.

Desarrollo de proveedores: Establecer relaciones de largo plazo con pocos proveedores, con los que se compartan beneficios y confianza, eliminación de problemas de comunicación y compartir los problemas de forma de buscar soluciones en conjunto.

Jidoka: Es la automatización que permite el control automático de los defectos e impide que productos con defecto sigan la línea de producción.

Andon: Es una señal que un trabajador, cualquiera sea su rango, utilizada para indicar a sus compañeros y supervisores una situación anormal en la línea de producción.

Pokayoke: Es el diseño de productos y procesos que incorporan mecanismos para que se eliminen los errores.

Heijunka: El libro The Toyota way (Jeffrey Liker, David Meier, 2004) indica que heijunka es la nivelación o secuencia utilizado para distribuir el volumen de producción para que se ajuste a las necesidades del cliente, basado en técnicas como lotes pequeños, reducción de tiempos de confección, sincronización de operaciones, multifuncionalidad de los operarios, otros.

Calidad: Se basa en la filosofía de la mejora continua (Kaizen), no se realizan inspecciones que no aportan valor, sino que son los mismos trabajadores quienes se involucran en la mejora, creando soluciones creativas y preventivas.

Estandares: El libro The Toyota way (Jeffrey Liker, David Meier, 2004) señala que las actividades estandarizadas son los fundamentos para la mejora continua. Teniendo clara las metas y las actividades, se plasman en estándares que describen cómo se debe realizar la actividad.

Mantenimiento productivo total (TPM): el mismo operador de una máquina se encarga de las funciones básicas de la mantención, lo que le permite responsabilizarse por la máquina y el proceso, con lo que se maximiza la eficiencia del equipo, se mejora la habilidad del operario y se reducen los costos con el control de las máquinas por los mismos usuarios.

Overall Equipment Efficiency o Eficiencia General de los Equipos (OEE) es una razón porcentual que mide la eficiencia productiva a de una máquina en términos de la disponibilidad, eficiencia y calidad en un solo indicador, así por ejemplo un OEE de 60% quiere decir que de 100 productos libres de falla que una máquina podría haber producido, solo se produjeron 60. De forma similar, la Eficiencia general de los procesos (OPE) mide la relación que existe entre el tiempo que teóricamente debería haber costado fabricar las unidades y el tiempo que realmente ha costado.

7.3 Desperdicios para Lean management

El objetivo de Lean es eliminar o minimizar de forma continua los desperdicios, los que se muestran en la siguiente figura:



Fuente: Presentación al presidente del Directorio de Codelco, Julio 2014, Teniente

1. Sobreproducción: consiste en la producción de una mayor cantidad que la requerida por el cliente, como por ejemplo, el adelantar tareas para garantizar la producción en caso de tener algún inconveniente, lo que implica la acumulación del producto, que tuvo costo de mano de obra, materiales, energía, lo que en ese minuto no valora el cliente.
2. Transporte: El transporte de los materiales en proceso es muchas veces necesario, sin embargo no genera valor al producto e incluso puede dañar al producto si no se realiza de forma correcta.
3. Inventario: Si bien puede ser necesaria la mantención de cierto nivel de inventario crítico, los que pueden ser materiales, productos en proceso o incluso productos terminados, éstos utilizan espacio, requieren mano de obra y equipos para su movilización, lo que implica costos.
4. Esperas: consiste en las esperas en que incurren los trabajadores o la maquinaria debido a una desnivelación de la producción, como por ejemplo las espera de los trabajadores por información o materiales para la producción, esperas por averías de máquinas o clientes esperando en el teléfono.
5. Sobre proceso: Se refiere a los procesos innecesarios, la utilización de equipos y herramientas de forma inapropiada, o incluso la producción a un nivel de calidad muy alto que no requiere y por lo tanto no valora el cliente.
6. Retrabajos o defectos: consiste en la repetición de procesos por productos no conformes o que no cumplen las especificaciones técnicas requeridas por el cliente.
7. Movimiento: Se refiere a los movimientos realizados por los trabajadores que no aportan valor al cliente, como por ejemplo, la búsqueda de materiales, de documentos, el desplazamiento de los trabajadores cuando un puesto de trabajo no fue bien diseñado, etc.

8. Ejemplos de aplicación de Lean management en minería

Como se ha indicado, la metodología Lean se remonta a la industria manufacturera, particularmente automotriz, cuya operación difiere de forma considerable con la industria minera. Algunas de las diferencias en la forma de operar se muestran a continuación:

Comparación entre la operación de una Fundición vs automotriz

Fundición	Automóviles
Una fundición o refinería no para, por lo que su sistema de operación inherente es Push	Una línea de ensamblaje automotriz puede ser parada, por lo que su sistema de operación puede ser Pull
<i>La producción es continua</i>	<i>La producción es en unidades discretas</i>
Medioambiente variable y desafiante	Medioambiente estable
Ubicación remota	Grandes centros
Impacta el clima	Medioambiente cerrado sin impactos por el clima
Equipos geográficamente distantes	Plantas compactas
Metales fundidos tienen una corta vida antes de que se solidifique	Los componentes tienen una larga vida, apto para almacenamiento tipo supermercado

Fuente: The application of Lean Manufacturing in mining environment, Dunstan y otros, 2006

Sin embargo a lo anterior, la empresa Rio Tinto es un ejemplo de una empresa minera que consideró que la metodología Lean no es exclusiva para los procesos de manufactura, por lo que comenzó su implementación en el año 2004 en Rio Tinto Aluminium. El éxito que obtuvo provocó que se extendiera a otras unidades de negocios, como la minera de cobre Northparkes, y Hunter Valley operations, el cual engloba 4 minas ubicadas en New South Wales, cuyas experiencias fueron recogidas en el paper the Application of Lean manufacturing in a mining environment, expuesto en la Conferencia internacional de gestión minera de Melbourne, octubre 2006, algunas de las experiencias se revisarán a continuación.

8.1 Aplicación Lean en Rio Tinto Aluminium

A comienzos del 2004, Rio Tinto Aluminium (RTA) contrató a la empresa consultora LMR (Lean manufacturing Resources) para ayudarles en la implementación de Lean en su organización. El personal de LMR tenía el conocimiento del sistema de producción Toyota y la implementación de lean en tal empresa y en otras compañías automotrices.

La idea consistió en seleccionar un área modelo y una vez que sus trabajadores se familiarizaran con la metodología Lean, se expandiría al resto de RTA.

La administración de RTA entendió rápidamente que la filosofía Lean requería empoderar a los trabajadores para resolver los problemas y consecuentemente tomar decisiones relativas a la producción.

Aunque en primera instancia podría pensarse que es una locura empoderar a los operarios de una empresa minera, debido a lo complejo y riesgoso que son los procesos en este tipo de industria, ya existía un precedente en esta compañía, con el programa de seguridad “La meta es cero” a comienzos de 1990, el cual requirió empoderar a los trabajadores, facultándolos a decidir no realizar una tarea si es que consideraban que era potencialmente insegura. El slogan usado fue “Si no es seguro, no lo hagas de esa manera”, programa que probó ser muy exitoso reduciendo el índice de accidentes.

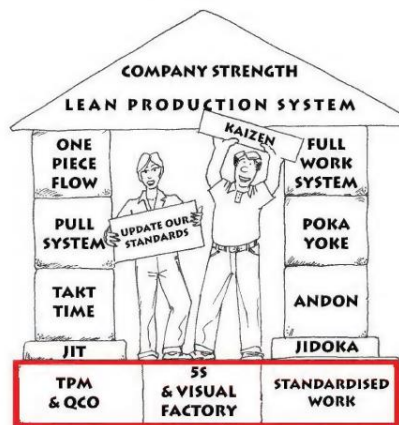
En este sentido Lean es similar a “La meta es cero”, la idea es empoderar a los trabajadores, en el caso de Lean, empoderarlos a reconocer y eliminar el MUDA.

De esta manera, se creó un centro de información en la muralla con los datos de producción en tiempo real. Adicionalmente, se organizaron reuniones diarias de producción de 15 minutos, en la cual no solo participaban los operarios, sino también los mantenedores y contratistas, la idea era resolver problemas de forma cooperativa.

Antes del centro de información, la empresa solía utilizar cuadros y cuadros, los cuales al final del día hacían perderse en los detalles, por lo que pensaron en cuáles son las 6 mediciones que necesitan diariamente, los cuales los superintendentes se aseguraban de actualizar diariamente.

