

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**EXPERIENCIAS Y ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA FUNDICION DE
CALETONES CODELCO-CHILE, DIVISION EL TENIENTE**

Informe de práctica presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero en Recursos Naturales.

ANDRÉ BAÑADOS FELMER

PROFESOR GUIA: RICARDO ESTEBAN GONZALEZ JIMENEZ

TEMUCO – CHILE

2011

EXPERIENCIAS Y ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA FUNDICION DE CALETONES CODELCO-CHILE, DIVISION EL TENIENTE

PROFESOR GUIA:

RICARDO ESTEBAN GONZALEZ JIMENEZ

INGENIERO FORESTAL,

MAGISTER EN ADMINISTRACION Y ECONOMIA DE EMPRESAS,

DOCTOR EN CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORESTALES

PROFESOR CO-GUIA:

FERNANDO CONDORE REYES

INGENIERO CIVIL QUIMICO

JEFE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

SUPERINTENDENCIA INGENIERÍA DE PROCESOS

GERENCIA FUNDICIÓN

CODELCO-CHILE, DIVISIÓN E TENIENTE

CALIFICACION PROMEDIO INFORME DE PRÁCTICA PROFESIONAL : _____

INDICE

Capitulo		Página
1	INTRODUCCION	1
2	DESCRIPCION DE LA EMPRESA	3
3	DESCRIPCION DETALLADAS DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y SUS RESULTADOS	5
3.1	Actividad N°1	5
3.1.1	Descripción del trabajo	6
3.1.1.1	Descripción detallada de la metodología de la actividad N°1	7
3.1.2	Resultados de la actividad N°1	9
3.1.2.1	La utilización del agua en la Fundición Caletones	11
3.1.2.2	Trabajo realizado en la Actividad N°1	13
3.1.2.2.1	Primera Parte	13
3.1.2.2.2	Segunda Parte	20
3.2	Actividad N°2	23
3.2.1	Reseña de la norma	23
3.2.2	Principales parámetros de evaluación	24
3.2.3	Caracterización de los parámetros observados en la empresa.	25
3.2.4	Recomendaciones para la implementación	27
3.3	Actividad N°3	29
4	ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS ACTIVIDADES Y SUS RESULTADOS	35
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
5.1	Conclusiones	38
5.2	Recomendaciones	40
6	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	42
7	ANEXOS	43

NOMENCLATURA

AND	: Refinación Anódica
CPS	: Convertidor Pierce Smith
CT	: Convertidor Teniente
EnMs	: Plan de Manejo Energético (Energy Managment System)
FUCO	: Fusión Conversión
GEI	: Gases Efecto Invernadero
HLE	: Horno Limpieza Escoria
LIGA	: Limpieza de Gases
MAGA	: Manejo de Gases
msnm	: Metros sobre el nivel del mar
PLG 1	: Planta Limpieza de Gases 1
PLG 2	: Planta Limpieza de Gases 2
POAN	: Planta de Oxigeno Aire y Nitrógeno
PRECA	: Preparación Carga
PSF	: Planta Secado Fluosólidos
PTE 1	: Planta Tratamientos Efluentes 1
PTE 2	: Planta Tratamientos Efluentes 2
RAF	: Refinación a Fuego
REMO	: Refinación y Moldeo

1 INTRODUCCION

La empresa CODELCO CHILE es el primer productor de Cobre en el mundo y posee más del veinte por ciento de las reservas mundiales del metal rojo (Rojas, 2010 *citado por* Rojas, 2011). La empresa actualmente consta de seis divisiones de la cual la división El Teniente posee la mina de Cobre subterránea más grande del mundo, con más de 2.400 km de túneles (Rojas, 2011). El complejo productivo El Teniente comprende básicamente las operaciones clásicas de extracción de mineral, molienda y concentración y fundición del concentrado. Actualmente, la extracción anual de Cobre de la mina es de 470.000 toneladas con las cuales se producen 422.000 toneladas anuales de concentrado de Cobre y 5.000 toneladas anuales de concentrado de Molibdeno. El 92% del Cobre es procesado en la Fundición de Caletones, cuya producción anual alcanza 378.000 toneladas de ánodos de Cobre y Cobre refinado a fuego. El 8% de diferencia es producido como concentrado de Cobre (Tardón, 2011).

Actualmente, la División El Teniente de CODELCO CHILE está impulsando la concreción de diversos nuevos proyectos de producción de Cobre de mina. Con estos nuevos proyectos se busca maximizar la productividad de El Teniente y utilizar eficientemente los recursos disponibles en armonía con los estándares nacionales e internacionales de calidad y medio ambiente. Tales proyectos permitirán otorgar continuidad y competitividad al negocio de fundición.

La disponibilidad y la gestión adecuada del agua es clave para la sustentabilidad de la actividad minera en Chile (COCHILCO, 2008), por lo tanto el posicionamiento del agua para CODELCO como un recurso escaso y de gran consumo en la minería hace necesario el estudio de su disponibilidad como insumo de producción. El estudio implica analizar el balance de masa de agua en la fundición y su caracterización química. Se espera que los resultados de tales

análisis permitan detectar problemas y generar recomendaciones oportunas de uso en la Fundición. Otra motivación, es la necesidad de cumplir con la normativa ambiental vigente.

Actualmente, la competitividad de una empresa está asociada directamente a su capacidad de racionalizar, reducir y mejorar la utilización de la energía; asociado a tal concepto se ha introducido en diversas empresas la nueva norma ISO 50001, la cual para ser implementada y certificada, requiere de una auditoría energética a modo de hacer comparables los resultados. Es en este tenor que el presente trabajo busca identificar y recomendar algunos aspectos que puedan ser necesarios en la concreción de una favorable auditoría técnica y su respectiva certificación ISO de la Empresa.

Este estudio se suma a una serie de diversos estudios que han abordado temas concernientes al procesamiento de mineral enfrentado a diferentes condiciones mineralógicas, mejora en el tratamiento de gases y optimización del uso de recursos naturales disponibles. De esa misma forma, en la permanente búsqueda de optimizar, se han introducido diferentes variantes al proceso macro y a sub procesos asociados; por tal razón resulta de gran interés poder re-evaluar periódicamente las implicancias al entorno que dichos cambios han significado.

2 DESCRIPCION DE LA EMPRESA

La empresa CODELCO CHILE posee seis divisiones, entre ellas la División El Teniente; la empresa tiene como objetivo la producción de Cobre metálico y subproductos obtenidos en el proceso de producción, en base al mineral de Cobre obtenido de la mina. La División El Teniente explota una mina de Cobre ubicada bajo el cerro del mismo nombre, en la comuna de Machalí, Región de O'Higgins. Se localiza a 80 km al sur de Santiago, a 56 km al noreste de la ciudad de Rancagua y a 2100 msnm, en plena Cordillera de Los Andes (Figura 1). Se considera la mina subterránea de Cobre más grande del mundo por sus más de 2400 km de galerías subterráneas. El acceso a la mina es por la carretera del Cobre, la cual fue construida en la década del 60.



Figura 1. Croquis de la ubicación Geográfica de la División El Teniente. (Fuente: Google Maps)

La mina comenzó a ser explotada por los indígenas de la zona en el período prehispánico. En el año 1786, la mina pertenecía a la Compañía de Jesús, pero cuando estos fueron expulsados de

Chile, los terrenos fueron comprados por don Mateo de Toro y Zambrano y sólo en el año 1819 se iniciaron las labores mineras regulares. Posterior a esto pasó a cargo de una empresa norteamericana, que inició su explotación en forma industrial en el año 1905. Con consecuencia de la nacionalización del Cobre, en el año 1971, El Teniente pasó a ser una empresa del Estado (ICARITO, 2012).

De acuerdo a la información provista por CODELCOEDUCA (2012), los procesos generales que se llevan a cabo en la División El Teniente son los siguientes:

1. Proceso de extracción. En este proceso se extrae el mineral por hundimiento de bloques (explosivos), que luego es molido en la Planta de Molienda en Sewell.

2. Proceso de concentración. El mineral previamente procesado y ya molido, es enviado al Campamento Colón, en donde: 1) El mineral es chancado (para reducir el tamaño); 2) el mineral chancado es llevado a molinos rotatorios para formar una pulpa, para reducir el tamaño de las partículas con la mezcla del mineral con agua y reactivos; 3.) La pulpa es llevada a celdas de flotación donde se separa el Molibdeno y el Cobre de las demás impurezas; el Molibdeno se recupera y el concentrado de Cobre con un contenido sólido de un 60% es enviado a un espesador para aumentar este porcentaje, para posteriormente ser enviado a la Fundición Caletones, donde primero es enviado a la Planta de Filtros para reducir el porcentaje de humedad a un 10% aproximadamente.

3. Proceso de fundición y refinado. En este proceso el concentrado de Cobre proveniente de la Planta de Filtros: 1) Es secado en la Planta Secado Fluosólidos, donde se reduce el porcentaje de humedad a 0,2%; 2) este concentrado seco es enviado a fusión y conversión para obtener finalmente Cobre metálico en forma de ánodos de Cobre con un 99,7% de pureza, y lingotes de RAF (Refinado a Fuego) de un 99,92% de pureza; además, en el manejo de gases de la fusión y conversión se obtiene ácido sulfúrico (H_2SO_4).

3 DESCRIPCION DETALLADAS DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y SUS RESULTADOS

La práctica profesional realizada desde el 1 de Septiembre de 2011 hasta el 31 de Enero de 2012 en la Fundación Caletones, se redujo a tres actividades, las cuales se detallan a continuación.