Herramientas Lean utilizadas por Rio Tinto Aluminium

RTA partió implementando las herramientas base de Lean, los que se pueden observar la siguiente figura, bloque marcado con color rojo: TPM y QCO, 5S, estándares.



Fuente: The application of Lean Manufacturing in mining environment, Dunstan y otros, 2006

TPM y QCO: TPM se refiere a la mantención total productiva, de forma de mejorar el OEE (overall effectiveness of equipment). El ideal es tener cero paradas por fallas en los equipos, en donde los operadores desarrollan la mantención rutinaria (a lo que se denomina mantención autónoma) y los mantenedores realizan la mantención programada, de forma de mantener los equipos trabajando. Por otro lado, QCO (quick changeover) se refiere a los eventos en que la producción debe ser parada para realizar un cambio operacional o mantención programada. Este proceso identifica las actividades y las ordena, entre las que pueden ser realizadas con el equipo funcionando (external) y las que deben ser realizadas con el equipo parado (internal), la idea además es hacer lo posible para tratar de convertir las actividades internas en externas, forma de tener parado el equipo el menor tiempo posible.

5S: La herramienta 5S de lean, permite mantener un ambiente de trabajo organizado, ordenado, limpio y seguro. Fundamentalmente, la idea consistió en organizar y visualizar el ambiente de

trabajo, ubicando las herramientas y equipos cerca del lugar donde los trabajadores lo utilizan, ninguna cosa que no debería estar, estaría en el lugar de trabajo.

Standares: El objetivo fue estandarizar, documentar y mejorar continuamente la forma en que se realiza el trabajo, a través de la conversación de las prácticas existentes para un trabajo en particular, el cual se documentó y constituyó en el procedimiento línea base. A través de sesiones de “brainstorming” o lluvia de ideas, tal procedimiento, a sugerencia de los mismos trabajadores, se fue continuamente mejorando. Lo anterior permitió además, pasar de un medio ambiente de trabajo estresante, frustrante, a un ambiente de trabajo placentero, en donde la principal preocupación era encontrar nuevas formas de mejorar las cosas.

A los meses de la implementación de Lean en RTA, los indicadores de desempeño mostraron fuertes incrementos, como se observa en el siguiente cuadro, con una reducción del número de accidentes, mayor compromiso laboral, mejores indicadores medioambientales, operacionales y financieros.

Metas alcanzadas tras la implementación de Lean

2004 - 2006 year-to-date (annualised) achievements in the Carbon Bake Furnace.

Health and safety	Incidents 154 ↘ 67	First aid 24 ↘ 0	Lost work days 1 ↘ 0	Medical treatment 1 ↘ 0
People commitment	Turnover 15.5% ↘ 9%	Absenteeism 3.4% ↘ 1.8%		
Environment and communities	Odours 14 ↘ 2			
Market position (internal customer quality measures)	Conformance to heating curve 70% ↘ 88%	Anode rejects 2% ↘ 0.9%	Unscheduled changes 60 p/day ↘ 8 p/day	
Operational excellence	Carbon dust 20% ↘ 6%	Net carbon ratio 0.431 ↘ 0.410		
Financial strength	Recycled >200 t coke valued at \$386 867. New in-house coke screen saves \$130 000 pa		A\$2 million annualised savings. A\$1.9 million gain from avoidance of additional fan capacity. Delay of \$1.2 million furnace re-build.	

Fuente: The application of Lean Manufacturing in mining environment, Dunstan y otros, 2006

8.2 Aplicación de Lean en Minera The Northparkes

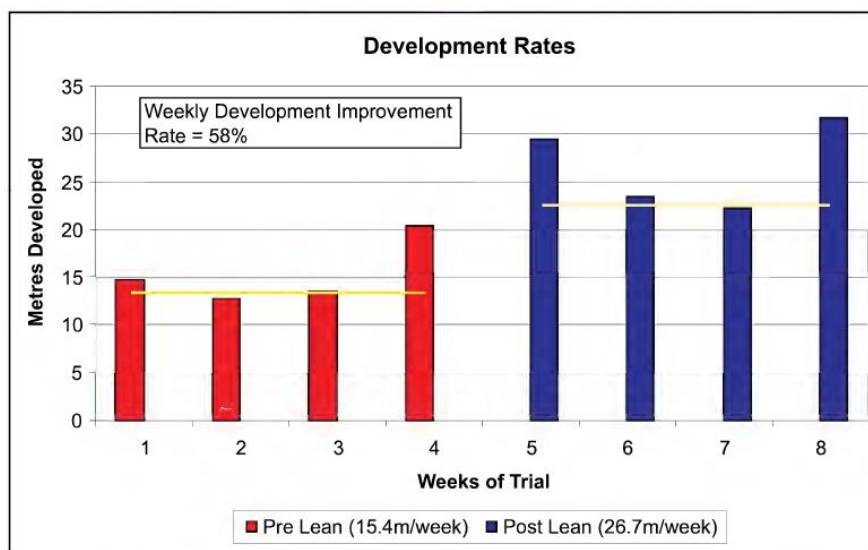
La minera cuprífera subterránea Northparkes, ubicada en New South Wales, Australia, tiene un proceso cíclico de excavación que se repite cada 12 a 24 horas. El desarrollo del ciclo es realizado por un grupo de cinco a seis mineros y a modo general, consiste en la perforación de la roca, carga de explosivos, limpieza de la roca y soporte de la nueva sección de túnel. Este proceso permite avances de entre 3 a 5 metros por ciclo y fue justamente este proceso el que la minera se desafió a mejorar con las herramientas Lean.

Como primera instancia, creó un centro de información Lean, que básicamente era una pizarra en la que se escribían indicadores de seguridad, medioambiente, disponibilidad de trabajadores, tiempos de ciclo, metas semanales y utilización de recursos, los que era revisados todos los días.

Cuando se identificaba un problema, se anotaba en el centro de información y se discutía tratando de resolver el problema en reuniones, después de cada cambio de jornada, pero en el mismo día.

Una vez que el problema se resolvía, éste se observaba por un tiempo, de forma de probar la efectividad de la medida. Este centro de información proveyó un feedback instantáneo a los equipos de trabajadores, mejoró la comunicación con los jefes del equipo y los trabajadores, quienes ahora podían observar fácilmente donde ocurrían problemas y contribuir a identificar y resolver los inconvenientes que causaban retrasos en la producción del ciclo.

Como resultado, el centro de información Lean contribuyó a un 56% de mejoría en los tiempos de ciclo, dentro de los primeros 30 días de la implementación, como se observa en el siguiente gráfico:



Fuente: The application of Lean Manufacturing in mining environment, Dunstan y otros, 2006

9. Aplicación de Lean management en una Fundición de cobre

En general, la implementación de Lean management en una empresa se suele realizar por etapas, partiendo en un área piloto y con el apoyo de consultores externos especializados en la herramienta o con personal que ya ha sido capacitado de forma teórica y práctica en Lean management. Algunas las etapas esenciales que se debieran desarrollar en la fundición de cobre en la implementación de Lean son las siguientes:

9.1 Identificación del valor de la fundición

Uno de los principios de Lean management es la identificación del valor principal para el cliente final de la fundición, lo que permitirá centrarse en los procesos principales que generan un

aporte en tal cadena productiva. Como se trata de una fundición, los productos finales no tienen diferenciación, por lo que la calidad y precio son establecidos por el mercado.

Por lo anterior, más que conocer los requerimientos del cliente, se identificará la principal fuente de ingresos para la fundición, las cuales pueden ser:

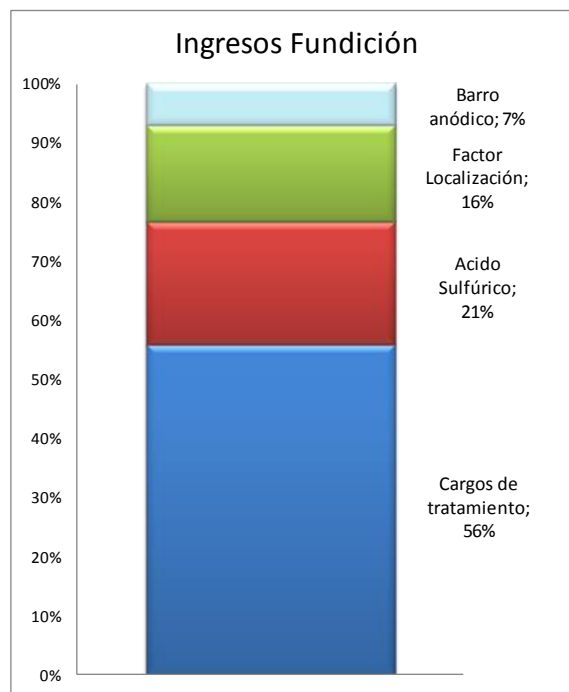
Maquila de cobre: Consiste en el procesamiento de cobre de concentrado para transformarlo en ánodo de cobre, por lo que se obtiene el cargo de tratamiento, abreviado como TC.

Contenidos de metales preciosos: Consiste en la recuperación de metales preciosos presentes en el concentrado de cobre y su margen se obtiene cuando la cantidad acordada de devolución de estos metales, sea menor a la recuperada en los procesos de la fundición del cobre. Este margen se puede obtener finalmente con la venta de barro anódico.

Ácido Sulfúrico: El ácido sulfúrico se genera como subproceso en la fundición de cobre, por lo que se le identifica como un subproducto, el cual es utilizado principalmente en las plantas de tratamiento de minerales oxidados de cobre.

Factor de localización: Consiste en el ahorro logístico que se obtiene entre transportar concentrado de cobre con una gran cantidad de masa y contenido de cobre de 25% versus transportar ánodos de cobre con un contenido de cobre de 99,6%.

Tras analizar los ingresos de una fundición de cobre nacional, se observó que más de la mitad de los ingresos corresponden a los cargos de tratamiento, o maquila de cobre, por lo que se puede concluir que lo que más valora el cliente final de una fundición de cobre es justamente la producción de ánodos de cobre, como se muestra en el siguiente gráfico:



Fuente Elaboración propia

9.2 Plan de comunicación, selección y capacitación del equipo Lean

Es importante desarrollar un plan comunicacional en la fundición, que puede ser mediante revistas, presentaciones masivas, emails, folletos, etc. Lo importante es que los trabajadores estén en conocimiento de que se está creando una nueva historia en la fundición, un cambio que les permitirá alcanzar un nuevo estándar operacional. Para ello, previamente se debieran hacer estudios de clima organizacional, lo que permitirá diagnosticar la cultura y será una herramienta para detectar la resistencia al cambio.

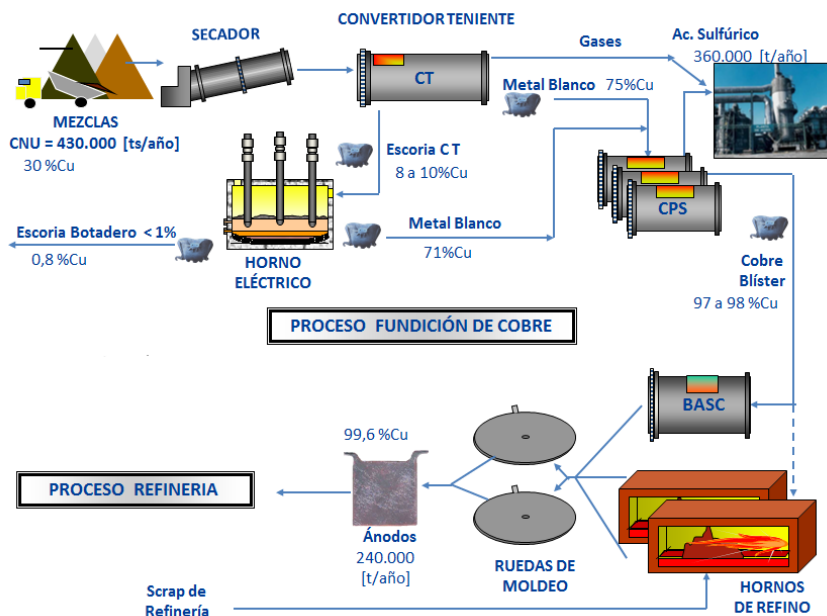
La selección del equipo Lean o “agentes de cambio” será necesario dado que serán las personas que liderarán las intervenciones Lean en cada proceso, apoyando a los encargados de las áreas operacionales. Estos profesionales no requieren tener un conocimiento acabado de metalurgia o química, basta con profesionales como ingenieros comerciales, civiles, ingenieros en mantención, etc, lo importante es que sean capaces de analizar información, liderar equipos y aplicar gestión en los procesos de la fundición. Este equipo debe estar entrenado en los objetivos y herramientas lean junto con la detección y eliminación del Muda o desperdicios.

Los agentes de cambio tienen la misión de dialogar con las áreas operacionales de la fundición, analizando datos, procesos, personas, lo que les permita mostrar las oportunidades y resultados que entrega la aplicación de esta herramienta Lean.

9.3 Análisis de datos, procesos y flujo

El levantamiento de la información disponible en la fundición es crítico dado que el éxito de la implementación de Lean depende también de la cantidad y calidad de la información. En esta etapa se debe analizar cada proceso en la fundición, buscando identificar los cuellos de botella que impiden una mayor generación de ánodos de cobre.

En esta etapa se deben identificar, en cada proceso, las capacidades de los equipos, tiempos, flujos, tecnología, volumen de producción de cada subprocesso, recursos utilizados. A modo general, los procesos productivos de una fundición de cobre, se pueden observar en la siguiente imagen:



Fuente: CODELCO

9.4 Procesos generales en la fundición de cobre

Planta de secado: En una primera etapa, el concentrado de cobre que suele tener una ley entre 25% y 30%, pasa por la planta de secado, dado que el objetivo es reducir la humedad en el concentrado para evitar obstrucciones en las toberas de alimentación del concentrado al Convertidor Teniente. De esta manera, el concentrado con un porcentaje de humedad entre 8% y 11% se pone en contacto en cilindro rotatorio con gases de combustión, produciéndose el secado del concentrado llegando a un porcentaje de humedad que llega al 0,2%, utilizándose gas natural o en su defecto fuel diésel.

Convertidor Teniente: En este proceso se fusiona el concentrado de forma autógena y se oxida el sulfuro de hierro contenido en éste, obteniéndose metal blanco, el cual tiene un 75% de cobre o escoria con un 8% de cobre. La oxidación se lleva a cabo mediante la adición de aire enriquecido (25% de O_2) por toberas sumergidas en baño de cobre líquido. El metal blanco pasará al Convertidor Peirce Smith, mientras que la escoria será procesada en el horno eléctrico para recuperar cobre.

Convertidor Peirce Smith: El objetivo de procesar el metal blanco en el convertidor Peirce Smith es producir blíster con contenido de cobre de 96,9%, lo que se logra con la oxidación del sulfuro de cobre, mediante un proceso autógeno con temperatura cercana a 1.200 °C. La oxidación se realiza por la inyección de aire enriquecido (24% O_2), por toberas sumergidas en baño de metal.

Planta de ácido sulfúrico: El objetivo de la planta de ácido es la captación y conversión de gases con contenido de dióxido de azufre (SO_2) entre 7% y 12%, el que proviene del Convertidor Teniente u Convertidor Peirce Smith, obteniéndose ácido sulfúrico con 98,5% de pureza.

Horno Eléctrico: El objetivo del horno eléctrico es el tratamiento de la escoria que proviene del CT, el que llega con un contenido de cobre de 8% y sale como metal blanco con un contenido de cobre de 73%. La recuperación de cobre se realiza mediante la reducción de la magnetita contenida en la escoria y aumento de la temperatura, disminuyendo la viscosidad y densidad de ésta, lo que favorece la decantación de los sulfuros presentes.

Refino a fuego: El objetivo del refino a fuego es desarrollar en etapas la eliminación de azufre insuflando aire al cobre y luego inyectando un reductor (hidrocarburo) para eliminar el exceso de oxígeno, lo que se realiza utilizando el horno basculante y hornos de refino, el cobre finalmente se lleva a las ruedas de moldeo generándose los ánodos cuyo contenido de cobre es de 99,6%.

9.5 Diagnóstico de desperdicios para reducir el MUDA en una fundición

La siguiente etapa en la implementación de Lean management consiste en realizar un diagnóstico para identificar y reducir el MUDA o desperdicio, apoyándose en las herramientas de lean, con el fin de aumentar la producción de ánodos de cobre o reducir los costos, a continuación se revisarán algunos ejemplos concretos de desperdicios en una fundición de cobre.