Debido a la naturaleza de las tres actividades desarrolladas, solo la Actividad N°1 cuenta con metodología, debido a que las actividades N°2 corresponde a la generación de una recomendación, en tanto que la Actividad N°3 consistió en una recopilación de antecedentes.

3.1 Actividad N°1

El objetivo de esta actividad fue conocer el uso del agua, como y cuanto se utiliza en la Fundación para encontrar oportunidades de optimizar su uso en los procesos. Para ello se hizo una caracterización química de las aguas que surten a la Fundación Caletones, para conocer la situación actual del uso este recurso en los procesos productivos, y encontrar debilidades y fortalezas en el sistema de gestión de aguas. Además se realizó la identificación y caracterización de la dinámica de flujo de las aguas, indicando los consumos por área y la cantidad de flujos de entrada y de salida.

3.1.1 Descripción del trabajo. El esquema metodológico que se desarrolló para el logro de la Actividad N° 1 se presenta en el siguiente diagrama:

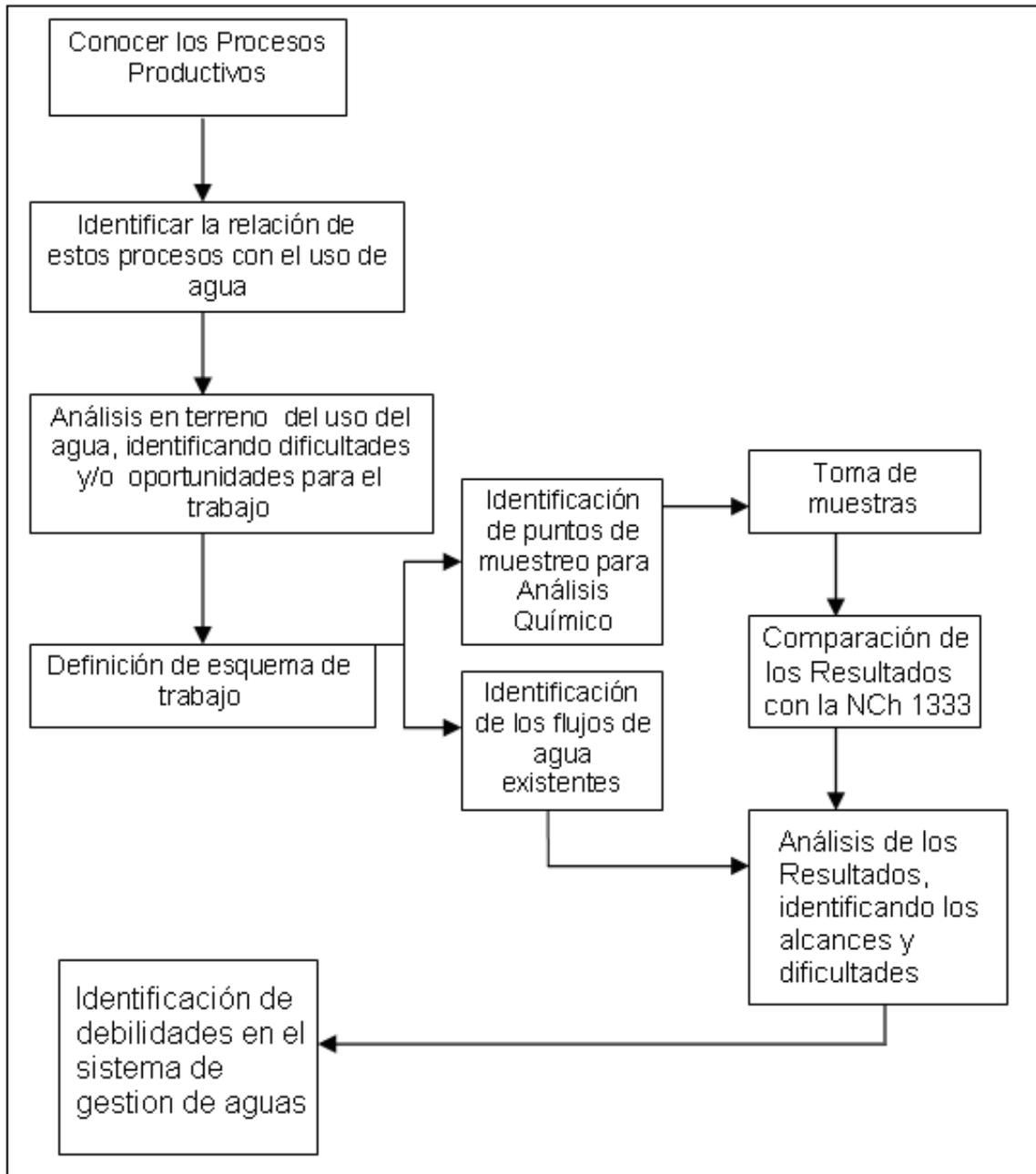


Figura 2. Esquema Metodológico utilizado en la Actividad N°1 (Fuente: elaboración propia).

3.1.1.1 Descripción detallada de la metodología de la actividad N°1. Los puntos de la metodología se explican y se detallan a continuación:

1) Conocer los procesos productivos. En esta etapa se identificó todos los procesos de la Fundación Caletones, con su dinámica dentro de la Fundación.

2) Identificar la relación de estos procesos con el uso de agua. Se identificó y se conoció la dinámica que existe entre el agua y los distintos procesos involucrados, y la importancia del agua para estos procesos.

3) Análisis en terreno del uso del agua, identificando dificultades y/o oportunidades para el trabajo. Se visitó en terreno las distintas unidades operativas donde se llevan a cabo los procesos, y se analizó cada caso para identificar dificultades y oportunidades para trabajar

4) Definición de esquema de trabajo. En base a lo observado en terreno, considerando la situación de la Fundación Caletones en cuanto al manejo del agua se definió el esquema de trabajo.

5) Identificación de puntos de muestreo para análisis químico. Se representa los puntos de muestreos en base a los antecedentes obtenidos anteriormente, que busque de mejor forma representar la calidad de agua en los procesos de la Fundación, y así analizar como el agua se contamina y modifica su calidad en los distintos procesos.

6) Toma de muestras. Se tomaron las muestras a analizar.

7) Comparación de los resultados con la NCh 1333. Se analizó las muestras y sus resultados, y se compararon con la NCh 1333 de aguas para riego, para identificar diferencias significativas, buscando explicar estas diferencias en base al proceso y la presencia de contaminantes a que el agua está expuesta.

8) Identificación de los flujos de agua existentes. Se identificaron los flujos de agua en los distintos procesos y actividades que se llevan a cabo, y se buscó cuantificar estos flujos.

9) Análisis de los resultados, identificando los alcances y dificultades. Se analizaron los resultados y se identificaron las dificultades que se presentaron en el programa de trabajo, y los logros que se pudieron alcanzar.

10) Identificación de debilidades en el sistema de gestión de aguas. En base a lo obtenido y lo encontrado, se analizan los puntos débiles del Sistema de Gestión de las Aguas, ya sea a través de los análisis químicos, por los flujos e información obtenida y lo observado en terreno.

3.1.2 Resultados de la actividad N°1. Los procesos de la Fundición Caletones se llevan a cabo dentro de 5 unidades operativas: Preparación Carga (PRECA), Fusión Conversión (FUCO), Refinación y Moldeo (REMO), Limpieza de Gases (LIGA) y Plantas de Oxígeno, Aire y Nitrógeno (POAN), (Figura 3).

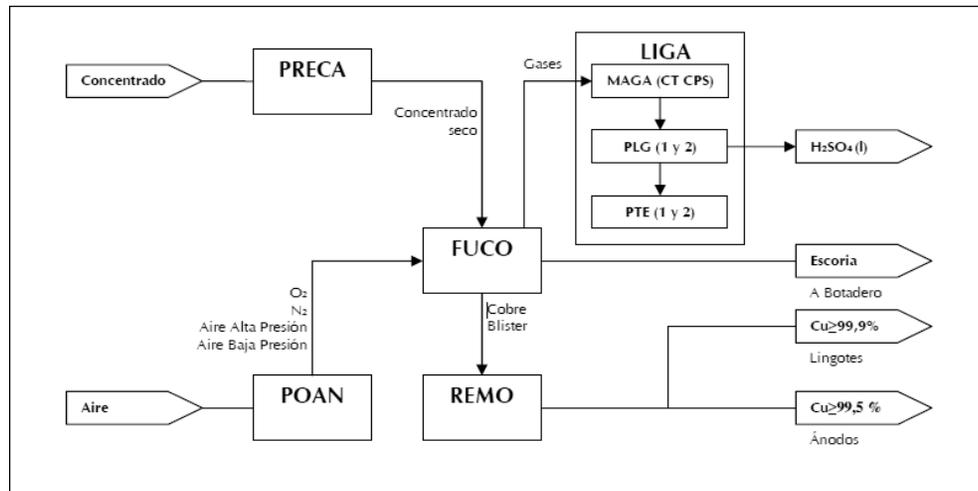


Figura 3. Unidades Operativas de los procesos de la Fundición Caletones. (Fuente: HATCH Consultores, 2010).