Espera

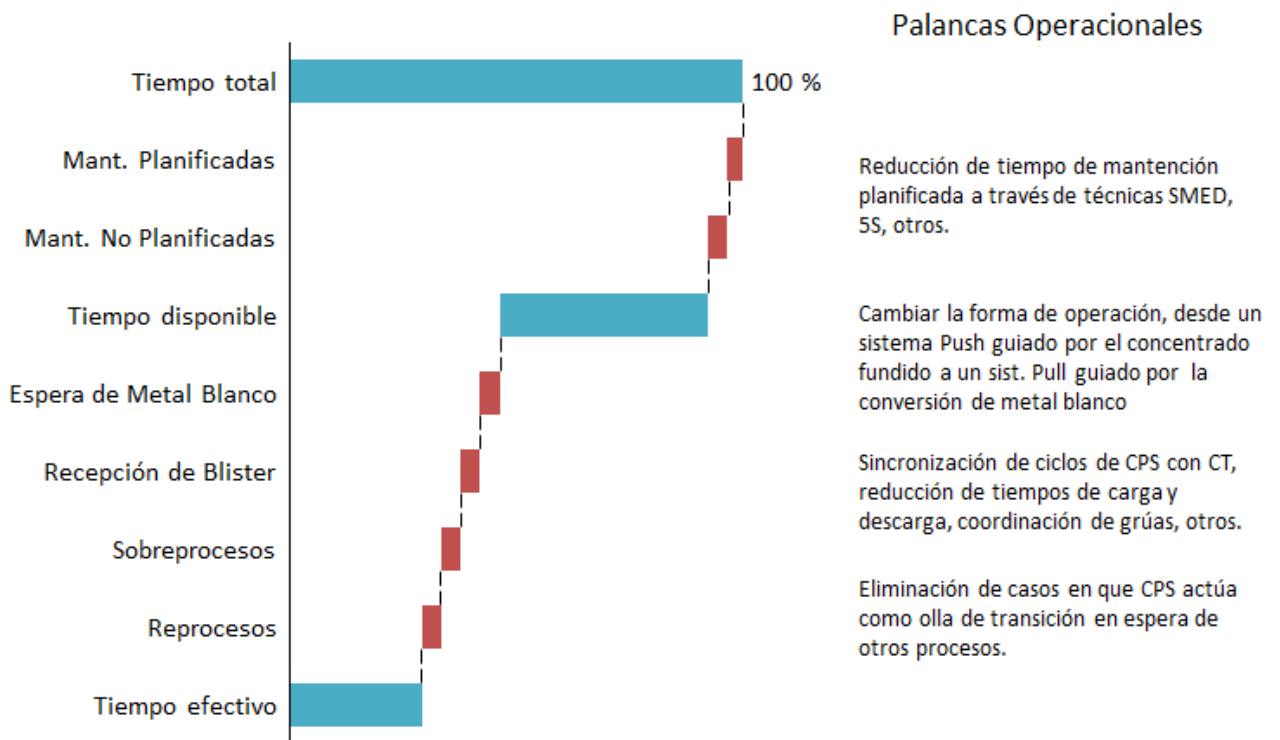
Uno de los desperdicios que debiera analizarse y diagnosticarse en una fundición son los tiempos de espera que existen en los procesos de la cadena de valor, dado que a pesar de que se dice que una fundición funciona en un proceso continuo los 365 días del año, en realidad el cobre pasa por *procesos que no son continuos*, y son más bien batch, por lo que pueden tener tiempos de espera entre un proceso y otro, los que se deben tratar de eliminar. Como se indicó previamente, el cobre se procesa primero en el secador, luego en el Convertidor Teniente, después en el Convertidor Peirce Smith, luego en los hornos de refino y finalmente se moldea. La idea de lean es buscar la continuidad de los procesos, eliminando cualquier espera entre éstos, de esta manera se debiera estudiar y optimizar la sincronización de los procesos, lo que incluye la a las gruas con cada equipo.

Una de las herramientas más utilizadas de lean management para mostrar la reducción de los tiempos de espera son los gráficos Overall Equipment Efficiency (OEE) en los cuales se muestra la eficiencia productiva de los equipos y los mecanismos o palancas requeridas para aumentar la eficiencia.

Para realizar este tipo de gráfico, se estudia el comportamiento en tiempos de los equipos, por ejemplo el convertidor Peirce Smith (CPS). Se parte de la base teórica de tiempo total, 365 días * 24 horas, luego se indican cuántas horas estuvo el convertidor detenido por mantenencias planificadas y cuantas horas por mantenencias no planificadas. Tras ello se deben obtener los tiempos muertos en que el CPS estaba en condiciones de operar, pero no lo hizo por falta de sincronización con los otros procesos de la fundición, es decir, se indican los tiempos de espera.

Posteriormente se deben determinar los tiempos de sobreproceso y reprocesos para determinar el tiempo efectivo en que opera el CPS. Cada una de estas causas de deben estudiar y determinar la causa raíz del problema de forma de determinar las palancas de acción necesarias para reducir los desperdicios del CPS. El gráfico finalmente tendría la siguiente forma:

Palancas de mejora CPS



Fuente: Elaboración Propia

Una herramienta Lean que se puede utilizar para reducir los tiempos de espera es la técnica single minute Exchange of die SMED, la cual busca reducir los tiempos de detención de una máquina por mantención, para ello, las actividades de mantención se deben clasificar en externas o internas, las actividades externas son las actividades de mantención que se pueden ejecutar antes o después de la parada, versus las actividades internas que son las que se ejecutan durante la mantención con el equipo detenido, la idea es tratar de redefinir las actividades internas para hacerlas externas.

Competencias no utilizadas

En cualquier empresa se pueden dar casos de expertos tremendamente competentes y con cierta especialidad que no utilizan sus capacidades en su trabajo porque realizan funciones que no están alineadas con su perfil o habilidades. Para lean la utilización de las competencias de las personas es clave, por lo que se deben buscar las formas para que la empresa se vea beneficiada con las competencias de cada uno de sus trabajadores.

Otro ejemplo de competencias no utilizadas en una fundición puede ser la capacidad de los trabajadores operacionales para realizar ellos mismos las mantenciones básicas rutinarias, capacidad que fue aprovechada en el ejemplo mostrado de Rio Tinto Alluminium cuando implementó Lean en sus operaciones.

Sobreprocesamiento

El sobreprocesamiento es costoso por cuanto involucra recursos humanos, materiales, energía, por lo que es muy importante estudiar si cada subproceso de la fundición está generando un sobreprocesamiento que no sea valorado por el cliente siguiente en la cadena de valor. Un ejemplo claro en la fundición lo podría constituir la planta de secado que podría estar excediendo lo necesario para secar el concentrado, por lo que la generación de estándares operacionales y la adherencia a éstos para cumplir lo necesario debe ser gestionado en la fundición.

Sobreproducción

Un ejemplo claro de la sobreproducción en una fundición puede ser el venteo de oxígeno o aire por parte de la planta de oxígeno, cuando se produce la detención de un equipo por cualquier motivo no coordinado, por lo que se debe ventear el aire a la atmosfera, botando su producción y por consiguiente generando desperdicios.

Inventario

El mejor ejemplo de inventarios en una fundición es el exceso de carga fría o la acumulación de circulante, el cual es un material sólido producido en la fundición por solidificación y derrame. El circulante no siempre puede ser reinyectado al proceso de fundición debido a sus características mineralógicas, por lo que se debe tener especial cuidado de controlar este tipo de inventario, mediante la creación de estándares operacionales y una posterior gestión de la adherencia a éstos.

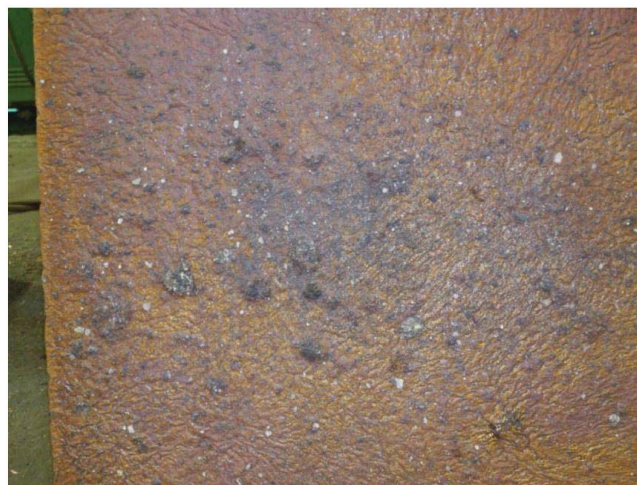
Movimientos innecesarios

Como se ha indicado, la fundición opera mediante procesos batch que requiere el paso del cobre por sucesivas fases o subprocesos. Lean busca la continuidad de los procesos no solo eliminando los tiempos de espera entre cada fase sino además eliminando los movimientos que no sean necesarios porque no entregan valor en la cadena productiva y optimizando los movimientos necesarios, especial atención se debe poner en el estudio de movimientos de las grúas desde la carga de metal blanco.