De acuerdo a Arias (2008), el concentrado de Cobre proveniente de Gerencia de Plantas ubicado en el Campamento Colón, es recibido en PRECA; donde se realiza el siguiente proceso:

a) En PRECA el concentrado se dosifica y se envía a la Planta de Secado Fluosólidos (PSF), donde se seca el concentrado pasando de una humedad inicial entre un 9 y 11%, a un 0,2%, para poder entrar a los procesos del FUCO. En PRECA también existe la planta de Chancado que procesa los materiales circulantes de la Fundición, estos son: la carga fría, los derrames de material fundido, de la limpieza de tazas, de la limpieza del piso y los pozos de los Hornos de la Fundición, que son chancados y clasificados, y vueltos a proceso para recuperar el Cobre contenido; y el molino de greda para tapar las sangrías de los Hornos al retirar los materiales fundidos de los Hornos del FUCO y del REMO.

b) El concentrado seco proveniente de PRECA es procesado en FUCO, primero en los Convertidores El Teniente (CT) donde se obtiene metal blanco con un 73% a un 76% de Cobre, escoria con un 5% a un 8 % de Cobre y gases con un 25 % a un 35 % de SO₂. Posteriormente el metal blanco es llevado a los convertidores Pierce Smith (CPS), donde se obtiene Cobre blíster con una pureza de 99,5%. La escoria obtenida se envía a los Hornos de Limpiezas de Escoria (HLE) con el fin de recuperar Cobre contenido en ella; si tiene una ley de Cobre arriba de un 1% (menor a un 1% se descarta y se envía a botadero), es llevada nuevamente a los CT en forma de Metal Blanco. Además, el Cobre contenido en los derrames de los hornos, la limpieza de las tazas, entre otros, la cual se recupera en forma de Carga Fría Fina que se incorpora en los CT, y en forma de Carga Fría Gruesa que se incorpora en los CPS (previamente chancado en la Planta de Chancado).

c) El Cobre blister es llevado a REMO para ser refinado y moldeado, en dos procesos que se denominan Refinación a Fuego (RAF) y Refinación Anódica (AND). En el proceso RAF se obtienen lingotes de Cobre ($\geq 99.9\%$ de Cobre) y en el proceso anódico se obtienen ánodos de Cobre ($\geq 99,5\%$ de Cobre).

Paralelamente existe el POAN que es una unidad que produce oxígeno gaseoso y líquido con una pureza del 95% y nitrógeno gaseoso con un máximo de oxígeno gaseoso y líquido con una pureza del 95% y nitrógeno gaseoso con un máximo de 2% de oxígeno, aire comprimido; para ser aplicados y utilizados todos estos en distintos procesos de la Fundición.

Además, para el acondicionamiento y tratamiento de los gases generados en la Fundición existe el LIGA, que consta:

a) La unidad Manejo de Gases (MAGA), que acondiciona los gases para ser llevados hacia las Plantas de Limpieza de Gases (PLG 1 y PLG 2). El MAGA enfría y captura el polvo en

suspensión de los gases captados por las campanas de los CT y los CPS, y posteriormente los conduce hacia las dos PLG.

b) En la PLG 1 y PLG 2 se realiza la limpieza húmeda de los gases y se obtiene el ácido sulfúrico (H_2SO_4) del dióxido de azufre (SO_2) contenido en los gases.

c) Los efluentes de la PLG 1 y PLG 2 producto de la elaboración del ácido y del manejo de gases del MAGA son tratados en las dos Plantas de Tratamiento Efluentes (PTE) con la lechada de cal proveniente de la planta del mismo nombre, para neutralizar y obtener residuos sólidos y líquidos que sean seguros desde el punto de vista de su manejo para su disposición final y que cumplan con los reglamentos medioambientales.

3.1.2.1 La utilización del agua en la Fundición Caletones. El agua fresca que llega a la Fundición (flujo de entrada), proveniente de la bocatoma “Río Blanco”, se almacena en el Estanque de Agua Industrial (Estanque de Servicios). Parte de esta agua se envía a un tratamiento de potabilización y es almacenada en el Estanque de Agua Potable (Figura 4).

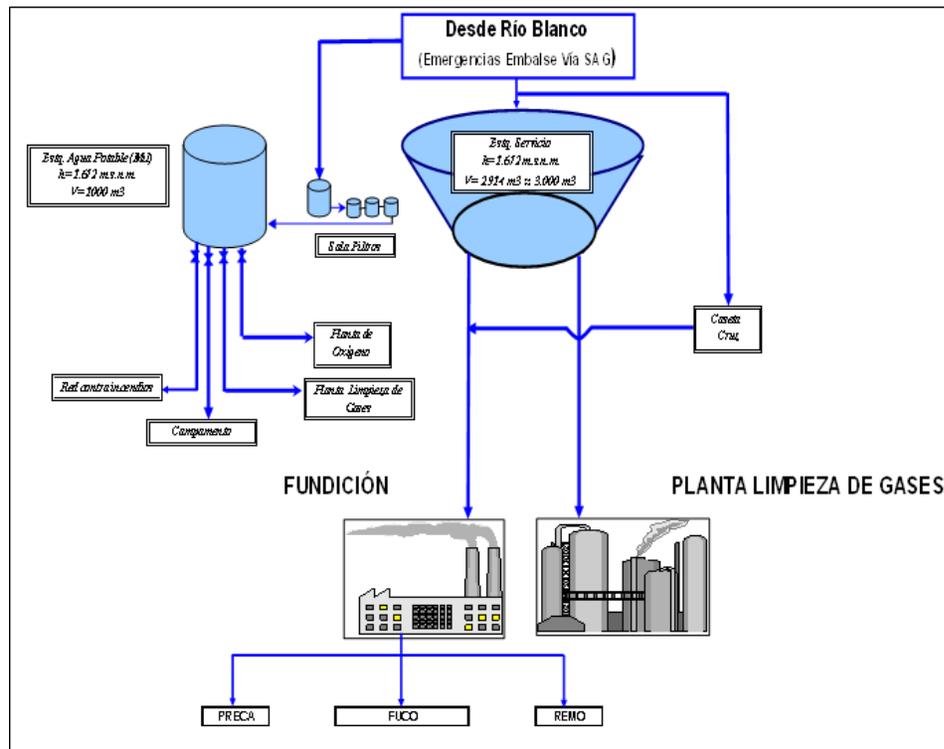


Figura 4. Distribución del Sistema de aguas de la Fundición Caletones (Fuente: Arias, 2008).

Los flujos de salida de agua de la Fundición corresponden a la evaporación del agua utilizada para el enfriamiento de escoria (agua recuperada), además de evaporaciones de los procesos productivos en las unidades operativas; el consumo de agua fresca promedio es de 120 It/s (HATCH Consultores, 2010).

De acuerdo a HATCH Consultores (2010), en la Fundición Caletones se utilizan dos tipos de agua, agua industrial y agua potable. El agua potable se utiliza para:

- Baños, camarines, casinos y comedores
- Duchas de emergencia
- Red de Incendio
- Alimentación torres de enfriamiento en Planta de Aire y Plantas de Oxígeno
- Alimentación a precipitadores electrostáticos húmedos y a torre de absorción en PLG 1.

El agua industrial se utiliza para:

- Enfriamiento campanas de convertidores
- Enfriamiento evaporativo de gases provenientes de Convertidores Teniente
- Limpieza húmeda de gases en PLG 1 (torre de lavado y torre de enfriamiento de agua) y PLG 2
- Alimentación a Torre de Absorción (generación de ácido sulfúrico) en PLG 2
- Preparación de Lechada de Cal.
- Reposición para circuitos de enfriamiento ruedas de moldeo RAF y ánodo
- Preparación de greda en molino
- Alimentación a torre de enfriamiento transporte neumático de concentrado
- Limpieza de toberas por punzado en convertidores

Cabe mencionar que el agua de las purgas, descartes, aguas servidas tratadas y retro lavados provenientes de los distintos procesos, son recolectados y conducidos al Sistema de Recuperación de Aguas del Área Fundición, el cual cuenta con el Estanque F-400, esta agua recuperada se utiliza en el enfriamiento de escoria en botadero.

3.1.2.2 Trabajo realizado en la actividad N°1. Mediante las visitas a terreno se logró identificar la situación real en que se encuentra la Fundición en base a la forma en como se maneja el agua, y a partir de esta situación se planteó el programa de trabajo, el cual consistió en dos partes:

3.1.2.2.1 Primera parte. Para analizar la composición química del agua y caracterizar la situación actual de las aguas de la Fundición, se tomaron diez muestras de aguas de dos litros cada una, en cuatro series de muestras durante los meses de diciembre de 2011 y enero de 2012 (la razón de tomar esta cantidad de muestras es solo para evitar que existan errores en los datos finales obtenidos por posibles muestras mal tomadas). Los resultados obtenidos se compararon

con la norma NCh 1333 (Anexo 1), para identificar diferencias en las aguas de los distintos puntos donde llegan las aguas de los procesos de las unidades operativas de POAN, REMO, LIGA, PRECA (Anexo 2), con respecto al agua inicial (ya sea industrial o potable) proveniente del río Blanco. Los puntos de muestreo tomados fueron los siguientes:

- 1) **Estanque F-400.** Es el primer punto donde se tomaron muestras del Estanque F-400, que es el estanque donde llegan todas las aguas de descarte del MAGA, del PRECA, de la PLG 1 y PLG 2, de la PTE 1 y la PTE 2, y del REMO, y del POAN.
- 2) **Piscina de PRECA.** Es el segundo punto donde se tomaron muestras del Estanque de PRECA, es el estanque donde se almacena el agua para el enfriamiento de la planta de PSF.
- 3) **Piscina de RAF.** Es el tercer punto donde se tomaron muestra de la Piscina de RAF, en la cual se almacena el agua para el enfriamiento de los lingotes RAF.
- 4) **Piscina de ánodos.** Es el cuarto punto donde se tomaron muestras de la Piscina de ánodos, donde se almacena el agua para el enfriamiento de dichos ánodos.
- 5) **PLG 1.** Es el quinto punto donde se tomaron muestras del ril de la PLG 1 que se descarga en el Estanque F-400. Estas son las aguas de purga provenientes de la piscina de la PLG1 utilizada para la refrigeración de los equipos.
- 6) **PLG 2.** Es el sexto punto donde se tomaron muestras del ril de la PLG 2 que se descarga en el Estanque F-400. Estas corresponden a las aguas de purga provenientes de la piscina de la PLG 2 utilizada para la refrigeración de los equipos.

7) PTE 1. Es el séptimo punto donde se tomaron muestras del Estanque de la PTE 1, que contiene las aguas de desechos del proceso de la PTE 1, que son enviadas al Estanque F-400.

8) PTE 2. Es el octavo punto donde se tomaron muestras del Estanque de la PTE 2, que contiene las aguas de desechos del proceso de la PTE 2, que son enviadas al Estanque F-400.

9) POAN. Es el noveno punto donde se tomaron muestras del ril proveniente del POAN que se descarga en el Estanque F-400, que son las aguas de purga provenientes de POAN utilizada para la refrigeración de los equipos.

10) MAGA. Es el décimo punto donde se tomaron muestras del ril proveniente de MAGA que se descarga en el Estanque F-400. Estas corresponden a las aguas de purga provenientes del MAGA utilizada para el enfriamiento de las campanas de los CT y los CPS.

Las muestras se tomaron los días 15 de diciembre del 2011 (Primer Muestreo), 22 de diciembre del 2011 (Segundo Muestreo), el 29 de diciembre del 2011 (Tercer Muestreo), el 04 de enero de del 2012 (Cuarto Muestreo).

El análisis de las variables que se midieron en los cuatro puntos de muestreo que sobrepasaron la norma, se resumen en el Cuadro 1, que muestra el análisis realizado en el Punto N°1 (El Estanque F-400), que es el punto que concentra todas las aguas de los demás puntos, ya que en el se recuperan las aguas que se recambian y que se eliminan por purga de todos los procesos, por lo tanto es representativo de todos lo otros puntos. El análisis de todos los puntos se muestra en el Anexo 3.

Cuadro 1. Estadística descriptiva de las variables que sobrepasan la NCh 1333 en el Punto N°1

Variable	N° Muestras Tomadas	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
SO ₄	4	3537,50	1677,84	1350,00	5310,00
As	4	50,00	13,39	42,00	70,00
Mo	4	8,70	1,45	6,70	10,00
Cd	4	0,27	0,13	0,11	0,41
B	4	3,28	0,78	2,30	4,20
Mn	4	0,16	0,11	0,07	0,32
F-	4	3,96	3,62	0,23	8,80
Na	4	76,03	13,14	61,00	85,30

Los resultados de las muestras demostraron que en cada punto de muestreo existen variables que no cumplen con la NCh 1333 como muchos puntos que ni siquiera se encuentran dentro de la norma de conductividad y sólidos disueltos y la sobrepasan por mucho (ver Anexo 4). Los puntos que no están dentro de la norma de conductividad son la PTE 1 y PTE 2, el Estanque F-400, y el MAGA; y los que no están dentro de la norma sólidos disueltos son la PTE 1 y PTE 2, el Estanque F-400. Las demás variables que sobrepasaron la norma se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Variables que sobrepasan la NCh 1333 en los diferentes puntos de muestreo.

Estanque F-400	Punto N°1	SO ₄	As	Mo	Cd	B	Mn	F-	Na				
Piscina PRECA	Punto N°2	As	Mo	Mn	pH	Cu							
Piscina RAF	Punto N°3	SO ₄	As	Mo	Mn	pH	Cu						
Piscina ánodos	Punto N°4	As	Mo	pH									
PLG 1	Punto N°5	SO ₄	As	Mo	Cd	B	Na						
PLG 2	Punto N°6	SO ₄	As	Mo	Cd	B	Na						
PTE 1	Punto N°7	SO ₄	As	Mo	Cd	B	Mn	Cl-	F-	Na	pH	Zn	
PTE 2	Punto N°8	SO ₄	As	Mo	Cd	B	Cl-	F-	Na	pH			
POAN	Punto N°9	SO ₄	As	Mo	Na								
MAGA	Punto N°10	SO ₄	As	Mo	pH								

En el Cuadro 3 se muestra el promedio de las concentraciones de las variables que se sobrepasaron en cada punto; de los cuatro muestreos. En este cuadro se puede observar que en todos los puntos que se encuentra resaltado el promedio no sobrepasa la norma; esto es debido porque en al menos en uno de los cuatro muestreos esta variable no cumplió con la norma, esto

nos indica que probablemente esta variables se encuentra justo en el limite de cumplir la norma, ya que a veces sobrepasa levemente la norma.

Cuadro 3. Promedio de las concentraciones de las variables que sobrepasan la NCh 1333 en los diferentes puntos de muestreo.

Variable	Punto N°1	Punto N°2	Punto N°3	Punto N°4	Punto N°5	Punto N°6	Punto N°7	Punto N°8	Punto N°9	Punto N°10
SO ₄ (ppm)	3.537,5	-----	380	-----	1.025	1.432,5	8.580	12.870	327,5	182,5
As (ppm)	50	76,03	0,68	0,35	2,02	21,08	582,5	181,88	2	4,93
Mo (ppm)	8,70	0,02	0,02	0,02	0,06	0,29	38,25	41,25	0,16	0,04
Cd (ppm)	0,27	-----	-----	-----	0,02	0,1	1,88	0,9	-----	-----
B (ppm)	3,28	-----	-----	-----	0,44	0,43	14,25	14	-----	-----
Mn (ppm)	0,16	-----	0,03	-----	-----	-----	0,17	-----	-----	-----
Cl- (ppm)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	305	320	-----	-----
F- (ppm)	3,96	-----	-----	-----	-----	-----	11,83	19,01	-----	-----
Na (%)	76,03	-----	-----	-----	60,37	50,13	36	84,73	18,03	-----
pH	-----	7,53	8,90	8,65	-----	-----	8,13	9,05	-----	9,53
Zn (ppm)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	7,51	-----	-----	-----
Cu (ppm)	-----	0,24	0,04	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Cabe destacar que todas estas variables forman parte del proceso productivo, ya que están contenidas en el concentrado de Cobre, fundentes, y moldeantes, razón por la cual, todas ellas se pueden encontrar en suspensión en el ambiente en forma de gases o polvos que se desechan por la chimenea o por los procesos de la Fundición y son arrastrados a las piscinas o estanques que se encuentran al descubierto. Con respecto a la diferencia de una misma variable en diferentes fechas de muestreo depende principalmente de la calidad de los insumos que se utilizan en forma particular en el momento en que se tomaron las muestras; en el caso del pH, que en muchos puntos se observo demasiado básico, se explica por la constante adición de soda a las aguas para subir el pH cuando estas se tornan demasiados ácidas por presencia de sulfato (SO₄), como por producto de la adición de lechada de cal (Ca(OH)₂) para la neutralización del Arsénico en la PTE 1 y PTE 2.

Con respecto a las concentraciones altas en cuanto a la conductividad y los sólidos disueltos, estos se podrían explicar debido a las características del proceso como los ocurridos en la PTE 1 y la PTE 2, o las pruebas efectuadas en la PTE 2 cuando se tomaron las muestras, ya que estas pudieron afectar estos valores. En el MAGA podría ser un caso aislado, ya que solo se evidencia en una sola muestra y su concentración no era muy alta a la de la norma. Además, como se recolecta todas las aguas de los puntos en el Estanque F-400, los altos niveles en este punto se pueden explicar dado que ahí igual llegan aguas de las PTE 1 y la PTE 2.

En el Estanque F-400 (Primer Punto), como se recolecta el agua de todos los demás procesos, es lógico visualizar que existen muchas variables que sobrepasan la NCh 1333, ya que en ese punto se mezclan todas las aguas de los demás puntos. Además, están expuestas a polvo y gases que se encuentran en el ambiente de la Fundición.

En el La Piscina de PRECA (Segundo Punto), las aguas se contaminan por polvo o gases que se encuentran en el ambiente (en especial los provenientes de la PSF), y por infiltración de contaminantes que se presentan en alguna etapa del sistema de refrigeración (transporte neumático de concentrado en la PSF).

En el La Piscina RAF y ánodos (Tercer y Cuarto Punto), al entrar en contacto con los lingotes de RAF y los ánodos de Cobre, las aguas se contaminan por polvo o gases que se encuentran en el ambiente, y por los moldeantes y otras sustancias contenidas en el Cobre que se esta moldeando.

En las aguas de la PLG 1 y PLG 2 (Quinto y Sexto Punto), estas se contaminan por polvos o gases que se encuentran en el ambiente y por infiltración de contaminantes que se presentan en alguna etapa del sistema de refrigeración (ácidos), ya que esta agua es para refrigeración de los equipos solamente (placas para intercambiar calor, para enfriar el ácido débil de recirculación y el ácido concentrado).

Las aguas de la PTE 1 y PTE 2 (Séptimo y Octavo Punto), estas se contaminan producto del tratamiento de efluentes provenientes de la PLG 1 y de la PLG 2 (Gases productos de la Fusión y Conversión que no se utilizaron en la producción de H_2SO_4), y de la lechada de cal que se utiliza para neutralizar estos efluentes; en caso especial, la diferencia entre los resultados obtenidos de ambas plantas se debió a que durante la época en que se tomaron las muestras se estaban realizando experimentos con soda en la PTE 2 para encontrar el equilibrio en la captura de Arsénico, lo que arrojó diferencias en varias variables entre la PTE 1 y la PTE 2. Además, las aguas se contaminan debido a la polución presente en el ambiente circundante de la Fundición.