Retrabajo y defectos

La formación de escoria en una fundición retrasa el proceso de obtención de cobre e incluso provoca una gran cantidad de rechazo de ánodos moldeados dado que genera malformaciones en el cuerpo de los ánodos moldeados los que son castigados en su precio de venta. Un estudio realizado en fundición Caletones de Teniente (Valenzuela Tello, 2013) buscó las causas de la existencia de la escoria con el fin de mejorar los KPI de producción y reducir los rechazos anódicos encontrando que la conversión de metal blanco en los Convertidores Peirce-Smith es el principal foco de generación de escoria, la que posteriormente es arrastrada mecánicamente hacia los Hornos de Refinación Anódica. El efecto del exceso de escoria en el ánodo se observa en la siguiente imagen:

Efecto de exceso de escoria en ánodo



Fuente: Estudio estadístico de la influencia operacional de convertidores Peirce-Smith en la generación de escoria en hornos de refinación anódica: División El Teniente-CODELCO Chile, Cristián Felipe Valenzuela Tello

Un punto interesante de la investigación, es que concluyó que el origen de la generación de escoria se debe a las malas prácticas operacionales en la realización a los embanques, tiempos de soplado, variaciones constantes en los porcentajes de cobre y hierro en el metal blanco alimentado, calidad y cantidad de carga fría, lo que genera escoria en exceso tanto en los Hornos de Refinación Anódica como en el cobre fino moldeado. Cuando se identifica una mala práctica operacional, Lean propone la creación de estándares con los requisitos, actividades, que se deben cumplir para asegurar una correcta operación del proceso. Posteriormente, a través de diálogos de desempeño con los mismos trabajadores se deben revisar los cumplimientos de estos estándares, y KPI, tratando de no buscar y castigar a los culpables del no cumplimiento, sino más bien buscando soluciones que permitan cumplir con los estándares. Algunos mecanismos utilizados en Lean para encontrar las causas raíz de los problemas que llevan al incumplimiento de los estándares son los 5 porqué o el Diagrama de Ishikawa, mejor conocido como “Espina de pescado”.

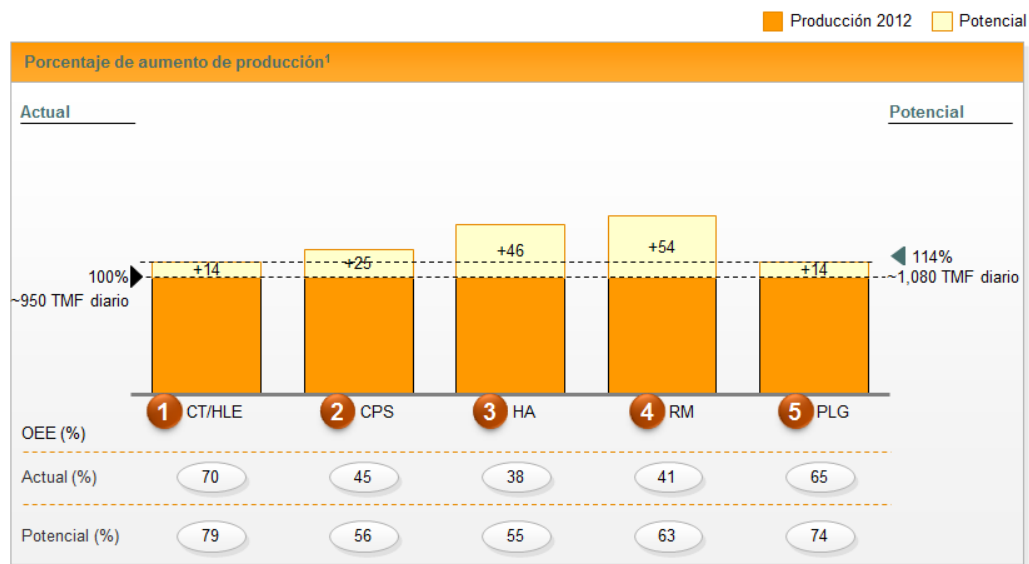
9.6 Potencial aumento de producción y/o ahorro de costos con Lean

Tras haber identificado los desperdicios en cada uno de los procesos de la fundición (espera, sobreprocesamiento, sobreproducción, transporte innecesario, competencias no utilizadas, inventario, retrabajo y defectos, y movimientos innecesarios), se podrán determinar las iniciativas o Palancas de mejora, ya sea para reducir costos como para aumentar la producción.

Como no todos los procesos de la fundición tienen la misma holgura para aumentar la producción, principalmente debido a las capacidades reales de cada equipo, se deben analizar de forma individual los procesos, identificando el potencial aumento para cada uno, para ello se puede utilizar los gráficos OEE vistos anteriormente. Luego se revisan los procesos como un todo, pensando en un flujo continuo y el límite máximo potencial del aumento de producción de la fundición estará dado por el aumento de producción mínimo en algún proceso, esto manteniendo las capacidades actuales del sistema.

Un ejemplo de aumento de la producción potencial de la fundición tras la implementación de lean management, se muestra a continuación con los estudios preliminares realizados en fundición Caletones, los cuales determinaron que la producción de la fundición podría aumentar en un 14%.

A modo de estimación, si las cuatro fundiciones de CODELCO alcanzaran este aumento potencial, se podría entregar al mercado del orden de 130 mil tmf anuales de mayor cobre moldeado.



Fuente: Avances de la transformación en Gerencia fundición Caletones, Codelco

La identificación de los desperdicios en la fundición también permitirá conocer dónde están los potenciales ahorros que se pueden obtener tras aplicar la metodología lean.

Así por ejemplo, en el desperdicio competencias no utilizadas, se indicó que la fundición podría utilizar las capacidades de los trabajadores operacionales para que ellos mismos realicen las tareas de mantención básica o rutinaria, lo que lean denomina como mantenimiento autónomo y labores multifuncionales, dentro del TPM o mantenimiento productivo total.

Es muy posible que la primera reacción ante tal idea sea pensar que no resultaría en las fundiciones por el grado de especialización que se requiere en las tareas de mantención y por otro lado, si se pide a los trabajadores operacionales el realizar una labor que no está dentro de sus tareas, se exigiría un pago extra por ello, eliminando el potencial ahorro de costos por la reducción de la dotación de mantenimiento.

Ante lo anterior, lo primero es indicar que es un paradigma el considerar que la mantención básica y rutinarias de una fundición sea una labor tan compleja que no pueda ser transferida a los trabajadores operacionales, dado que muchos de ellos de seguro tienen o pueden desarrollar las competencias necesarias para ello.

Respecto al mayor costo de mano de obra que exigirían los trabajadores operacionales por hacer una nueva tarea, es muy posible que esto ocurra, especialmente en las fundiciones de cobre estatales con una fuerte presencia sindical. No obstante, lo relevante es realizar un análisis costo beneficio, por una parte magnificando el ahorro directo en la reducción de mano de obra de mantención, y por otra parte, magnificando el mayor costo de remuneraciones de los trabajadores operacionales polifuncionales.

De manera muy preliminar y considerando que el costo de remuneraciones del personal de mantenimiento de una fundición de cobre tipo es de 4,4 millones de dólares anuales, si las 5 fundiciones de cobre estatales en Chile, logran una reducción de solo un 5% del costo de mano de obra de mantenimiento de la fundición, se llegaría a un ahorro anual de 1,1 millones de dólares, parte de este ahorro se podría transferir a los trabajadores polifuncionales.

9.7 Primera intervención o “Primera Ola”

Una vez que se ha realizado el diagnóstico y se identifican las palancas de mejora, comienza la intervención lean o la primera ola. Dado que la fundición debería haber desarrollado un plan comunicacional de Lean, sería conveniente asegurarse de intervenir un área en que se identifique un quick win, es decir, un triunfo rápido, dado que la organización estará pendiente de los resultados de Lean en su primera ola.