En las aguas del POAN (Noveno Punto), estas se contaminan por polvo o gases que se encuentran en el ambiente y por infiltración de contaminantes que se presentan en alguna etapa del el sistema de refrigeración (gases y polvo del ambiente).

En las aguas del MAGA (Décimo Punto), estas se contaminan por polvo o gases que se encuentran en el ambiente y por infiltración de contaminantes que se presentan en alguna etapa del sistema de refrigeración (gases de la campana de los CT y CPS), por adición de soda para subir el pH cuando las aguas estén demasiado ácidas.

En modo general, la presencia de estas variables que sobrepasan la norma depende en parte del hecho de que todas las piscinas o estanques están expuestas al ambiente, y debido a esto se contaminan con todos los gases o polvo que emanan de la chimenea o de los procesos, y esto explica en parte su presencia en los puntos de muestreo, como el caso del sulfato (SO_4) que se explica por el ambiente rico en dióxido de azufre (SO_2) que reacciona fácilmente con el agua de los estanques o piscinas. Con respecto a la diferencia de pH más básico, es debido a distintos factores como la soda o la cal que se agrega en distintos procesos o la presencia de otros elementos o compuestos a base de OH que no fueron medidos en las muestras.

3.1.2.2.2 Segunda parte. La segunda parte de la actividad consistió en identificar la dinámica de los flujos de las aguas constantes de la Fundición y su cuantificación. En esta se pudo identificar como el agua industrial o potable abastece a las distintas unidades operativas (flujos de entrada), y como el agua es reutilizada en los procesos, y como esta se pierde ya sea por descarte, purga, y evaporación (flujos de salida).

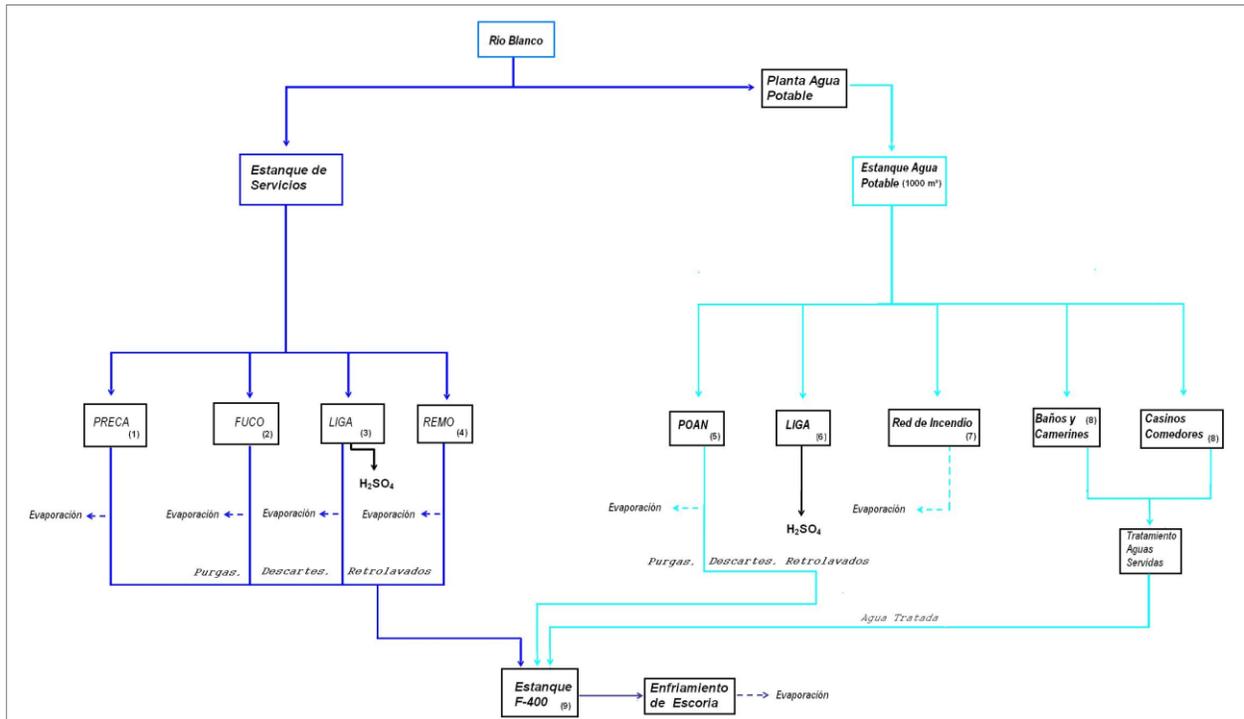


Figura 5. Dinámica de los flujos de las aguas utilizadas en la Fundición Caletones. (Fuente: elaboración propia).

En la Figura 5 se observa la dinámica de uso del agua en la Fundición, en esta el detalle del uso del agua se muestra a continuación:

1) PRECA. El agua se utiliza en la preparación del molino de greda, y para el enfriamiento de los equipos en la PSF. En este último, el agua se repone ya que se pierde por evaporación (torres de refrigeración), o por purga, las purgas generadas por recambio de aguas principalmente son enviadas al Estanque F-400.

2) FUCO. El agua se utiliza para la limpieza de toberas por punzado de Convertidores, para y el enfriamiento evaporativo de los gases producidos que trata el MAGA, y para el enfriamiento de las campanas de los CT y CPS, esta agua se repone ya que se pierde por evaporación (torres de enfriamiento), o por purga, las purgas son enviadas al Estanque F-400.

3) LIGA. El agua industrial se utiliza para la limpieza húmeda de gases de la PLG 1 y la PLG 2, para la producción de H_2SO_4 de la PLG 2; para la preparación de la lechada de cal y, para el enfriamiento de los equipos de ambas plantas. En este último, el agua se repone ya que se pierde por evaporación (torres de refrigeración), o por purga, las purgas son enviadas al Estanque F-400.

4) REMO. El agua se utiliza para enfriamiento de los ánodos y RAF, el agua se repone ya que se pierde por evaporación (torres de refrigeración), o por purga, las purgas son enviadas al Estanque F-400.

5) POAN. El agua se utiliza para la enfriamiento de los equipos de la Planta de Aire y la Planta de Oxígeno, agua se repone ya que se pierde por evaporación (torres de refrigeración), o por purga, las purgas son enviadas al Estanque F-400.

6) LIGA. El agua potable se utiliza para alimentación a precipitadores electrostáticos húmedos y a torre de absorción en PLG 1.

7) Red de incendio. El agua se utiliza para estas emergencias, y se pierde por evaporación.

8) Baños, camerinos, y casinos y comedores. El agua que queda como desecho, es tratada y luego enviada al Estanque F-400.

(9) **Estanque F-400:** Aquí se recolectan todas las aguas recuperadas, para posteriormente enviarlas para el enfriamiento de Escoria, donde esta se pierde por evaporación.

Debido a las dificultades presentadas en terreno para obtener los flujos de las aguas en las distintas áreas operativas, los antecedentes cuantitativos de los flujos de agua se obtuvieron de Arias (2008); los flujos de entrada se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Consumo de agua en cada unidad operativa en el año 2008

Unidad Operativa	Cantidad en m³	Porcentaje en base al total
PRECA	24.060	0,68%
FUCO	721.288	20,3%
REMO	394.038	11,1%
LIGA	1.929.062	54,3%
POAN	484.431,2	13,7%
TOTAL	3.552.879	

En los flujos de salida se determinó que se pierde por evaporación, arrastre, descarte, purga, un total de 227,63 m³/h (aguas que no se vuelven a utilizar en los procesos), lo que equivale a un 56% del total; de ellos una parte se pierde por evaporación (4,1%), y la otra se utiliza para el enfriamiento de escoria (50,9%).

Estos valores sirven de referencia para dar una visión de la situación en que podría estar la Fundición hoy en día, ya que estos valores corresponden al año 2008, con esto se puede saber cuales son las áreas que exigen más agua, y el agua que se pierde por evaporación. Teniendo en conocimiento de esta información se puede idear la forma de optimizar el agua en bases a la disminución de las tasas de la misma que se pierde por evaporación, ya que esta evaporación se

puede utilizar para otros procesos o puede ser utilizada para la generación de energía si es rentable.

En toda la actividad se identificó una serie de debilidades que tiene el sistema de gestión de agua. Estas son: 1) El control de la contaminación ya que todas las piscinas donde se muestreó se encuentran al descubierto, ya que el no tener control puede afectar la producción; 2) no todas las unidades operativas funcionan a la par (en algunas se maneja bien el agua teniendo información confiable de los flujos que entran y salen, mientras que en otras no); 3) no existe conocimiento como optimizar más el agua debido a que el agua no es considerado un factor crítico en las unidades operativas (esto pasa en la mayoría de las unidades donde se utiliza solo agua para refrigeración).

3.2 Actividad N°2

La segunda actividad tuvo como objetivo generar recomendaciones que la empresa debe considerar para lograr la certificación ISO 50001. Para ello se hizo un análisis de la norma, destacando los puntos más importantes, y en base a estos puntos se hizo el análisis de la empresa CODELCO CHILE en la División El Teniente; para posteriormente generar las recomendaciones que la empresa debe aplicar, para lograr poseer todos los requisitos necesarios para certificarse por la ISO 50001.