Los cuatro pilares que permitirán ser el soporte a Lean en esta etapa, son la gestión del desempeño, la resolución de problemas, la estandarización y el desarrollo de las personas, que se muestran en la siguiente imagen

Los cuatro pilares Lean



Fuente: Excelencia operacional Programa Lean Codelco, 2014.

9.8 Gestión del desempeño

En la gestión del desempeño se deben definir los KPI y metas, monitorear el desempeño de los KPI, ejecutar diálogos de desempeño e implementar acciones de mejora.

Es importante seleccionar un conjunto limitado de KPI, que sean manejables y gestionables, dado que un exceso de indicadores genera sobrecarga de información que se puede volver inmanejable.

Estos indicadores y metas deben cumplir los principios SMART: simple, medible, alcanzable, relevante y tiempo. Adicionalmente se debe documentar el significado del KPI para que no queden dudas respecto a lo que se está midiendo, cómo se obtiene la información para completarlo, cuál es la unidad de medida, la frecuencia con la que se medirá, quién lo mantendrá actualizado, junto con la meta del indicador.

Lean propone la realización de diálogos de desempeño buscando la forma de rendir cuentas e ir mejorando el proceso de forma continua. Los diálogos de desempeño son reuniones breves en las que se analiza el desempeño y se asignan acciones a seguir, y además permiten hacer una rendición de cuentas por los mismos trabajadores y responsables de los procesos, fomentando el trabajo en equipo entre los trabajadores y sus jefes de grupo, proveyendo feedback instantáneo sobre el estado del proceso a los trabajadores, como lo desarrolló la minera The Northparkes, visto previamente, lo que les permitió mejorar su KPI tiempos de ciclo en un 56%.

Los diálogos de desempeño se deben realizar a todo nivel en la fundición, pero con distinta frecuencia, así por ejemplo, se podrían realizar en el inicio de cada turno entre operadores y jefes de turno, semanalmente entre superintendentes y jefes de unidad y quincenalmente entre gerentes y superintendentes, llegando al gerente general de forma mensual y se debe responder a las 5 preguntas claves, qué está pasando, por qué, qué se puede realizar, quién será el encargado y cuándo se realizará.

Finalmente, como uno de los principios lean es la búsqueda de la perfección, también se debe evaluar el diálogo de desempeño en cuanto a su formato, uso de la información, acciones y la dinámica del equipo.

Un ejemplo tipo de la estructura del diálogo de desempeño entre el superintendente de la fundición y el ingeniero jefe del Convertidor Teniente, podría ser la que se presenta a continuación:

Ejemplo agenda de diálogo de desempeño

Agenda de Diálogo de desempeño Superintendente de fundición con Ingeniero Jefe de Convertidor Teniente

Objetivos	Analizar el desempeño del producción de la última semana	
	Revisar los indicadores clave del desempeño, entender causa raíz de problemas	
	Realizar una mejora continua de los procesos y seguimiento de acciones correctivas	
Agenda 80 minutos		
Reflexión de seguridad	5 min	Participantes Superintendente Fundición con Ingeniero Jefe Conv. Teniente
Desempeño	50 min	
Revisión compromiso anterior		Requisitos previos al Diálogo de desempeño Actualización de KPI Análisis causa raíz
Discusión de problemas		
Discusión causa raíz		Normas básicas La reunión debe estra preparada Puntualidad Telefonos y emails desconectados Subrogantes definidos
Plan de acción		
Adherencia	15 min	
Revisión adherencia a estándares		
Plan de acción		
Nuevos compromisos	10 min	

Fuente: Elaboración Propia, en base a Diálogos de desempeño realizados en Codelco.

9.9 Desarrollo de las personas

Implementar lean requiere una serie de capacitaciones, no solo técnicas sobre la herramienta Lean, sino también de habilidades blandas, como manejo de equipos, tolerancia a la frustración, saber escuchar, responder con empatía respecto a los demás, reconocer logros, alentar al equipo, etc. Las que se deben evaluar de forma previa a la intervención de lean, de forma de detectar brechas y realizar los talleres que pueda estar requiriendo el supervisor para poder realizar, por ejemplo, un diálogo de desempeño exitoso con sus trabajadores. El agente de cambio debiera participar en los diálogos de desempeño, especialmente en una primera etapa, de forma de detectar cualquier inconveniente y apoyar a los jefes operacionales en los diálogos.

En las reuniones entre el trabajador y su jefatura, se deben analizar las dificultades que se puedan estar presentando en la implementación de lean, un rechazo al cambio y a seguir nuevos estándares operacionales no es serán difíciles de encontrar, por lo que se deben identificar las necesidades y conseguir el apoyo que pueda estar faltando.

9.10 Resolución de problemas

Muchas empresas carecen de una estructura de solución de problemas en sus procesos productivos. Algunas veces se resuelven de forma superficial, los que tienen el riesgo de volver a ocurrir. Lean management ofrece un protocolo para la resolución de problemas eliminándolos desde su causa raíz, en la denominada herramienta A3, cuyo nombre se debe a que toda la planeación y solución del problema se registra en una hoja A3 o tamaño oficio en nuestro país, identificando 4 fases.

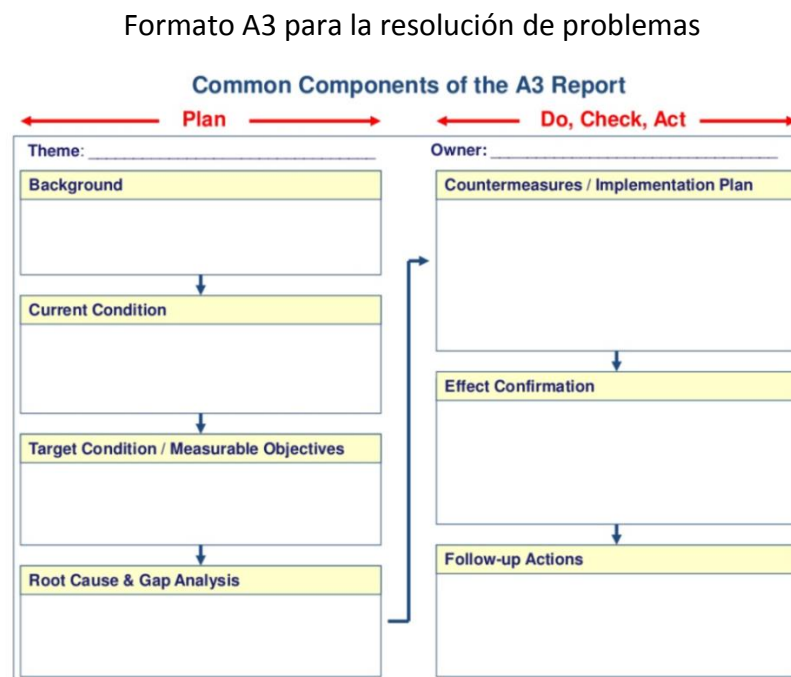
Planear: En esta parte, se describe el problema indicando por qué es importante su solución, se revisa el estado actual del problema, los objetivos o el futuro deseado, y se analiza el problema buscando su causa raíz. Para ésta búsqueda, se suelen utilizar ciertas técnicas como por ejemplo, responder los 5 porqué, realizar un árbol de decisiones, realizar un brainstorming o lluvia de ideas, realizar un análisis de Pareto (principio del 80/20) para identificar las principales causas, etc.

Hacer: En esta etapa se definen las contramedidas que se implementarán para contrarrestar el problema.

Verificar: En esta etapa se realiza el seguimiento y se evalúa la efectividad de las contramedidas.

Actuar: En esta etapa se toman acciones, si los resultados fueron efectivos, se estandariza la solución, de lo contrario se vuelve a comenzar en la primera fase.

Un formato tipo de la herramienta A3 se puede ver en la siguiente imagen.



Fuente: University of California, San Diego, Lean Enterprise Program

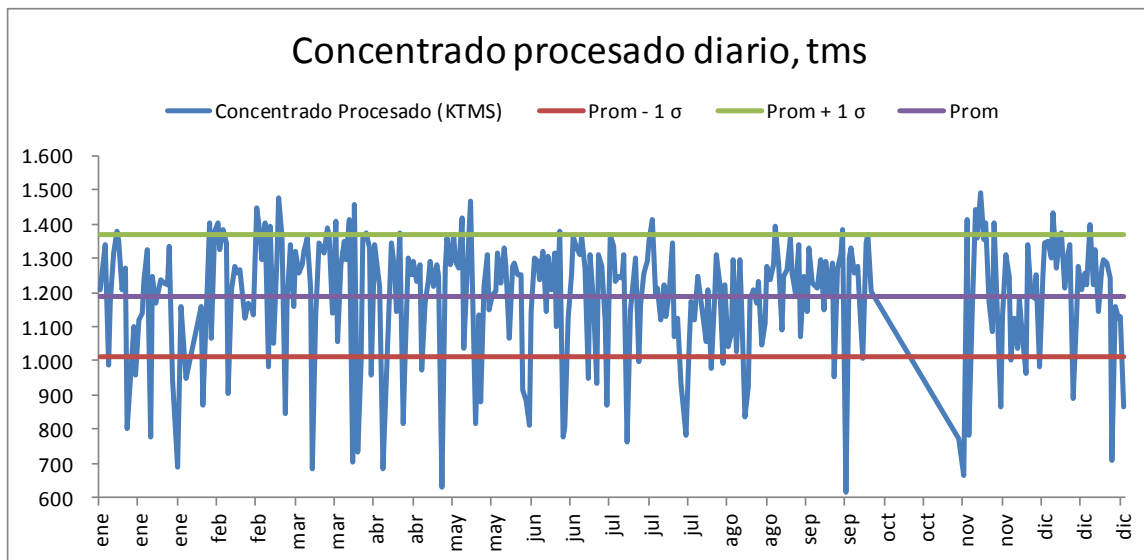
9.11 Estandarizar

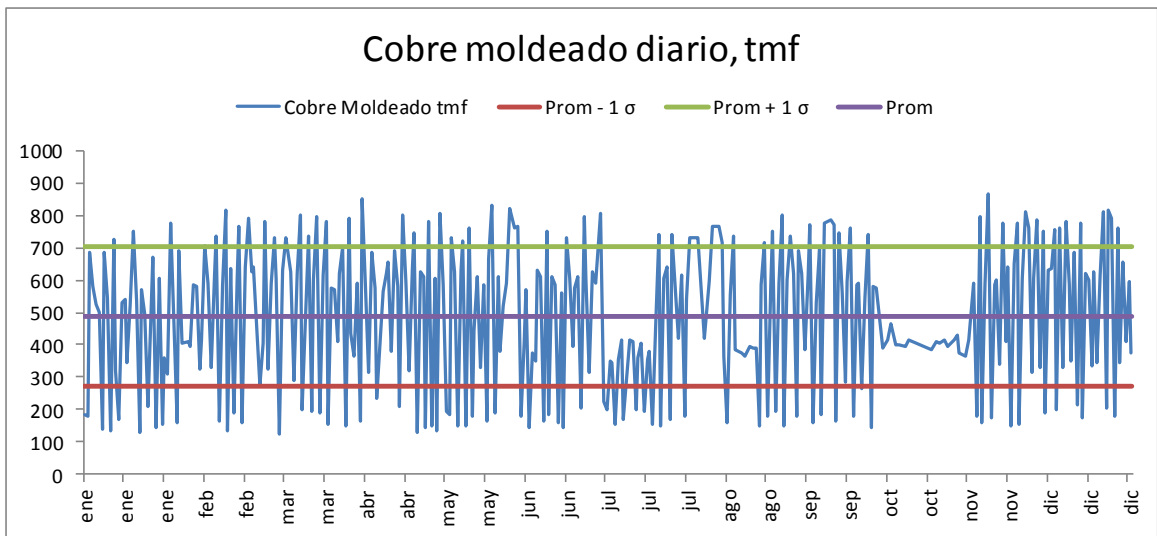
El estándar para lean management no significa un KPI o el valor típico o presupuestado, sino más bien es una herramienta de lean que define un criterio óptimo y único para la realización de una actividad, permitiendo la eliminación de la variabilidad de los procesos.

Entre las ventajas de la estandarización se encuentran:

- Recopilación de la forma de trabajo de los operarios más expertos, la cual se transmite a los otros trabajadores.
- Controla la variabilidad
- Acelera el aprendizaje para nuevos operarios.
- Reduce el error, mejora la seguridad y calidad.
- Establece la base para que luego sea mejorada de forma continua.

Para analizar si una actividad tiene variabilidad, se deben estudiar los datos de producción de la fundición. Así por ejemplo, para una fundición local, se graficaron los datos del año 2016, tanto para el concentrado procesado diario (tms), como el cobre moldeado diario (tmf), como se muestra en los gráficos a continuación. Luego, se eliminaron los outliers (datos atípicos, como por ejemplo una parada por la mantención o un incidente ambiental que hayan provocado una producción muy menor o nula). Luego como límites superior e inferior, se graficó el promedio de la muestra más menos una desviación estándar respectivamente, como se muestra a continuación:





Tanto para el concentrado procesado, como para el cobre moldeado diario, se encontraron valores fuera de control (más allá de los límites superiores o inferiores, marcados con la línea roja y verde), por lo que se podría deducir que la fundición presenta variabilidad en su producción, por lo que sería un buen candidato para estandarizar las tareas.

Lo ideal, es realizar el análisis aún más micro, no solo de datos diarios, sino más bien llegar a la producción por jefes de grupo de trabajo, de ésta manera, es muy posible que se encuentre que no todos los equipos de trabajo presentan el mismo nivel de productividad, lo que no debe ser un llamado de atención para los grupos con peor desempeño, dado que para Lean management, el capital humano es tremendamente relevante. La idea por el contrario, es observar y estudiar la forma de trabajo de los equipos con mejor desempeño, luego ver con ellos mismos si incluso si es posible aumentar más su producción, a través de Diálogos de desempeño. Una vez teniendo claro lo anterior, se pueden documentar estas mejores prácticas de trabajo y crear estándares operacionales de trabajo que sean replicables por los demás grupos con menor desempeño, de esta manera se aprovechan las competencias de los grupos más productivos para el resto de la organización.

Es importante que tras transmitir estos estándares al resto de la organización, se debe verificar la estricta adherencia a éstos. De no cumplirse, se deben conversar en los diálogos de desempeño, de forma de entender que impide a los trabajadores el cumplimiento de estos estándares.

Un ejemplo de estándares son los realizados en los equipos de trabajo de los Convertidores Peirce Smith de Fundición Caletones, los cuales fueron desarrollados en el marco del proyecto lean, los cuales se muestran a continuación:

Estandares operacionales Convertidor Peirce Smith

Estandar Convertidor Pierce Smith - Seguridad	
Accidentabilidad	0
Realización de AST	Todas las áreas
Inspección de rutina por condiciones inseguras	Diaria
Inspección de rutina por filtraciones o fugas	Semanal

Estandar Convertidor Pierce Smith - Preparación	
Limpieza de Boca	1 vez por carga
Limpieza de Foso	1 vez por carga
Comunicación con JdT finalizada la preparación	Max 1 min terminada preparación

Estandar Convertidor Pierce Smith - Soplado		
Iniciar el soplado	Máx 1 min	después de entrega 3era taza Metal blanco
Recepción de la 5ta taza de Metal Blanco	Máx 180 min	después del iniciop de soplado
Avisar a grúa la necesidad de una taza de carga fría gruesa	Mín 10 min	de anticipación
Última taza de carga fría gruesa	Máx 40 min	antes del fil del soplado
Avisar a grúa la necesidad de preparar una taza de fundente	5 min	después de entrega última taza de carga fría gruesa
Avisar al JdT FUCO el fin del soplado	Mí 20 min	antes de terminar la carga
Coordinación con planta de aire el fin del soplado	5 min	anticipado del fin del soplado
Fin del Soplado	Máx 260 min	después del inicio del soplado

Estandar Convertidor Pierce Smith - Entrega Blister	
Práctica de Embanque	
Siempre realizarlo	Finalizado el tiempo de soplado
Duración del soplado de embanque	3 - 5 min
Retiro completo de mazamorra	Cada carga

Resultados de diagnóstico y diseño del estado futuro, Fundición Caletones, Codelco,

10.Evaluación económica

El costo directo de la implementación de Lean depende en gran parte de la consultora que se contrate, la cual puede ser nacional o extranjera. Es importante que se elija a una consultora con experiencia en la implementación de Lean, y ojalá que pueda asegurar sus resultados, de esta manera la evaluación de la implementación debiera considerar no solo los costos directos en consultoría sino que también el mayor ingreso o menor costo esperado.