3.2.1 Reseña de la norma. El propósito de esta norma es permitir a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar el rendimiento energético, incluida la eficiencia energética (ISO 50001, 2012). La aplicación de esta norma tiene la intención de reducir las emisiones de los GEI, el costo de la energía y otros impactos ambientales relacionados con el manejo de la energía. Esta Norma es aplicable a todo tipo y tamaños

de empresas u organizaciones, sin importar las condiciones geográficas, culturales o sociales. La implementación exitosa depende del compromiso de todos los niveles y funciones de la empresa u organizaciones, y especialmente de la alta dirección. Esta norma especifica, los requisitos de un sistema de manejo de energía (EnMs) para la empresa u organización; para desarrollar e implementar una política energética, establecer objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso significativo de la energía. El EnMs permite a la empresa alcanzar sus compromisos de la política energética, tomar las acciones necesarias para mejorar su eficiencia energética y de demostrar en conformidad del sistema a los requisitos de esta norma. La aplicación de esta Norma puede ser adaptada a los requerimientos de una empresa u organización, incluyendo la complejidad del sistema, el grado de documentación, y los recursos; y se aplica a las actividades bajo el control de la empresa u organización.

3.2.2 Principales parámetros de evaluación. Según la norma, unos de los principales aspectos que se deben considerar para cumplir con los requerimientos para certificarse, es la existencia de un plan de manejo energético (EnMs); para eso se debe conocer y evaluar un plan similar (si existe) en CODELCO CHILE. Además, se debe conocer acerca de los siguientes aspectos:

- a) Existencia de una política específica para el manejo de los sistemas energéticos y sus objetivos de manejo.
- b) Compromiso de la empresa y su alta directiva para mejorar el comportamiento energético, y la existencia de recursos para mejorar el mismo.
- c) Existencia de un plan de energía en la empresa que lleve a cabo todas las acciones para mejorar el comportamiento energético, las actividades efectuadas y como se hicieron, y que documente todo lo realizado en el plan.

d) Si se han hecho revisiones energéticas de los procesos que involucran un comportamiento energético, y como se han llevado a cabo y con que frecuencia.

e) Existencia de sistemas de monitoreo de energía en la empresa con indicadores adecuados para la medir el comportamiento energético.

f) Existencia de mecanismos de retroalimentación del sistema, para mejorar continuamente la gestión, y saber la existencia de mecanismos de comunicación de los logros y compromisos y retroalimentación en todos los niveles de la empresa.

3.2.3 Caracterización de los parámetros observados en la empresa. La empresa posee un sistema de gestión ambiental, y la certificación ISO 14001, además, posee una mesa de trabajo ambiental. A pesar que en la política ambiental se define “Usar eficientemente agua, energía, reciclar y disponer adecuadamente los residuos”, lo cual busca aprovechar con mayor eficiencia los recursos. En la empresa no existe una política energética que guíe a la elaboración de un sistema de manejo de energía (EnMS). No existen criterios claros para su creación.

Como no existe una política energética específica para el manejo de la energía, ni tampoco ninguna guía o manual de procedimientos para el manejo energético, es más difícil plantear objetivos específicos que mejoren el comportamiento energético. Esto debido a la poca eficacia y representatividad que tendrían estos objetivos, que serían aplicados de distintas formas, y solo en ciertas áreas de la empresa.

La política es el primer signo de que la empresa tiene un compromiso, en este caso con el mejoramiento del comportamiento energético. En la política ambiental existe referencia para mejorar el manejo de la energía, sin embargo no es suficiente debido a que no menciona como

lograr esta mejora, o el compromiso de la empresa de lograrlo. Porque a pesar de que puede haber intentos de mejorar el comportamiento energético, estos son aislados e ineficientes ya que involucran ciertos aspectos, los cuales deben ser considerados en forma conjunta para realizar una verdadera mejora energética. Esto se logra con una política clara y específica que consideren todos los aspectos de la empresa.

No está claro la existencia de un plan de energía global que involucre toda la empresa por igual, pero si existen planes que llevan a cabo manejos en forma sectorial, los cuales involucran solo ciertos aspectos que igual no se documentan de la forma adecuada, o se les da poca importancia. Tampoco estos planes se exponen al conocimiento de toda la empresa y no se retroalimentan adecuadamente. De la misma manera no existe una forma adecuada para realizar una revisión energética porque no existen los mecanismo por el cual basarse (el plan de energía).

No existe el monitoreo de la energía propiamente tal en la empresa, solo se realiza un monitoreo para hacer análisis en términos de costo en ciertas áreas, y además, como no existe un plan energético y un EnMs, no se sabe y no se puede medir parámetros adecuados de eficiencia energética.

Como consecuencia que la empresa no posee una política energética, no existen mecanismos como programas o manuales para abordar la temática de eficiencia energética; lo que conlleva a que tampoco exista un plan de energía global de la empresa. Por lo tanto cualquier acción tomada, suele no ser efectiva ya que generalmente son aisladas y no son transversales en toda la empresa.

Existen mecanismos para la comunicación de las actividades y de los objetivos, pero son inefectivos porque son utilizados y enfatizados para ciertas áreas de la empresa y no en forma transversal. Además, como no se tiene un plan de energía y una política que apoyarse, los mecanismos de comunicación no son eficaces y no reflejaran de mejor forma la situación de la

empresa; así como comunicar correctamente todas las metas que se alcanzaron, los compromisos, y la importancia de mejorar el comportamiento energético.

3.2.4 Recomendaciones para la implementación. De acuerdo con el análisis de los parámetros observados en la empresa, se detectaron que los siguientes aspectos deben ser considerados o mejorados en la empresa para lograr cumplir con los requisitos de la certificación. Estos son:

a) La política energética. Es tal vez el aspecto más importante a considerar, ya que con éste la empresa adquiere el compromiso de cumplir con todos sus objetivos de lograr un adecuado manejo energético y de esa forma contribuir al ahorro de energía y a mitigar el calentamiento global. Por lo tanto se recomienda que la empresa deba crear una política específica para el manejo energético; y a partir de esta diseñar un plan que permita manejar los sistemas energéticos en forma efectiva y que cumpla con los requisitos de la norma ISO 50001. Esta política debe ser clara y bien definida, y debe asegurarse de contener el compromiso de la empresa y de todos sus empleados de cumplir con los objetivos propuestos. Es importante señalar que en esta política se debe expresar claramente el compromiso de la empresa con el mejoramiento del comportamiento energético, al igual que la participación activa de toda la empresa en el manejo energético, y no en una parte de ella.

b) Existencia de un EnMs. Este permite el adecuado manejo energético, además del cumplimiento de los objetivos y de las actividades a realizar. Por lo tanto se recomienda crear el EnMs para la empresa, este debe tener como guía la política energética la cual en primera instancia debe tener bien definidos cuales son los límites y competencias del EnMs. El EnMs debe establecer los objetivos y metas y la forma de alcanzarlos en plazos determinados, debe contener el plan de trabajo, el funcionamiento y la dinámica de todo el sistema; y debe tener un representante de la alta directiva para informar sobre el cumplimiento de las actividades y para proponer cualquier cambio en el sistema o en la política que no son los adecuados para lograr una mejora en el comportamiento energético. Además, el EnMs debe considerar todos los

requerimientos legales y de la empresa; establecer los mecanismos adecuados para comunicar los logros o hallazgos en todos los niveles de la empresa, y debe plantear las bases para la implementación del plan energético, el sistema de monitoreo, y la continua y correcta revisión energética; y debe asegurar un mecanismo de retroalimentación para buscar continuamente mejorar el EnMs.

c) Existencia de un plan de energía. En este plan, que debe formar parte del EnMs, se analizan todos los aspectos relacionados con los antecedentes que se deben tomar en cuenta para establecer los objetivos o metas, la forma como se llevan a cabo las revisiones energéticas y las actividades, los indicadores de energéticos que se utilizarán, para realizar acciones que sean efectivas en el logro de un continuo mejoramiento energético. Por lo tanto se recomienda establecer este plan a través del EnMs y no en forma aislada, para que se lleve a cabo en forma transversal y global en toda la empresa y de esa forma considere todos los antecedentes necesarios para llevar a cabo un buen plan de energía.

d) La revisión de energía. La forma de hacerla se dará por el plan de energía según los antecedentes analizados en el mismo, al igual que la manera de llevar a cabo la revisión de energía estará dada según la situación actual de la empresa. Por lo tanto se recomienda que existan primero todos los puntos anteriores, para que a través de estos se pueda definir un buen y efectivo sistema de revisiones energéticas, que sea estandarizado y representativo y entregue información real de la empresa.

e) Sistemas de monitoreos. Estos permiten hacer un seguimiento de las acciones que se tomaron para mejorar el comportamiento energético. Se recomienda establecer sistemas de monitoreo previamente definidos y establecidos en el plan de energía, que sean exclusivos para el comportamiento energético y que abarquen todas las áreas en forma transversal; y de esa manera controlar y identificar los puntos conflictivos desde el punto de vista del manejo energético.

f) Retroalimentación. Permite seguir mejorando continuamente todo el sistema de manejo energético. Una retroalimentación aislada y sectorial no es representativa en toda la empresa, por lo tanto se recomienda que la empresa establezca y considere todos los puntos anteriores, primero para generar adecuados sistemas de retroalimentación en forma transversal en todas las áreas y niveles de la empresa. Que sean efectivos para el EnMs y para el plan de energía, ya que son a través del actuar de estos que se refleja una mejora en el comportamiento energético.

g) Mecanismos de comunicación. Estos son la clave para el cumplimiento de los objetivos de manejo energético, ya que están directamente relacionados con la publicación de lo que se hace y lo que se logró, comunicar la importancia del manejo energético, además de permitir la retroalimentación con toda la empresa; para continuamente lograr una mejora en el sistema de manejo energético. Para este punto se recomienda primero establecer el EnMs y que este establezca lo mecanismos adecuados para la comunicación, esta debe ser clara y transparente, además, que involucre todas las áreas y niveles de la empresa, y que al mismo tiempo permita una adecuada retroalimentación del sistema de manejo energético.