Solo para efectos de una evaluación muy preliminar, se revisó la cotización de una consultora cuyo costo de implementación bordea los 300 KUS\$, lo que incluye:

- Programa de gestión del cambio: Kick off, diagnóstico
- Gestión del cambio a líderes organizacionales
- Entrenamiento para sponsors
- Formación Lean
- Club de la innovación a líderes del proyecto
- Entrenamiento de reuniones efectivas

Adicional a los anteriores costos, la implementación requerirá un plan comunicacional en la fundición, los colaboradores deben saber que se inició la gestión del cambio y deben estar al tanto de sus resultados. Otros costos que surgirán en la implementación son relativos a temas logísticos, arriendo de espacios para conferencias, jornadas de lanzamiento, y otros. Es importante además, considerar un presupuesto para talleres de gestión de resistencia, mejora continua, resolución de problemas, trabajo en equipo, coaching a jefes de grupos, etc. A modo de estimación se considerará un presupuesto de \$200 KUS.

Por el lado de los ingresos esperados, en la sección 9.6 se indicó que la implementación de lean en una fundición podría llevar a un aumento de la producción anual de la fundición de 14% medido en cobre fino. Para efectos de esta evaluación, se considerará que tal aumento se obtiene dentro de los primeros 4 años post implementación lean, y a partir del 5to año la producción vs el escenario base, se mantendrá en 14% anual.

A pesar de que la mayor producción provocaría un menor costo unitario en la fundición, en la evaluación se considerará solo el aumento en la producción indicado previamente, más no la reducción en el costo unitario, el cual se deja fijo a nivel operacional en 209 US\$/tms.

Con lo anterior, se consideran los siguientes supuestos en la evaluación:

Parámetros y Supuestos	
Inversión KUS\$	500
Producción anual actual tmf	100.000
TC US\$/tms	93
RCc cUS\$/lb	9
RC US\$/tmf	120
Costo operacional unitario US\$/tms	209
% Costo Variable US\$/tms	39%
Tasa descuento	8%
Horizonte evaluación años	10

Evaluación implementación Lean versus escenario base:

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Aumento en la producción		5%	9%	12%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Mayor Blister tmf		5.000	9.000	12.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000
Mayor Fusión tms		20.000	36.000	48.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000
TC US\$/tms		93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
RCc cUS\$/lb		9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
TC/RC Combinado US\$/tms		113	113	113	113	113	113	113	113	113	113
Costo variable KUS\$		-1.624	-2.924	-3.898	-4.548	-4.548	-4.548	-4.548	-4.548	-4.548	-4.548
Inversión Implementación Lean KUS\$	-500										
Flujo de Caja KUS\$	-500	645	1.162	1.549	1.807	1.807	1.807	1.807	1.807	1.807	1.807
VAN KUS\$	9.791										

Los resultados de la evaluación preliminar de la implementación Lean, indican que la inversión de 500 KUS\$ se podría llegar a recuperar al primer año post implementación, año, mientras que el VAN a 10 años considerando un aumento de 14% de la producción, versus escenario base, provocaría un mejor resultado para la fundición de casi 10 millones de US\$, evaluación incluso que es conservadora, dado que no se considera el menor costo unitario anual que conlleva un aumento de la producción, así como tampoco los ingresos o créditos por subproductos asociados a la mayor producción, en particular el factor de localización, barro anódico y ácido sulfúrico.

11. Conclusiones y curso de acción

La industria de fundición de cobre en Chile vive uno de sus peores momentos, con altos costos operacionales, una caída en los cargos de tratamiento que son la principal fuente de ingresos para la fundición, una alta inversión requerida para cumplir la normativa medioambiental y la utilización de una tecnología que dejó de ser competitiva a nivel mundial.

Por otro lado, las fundiciones de cobre locales son necesarias para el país por variados motivos, como alta concentración del mercado mundial de fundiciones, inexistencia de infraestructura portuaria que permita exportar solo concentrado de cobre, además las fundiciones en Chile permiten la explotación de minerales complejos, etc., por lo que un cierre de las fundiciones locales se estima improbable.

Bajo este complejo escenario, es que se hace aún más necesario mejorar la gestión de las fundiciones, de forma de reducir costos y/o aumentar la producción, y una de las herramientas más utilizadas en el mundo para conseguir esto en una empresa, es la metodología lean management o gestión “esbelta”, la cual tiene un alto potencial de éxito si se aplica en las fundiciones de cobre, dada la alta variabilidad de la producción.

Lean management busca los desperdicios en las empresas y los enfrenta a través de numerosas herramientas, ninguna muy compleja, pero que si requieren un entendimiento cabal y experiencia en su implementación. Es por ello que las empresas suelen acudir a consultoras expertas internacionales que ya la han implementado en otras organizaciones, lo que requiere una inversión que puede ser no menor. Sin embargo, en organizaciones como CODELCO, que cuenta con cuatro fundiciones, se podría implementar lean de forma centralizada, capacitando a los agentes de cambio “corporativos” para que lleguen a convertirse en expertos lean, y que sean ellos quienes implementen la metodología en todas las fundiciones de corporación, permitiendo además, el compartir las mejores prácticas y estándares operacionales entre todas las fundiciones.

La evaluación preliminar de la implementación lean, indica que un aumento de 14% en la producción de cobre fino, versus el escenario base, implicaría un VAN a 10 años de US\$ 10 millones, lo que se lograría manteniendo tal aumento anual.

Es importante indicar que la metodología Lean no consiste solo en la aplicación de sus herramientas, sino que requiere también un cambio cultural en los trabajadores de las fundiciones, un compromiso por la búsqueda de la excelencia operacional. De lo contrario se corre el riesgo de que su implementación tenga buenos resultados en el corto plazo, pero que se pierdan al no gestionarla, así por ejemplo, si solo se logra una mayor producción de 5% en el primer año, tras lo cual se vuelve a la producción del escenario base, se obtendría un VAN de solo 98 KUS\$.

Una manera de ayudar a mantener los resultados obtenidos con la implementación de lean podría ser la relocalización de los agentes lean que la implementen, distribuyéndolos en las fundiciones de la empresa y creando unidades o direcciones de excelencia organizacional en cada una de éstas, siguiendo el ejemplo de la dirección creada en Codelco División Teniente.

Ésta nueva área se justifica porque en general, el personal de gestión de operaciones está preocupado principalmente de la producción, mientras que el personal de control de gestión en las empresas, utilizan sus recursos principalmente en labores de reporting, especialmente en circunstancias en que el control de costos se vuelve muy relevante, por lo que sería bueno contar con unidad nueva, dedicada esencialmente a la búsqueda de la mejora continua de los procesos para alcanzar la excelencia operacional en las fundiciones.

12. Bibliografía

1. Calvo Paula (2015), Mejoramiento del sistema de logística de materiales en la línea de ensamblado en empresa manufacturera.
2. Comisión Chilena del Cobre (2015), Tecnologías en fundiciones de cobre.
3. Cuatrecasas Lluís, Metodología para la implantación del lean management en una empresa industrial independiente y de tamaño medio
4. Dunstan, Lavin y Sanford (2006), The application of Lean Manufacturing in mining environment.
5. Francis Paredes, IDIA, Optimización de operaciones mineras mediante Lean Production, Industria al día.
6. Fundación Chile y CORFO (2015), Hoja de ruta de la minería al 2035
7. Herrera José, ENAMI (2015) Situación actual, perspectivas y alternativas para FuRes de Chile.
8. http://www.almyta.com/v3/article.asp?c=History_of_Lean_Manufacturing&l=es
ANDI, R. WIJAYA 1,2 R. KUMAR1, U. KUMAR1, Implementing Lean Principle into Mining Industry, Issues and Challenges
9. http://www.lan.com/es_cl/sitio_personas/about_us/sostenibilidad_lan/excelencia_operacion/index.html
10. https://es.wikipedia.org/wiki/Lean_manufacturing#Origen
11. https://es.wikipedia.org/wiki/Lean_manufacturing#Origen
12. <https://www.codelco.com/memoria2015/pdf/estados-financieros/memoria2015-EEFF.pdf>
13. Marcelo Olivares, Gestión de Operaciones, MBA versión industria minera, 2014
14. Memoria anual CODELCO 2015:
15. Valenzuela Cristian, Estudio estadístico de la influencia operacional de convertidores Peirce-Smith en la generación de escoria en hornos de refinación anódica: División El Teniente-CODELCO Chile.
16. Vilana Arto José (2010-2011), Fundamentos de Lean manufacturing
17. Womack, James P. and Jones, Daniel T. (2003), Lean Thinking
18. Womack, Jones, Roos, The machine that Changed the world