3.3 Actividad N°3

La tercera actividad tubo como objetivo realizar una revisión de los antecedentes necesarios para poder medir la Huella de Carbono de la Fundición, apoyando el trabajo de medición de la Huella de Carbono de la Fundición Caletones de la estudiante de magíster Srta. María Verónica Cepeda.

En primera instancia se analizó la metodología PAS 2050, que especifica una metodología para la evaluación del ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero de bienes y

servicios. Esto se realizó para identificar las ventajas y desventajas de esta metodología. Del análisis de la PAS 2050 se obtuvo lo siguiente:

Los criterios de la metodología: Básicamente el criterio que utiliza es identificar la cadena del ciclo de vida del producto, para conocer todas las variables que están involucradas tanto en el proceso de producción del producto, bien o servicio, hasta la disposición final al consumidor (si es el caso). Con esta metodología se podría identificar y conocer el flujo de dióxido de Carbono (CO₂) que se genera en todos estos procesos, además de identificar formas de reducirlo. Esta metodología sólo considera el impacto del Carbono como contaminante; además, esta puede ser aplicada en cualquier bien o servicio, en una empresa grande o pequeña, sólo requiere conocer el ciclo de vida del bien o producto.

El criterio para el cálculo se basa en realizar un mapa de los procesos involucrados en el ciclo de vida del producto, incluyendo la materia prima, todos los materiales utilizados, y el flujo de energía, para conocer la situación de lo que se busca medir y en base a eso fijar los objetivos, los límites, los alcances de lo que se va a trabajar, para poder plantear cual es los criterios que se utilizarán para la recolección de los datos e información.

Debilidades de la metodología: Las debilidades que se encontraron en esta metodología son: 1) Que no considera otros impactos ambientales; 2) sólo considera las emisiones de Carbono; 3) no indica como lograr continuidad para realizar monitoreos y evaluación constante del sistema de medición de la Huella de Carbono; 4) no especifica como deben ser dados a conocer los resultados de la medición de la Huella; 5) al ser una norma estándar internacional diseñada para el Reino Unido, podría presentar dificultades para aplicarse en ciertos países debido a la prioridad, normas y legislación vigente de cada país.

Es importante considerar que debido al hecho que la cadena de vida de un producto o servicio hasta llegar al consumidor final, puede pasar por varias empresas, es necesario que se utilice la

misma metodología en todas las ellas, para que puedan ser comparables las distintas mediciones de Huella de Carbono que, además, deberían hacerse durante todo el proceso y no en una parte de el. La debilidad radica en el contexto, ya que las metodologías que existen para medir la Huella de Carbono son muy diferentes unas con otras.

Fortalezas: Las fortalezas de esta metodología son: 1) Que permite conocer el ciclo de vida del producto o servicio, por lo tanto la emisión de los gases invernaderos; 2) esta puede ser utilizada para cualquier tipo de bien o servicio; 3) esta metodología permite mejorar la imagen de la empresa como “ambientalmente amigable”, y permite demostrar el liderazgo de la empresa; 4) involucra a todos los niveles de la empresa; 5) permite conocer la demanda del mercado y conocer y diferenciar las demandas de los consumidores “verdes”; 6) debido a que está sujeto a un estándar internacional es respaldado por diversas instituciones; 7) al existir muchos otros casos con esta metodología, es fácilmente comparable con una gran cantidad de casos en el mundo.

Aplicaciones: Con esta metodología se puede utilizar la Huella de Carbono como un indicador de competitividad, y se podría conocer la forma de aumentar la productividad de un producto o servicio y por ende la rentabilidad.

En esta metodología no se considera: Las emisiones humanas de los procesos, el transporte de consumidores hacia y desde el punto de compra, el transporte de empleados hacia y desde su lugar de trabajo, y las emisiones de animales que proporcionan el servicio de transporte.

En forma paralela, en la actividad se recolectó información que permita medir la Huella de Carbono durante el año 2010 en el área Nave de la Fundición Caletones, que corresponde al área donde se encuentra las unidades FUCO y REMO. Por lo tanto se identificaron los insumos que se ocuparon en esta área y su cantidad durante ese año. Los insumos y sus cantidades utilizados en FUCO y REMO para la producción en el 2010, se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Cantidad de insumos utilizados en el área Nave durante el año 2010.

FUCO	REMO
6.913 toneladas de Carboncillo para los HLE.	806 toneladas de Caliza para la producción de RAF.
127.658 toneladas de Cuarzo para los CT.	716.300 kilos de Arena de Cuarzo para la producción de RAF.
88.995 kilos de Cal Metalúrgica para los CT.	165.720 kilos de Carbón Vegetal para la producción de RAF.
84.000 kilos de desmoldeante para los CT.	195 toneladas de desmoldeante para la producción de RAF.
432 toneladas de Carlos Coke para los CT.	604.400 kilos de Carbón Granulado para la producción de RAF.
	1.073 toneladas de Ceniza de Soda para la producción de RAF.
	148.000 kilos de desmoldeante para la producción de ánodos.

También se utilizaron insumos producidos y provenientes del POAN. Estos insumos y sus cantidades utilizados durante en el año 2010, se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Cantidad de insumos producidos en POAN para el área de la Nave durante el año 2010.

FUCO	REMO
243.447 toneladas de oxígeno para los CT.	5.366 toneladas de oxígeno para la producción de RAF.
865.251 m ³ de Aire para los CT.	56.413 m ³ de Aire para la producción de RAF.
6.817 m ³ de Nitrógeno para los CT.	5.328 toneladas de oxígeno para la producción de ánodos.
3.015 toneladas de oxígeno para los HLE.	65.101 m ³ de Aire para la producción de ánodos.
87.508 m ³ de Aire para los HLE.	
9.099 m ³ de Nitrógeno para los HLE.	
1.543 toneladas de oxígeno para los CPS.	
528.626 m ³ de Aire para los CPS.	

Además, los combustibles utilizados en el área Nave en el año 2010, son el Diesel, el Enap 6, y el gas licuado, que sólo se utilizó hasta ese año (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cantidad de Combustibles utilizados en el área de la Nave durante el año 2010.

FUCO	REMO
97.963 litros de Diesel para los CT (En la etapa de calentamiento, después de un periodo de mantención)	909.366 kilos de Enap 6 para la producción de RAF.
6.705 toneladas de Enap 6 para los HLE.	506.553 litros de Diesel para la producción de RAF.
1.398 toneladas de Enap 6 para los CPS	494.411 litros de Gas Licuado para la producción de RAF.
974.498 litros de Diesel para los CPS	1076 toneladas de Enap 6 para la producción de ánodos.
	494.411 litros de Gas Licuado para la producción de ánodos.

Con respecto al uso de la energía eléctrica, se averiguó que esta no se especifica por equipo o por uso, sino que por centros de costos (en áreas definidas que involucran varios equipos y procesos), independiente de la cantidad y que equipos se utilizaron. Esto dificultaría saber cuanta energía se utilizó en un equipo específico, ya que se debería conocer las especificaciones técnicas de cada equipo y saber por cuanto tiempo se usó para saber su verdadero uso de energía eléctrica.

Los centros de costos junto con su consumo de energía en el área Nave en el año 2010, se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Consumo eléctrico de los centros de costos del área Nave durante el año 2010.

Centro de Costos	Consumo de Energía Eléctrica (Kwh)
Hornos de Limpieza de Escoria	702.390
Convertidor Pierce Smith	2.177.676
Grúas Convertidores	585.152
Mantenimiento Mecánica Preventiva y Menor Convertidores Grúas.	34.170
Moldeo y Manejo RAF	231.166
Convertidor Teniente	624.403
Moldeo y Manejo ánodos	373.148
Redes Matrices Petróleo	550.000

Durante el año 2010 el total de energía eléctrica en el área Nave, dividida en los ocho centros de costos, fue de 5.278.105 Kwh.

Finalmente, es importante señalar que para el cálculo de la Huella de Carbono del área Nave de la Fundación, no solo se debe considerar el consumo eléctrico de los procesos productivos; sino que también se debe considerar el consumo de los baños, de las oficinas, que se ubican dentro del área Nave; pero que dependen del el área de Servicios Generales.

4 ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS ACTIVIDADES Y SUS RESULTADOS

En la Actividad N°1 se pudo conocer los procesos y las unidades operativas de la Fundición Caletones, como estas están relacionadas entre sí y con el recurso agua. La actividad se dividió en dos partes.

Situación Inicial Primera Parte: En la primera parte se buscó hacer una caracterización química de diversos puntos que representan el uso del agua en cada unidad operativa, exceptuando el agua que se utiliza en la producción de ácido sulfúrico (parte de esta agua va a parar a la PTE como efluente, donde si se midió), en la producción de la lechada de cal, en el molino de greda y en la limpieza de toberas (en estas últimas el uso de agua no es constante); ya que se utiliza para estos casos puntuales y no se reciclan (a excepción de las aguas que llegan a la PTE que se reciclan). Se realizó esto con el fin de obtener un perfil químico de las aguas que circulan en la Fundición, y analizar su contaminación en base a la NCh 1333.

Situación Final Primera Parte: Se constató en terreno que las piscinas o estanques que contenían el agua de los puntos que se midieron, se encuentran todas al descubierto y expuestas al ambiente, por lo tanto no fue extraño que en los resultados se encontraron diversos elementos y compuestos en concentraciones que superan la NCh 1333 (inclusive de aquellos puntos donde el agua es sólo para refrigeración y no se debería contaminar), ya que todas estas variables que superan la norma se encuentran en el ambiente en los gases y polvos que se emite de los procesos y de la chimenea. En esta parte se pudo identificar a modo general los contaminantes que se encuentran en el ambiente y cuales son los procesos que contaminan más las aguas (como era de esperarse son los procesos ocurridos en ambas PTE, que además arrastran procesos de las PLG); esta identificación se hizo en base a la comparación con la NCh 1333; se constató con esta comparación que muchos de los puntos sobrepasan por mucho la norma con respecto a la

conducción y los sólidos suspendidos presentes en las aguas de estos puntos, lo que hace que esta agua no se pueda usar para riego.

Situación Inicial Segunda Parte: En la segunda parte se buscó caracterizar los flujos de agua constante, ya sea en forma cualitativa identificando la dinámica de cómo se usa y se maneja el agua en la Fundición, en sus distintos procesos y unidades operativas; como en forma cuantitativa identificando, la cantidad y tamaño de todos los flujos de la Fundición.

Situación Final Segunda Parte: Se identificó que los flujos de entrada de las aguas de la Fundición provienen del río Blanco, y los flujos de salida son las purgas (recambio de agua) y la evaporación (pérdida de calor para refrigeración) en los procesos de las unidades operativas, y la evaporación del agua recuperada (enfriamiento de escoria). Además, con los antecedentes que se obtuvieron sobre la cuantificación de los flujos de agua, se encontró que el área que más consume agua es LIGA y que gran parte de las aguas de la Fundición son recicladas para ser utilizadas para el enfriamiento de escoria.

Del análisis y comparación de ambas situaciones, se puede notar que se necesita tener más control sobre el manejo de agua para optimizar su uso lo mejor posible, controlando su uso en cada unidad operativa ya que el uso desmedido en una unidad operativa va a condicionar la disponibilidad de agua en las otras unidades, como la distribución de las aguas recuperadas de las distintas unidades, y su disponibilidad para el enfriamiento de escoria. Además de tener más control sobre la contaminación a la que está expuesta el agua, ya que esta puede afectar la productividad o reducir la vida útil de los equipos que entran en contacto con el agua.

En la Actividad N°2, como sólo es un análisis de la norma ISO 50001 para generar recomendaciones que la empresa debe considerar para certificarse por la norma, no presenta una situación inicial y final; sin embargo, con este análisis y recomendaciones generados se pudo

constatar que, a pesar que actualmente en la empresa existe una política ambiental donde en uno de sus puntos se refiere al manejo energético, aun así es insuficiente ya que no tiene una guía para basarse y lograr un manejo efectivo de la energía, de ahí la necesidad primero de establecer una política específica para el manejo energético; que serviría como guía. La definición de una política energética específica es tal vez el primer requisito que la empresa debe considerar para lograr certificarse, ya que la política energética es la guía para la elaboración del EnMs (Sistema de Manejo Energético) que es otro requisito importante a considerar, ya que el EnMs guiado por la política energética es el que dirige, entrega las bases para definir las actividades y los mecanismos de comunicación, retroalimentación, monitoreo, revisión energética, entre otros; que deben ser implementados para llevar a cabo un correcto y eficiente manejo energético.

La Actividad N°3 no posee una situación inicial y final, ya que sólo se recopilaron los primeros antecedentes necesarios para posteriormente medir la Huella de Carbono de la Fundición Caletones en el Área Nave en el año 2010; donde primero se analizó la metodología PAS 2050, conociendo sus ventajas y limitaciones, y posteriormente se recopiló la información de los insumos que se utilizan en el proceso productivo, los combustibles, y el consumo de electricidad en el Área Nave durante el año 2010. Estos antecedentes sólo sirven para dar una visión de la situación actual de la Fundición en el año 2010 (los insumos), y conocer una metodología que se puede adaptar fácilmente a la situación de la Fundición; y con todo esto tener una idea de lo que se debe analizar posteriormente, y qué otros antecedentes se deben seguir recopilando, y qué otros pasos se deben implementar para llevar a cabo la medición de la Huella de Carbono de la Fundición.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Durante la estadía en la Fundición Caletones se logró apreciar y conocer la dinámica de trabajo dentro de la Fundición y de la empresa, conociendo los procesos y etapas que existen y que se llevan a cabo. Se evidenció el continuo esfuerzo de la empresa, no solamente en buscar aumentar la productividad optimizando los recursos disponibles, sino para buscar constantemente mejorar sus procesos y sus dinámicas para hacerse más eficiente desde el punto de vista ambiental, lo que obedece a la necesidad constante de la empresa de aumentar la competitividad para adaptarse y desenvolverse en el complejo escenario que se encuentra la economía global de hoy.

De esa misma forma se evidenció la importancia de los recursos naturales disponibles en los procesos de la Fundición, haciendo énfasis en el recurso agua como factor crítico en prácticamente todos los procesos, y por lo tanto la importancia de su uso adecuado.

De los análisis realizados, se constató que el agua está expuesta a muchos contaminantes, los cuales sobrepasan la NCh 1333 de aguas para riego. Independiente del hecho que estas aguas que se utilizan en procesos productivos directamente o para refrigeración, y que están en contacto directo o no con algún contaminante del proceso. Debido a que igual se contaminan por los gases y polvo de la chimenea o de los procesos que se vierten en las piscinas o estanques que se encuentran al descubierto. En general, estas aguas no se podrían usar para riego, no solamente por los contaminantes presentes, sino por los valores que sobrepasan por mucho la norma con respecto a la conductividad y los sólidos disueltos causados por los mismos contaminantes.

Asimismo, se constató que la Fundición Caletones posee como flujos de entrada las aguas provenientes del río Blanco, las cuales se dividen en aguas industriales y aguas potables. Estas aguas abastecen las unidades operativas de LIGA, REMO, FUCO, PRECA, y POAN; además de la red de incendio, casinos, baños y comedores. Los flujos de salida son las aguas de las purgas, descartes de las unidades operativas, que son recuperadas y enviadas para el enfriamiento de escoria; y la evaporación de las aguas de las redes de incendio y en las torres de refrigeración de las unidades operativas, y de las aguas recuperadas que son utilizadas en el enfriamiento de escoria. Con respecto a la cantidad en los flujos, se determinó que el área que demanda más consumo de agua es LIGA, con un 54,3% del total, ya sea para la producción de H_2SO_4 , como para todos los procesos donde se utiliza agua. Finalmente se determinó que del agua total que no vuelve a los procesos en las unidades operativas, un 4,1% se pierde por evaporación y un 51,9% es recuperada y enviada para el enfriamiento de escoria.

En base al análisis de la ISO 50001 de manejo de sistemas energéticos se identificó que talvez el requisito más importante y el que más se rescata, es la existencia de una política energética, ya que esta establece los puntos que se deben considerar en el manejo energético de la empresa, y por lo tanto es la guía para la elaboración del EnMs. En la EnMs se establecen los alcances, los límites, la forma de actuar del plan energético, como se realizarán las revisiones de energía, los mecanismos de retroalimentación y comunicación entre otros. También hay que destacar que el EnMs debe ser constantemente retroalimentado para una continua mejora en el mismo, además de considerar efectivos mecanismo de comunicación en forma transversal en todos los estamentos de la empresa, para lograr un impacto global y no sectorial en la empresa.

La metodología PAS 2050 es unos de los muchos métodos para medir la Huella de Carbono de una empresa. En el área Nave de la Fundición a la que pertenecen las unidades operativas de FUCO y REMO, durante el año 2010 se identificó que se utilizaron como insumos el oxígeno, el aire, el nitrógeno provenientes del POAN; variados tipos de los combustibles, electricidad

(dividida en ocho centros de costos), e insumos de los procesos productivos (la cal, el carboncillo entre otros); que se utilizan para los CT, los CPS, los HLE, y para la producción de RAF y de ánodos.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda la realización de estudios que entreguen información del uso y la disponibilidad de los recursos naturales que se utilizan en la Fundición y en la División El Teniente. Como también la realización de un estudio en profundidad del sistema de gestión de las aguas de la Fundición, que logre identificar las fortalezas y debilidades del sistema, y en base al análisis de estos parámetros encontrar la forma de potenciar y aprovechar al máximo las oportunidades para disminuir la cantidad de agua que se utiliza en los procesos sin afectar la producción.

Se recomienda tener un mayor control de los contaminantes a los que están expuestas las aguas, esto se podría hacer hasta cierto punto no dejando las piscinas o los estanques al descubiertos y evitar así que se contaminen con los gases o polvos de la chimenea o de los procesos; realizar esto no solo llevaría a una mejora ambiental ya que muchas de las aguas que se utilizan no intervienen en procesos donde necesariamente se contaminen, sino que se puede evitar que la producción se vea afectada ya sea por el deterioro de los equipos en cada unidad operativa, como por el hecho de que el agua se puede infiltrar y contaminar los procesos.

Se recomienda tener un mayor control de la purgas o descartes que se generan, ideando mecanismos efectivos que midan con exactitud los flujos; que logren la disminución de las purgas; esto teniendo cuidado en no afectar la productividad desde el punto de vista de la falta de agua para el enfriamiento de escoria. Al igual que buscar la forma de aprovechar la evaporación

del agua en las torres de refrigeración y del enfriamiento de escoria, como aprovechar el vapor generado para la producción de energía si es rentable.

Se recomienda que la empresa establezca un equipo de trabajo para la creación de la política energética de la empresa, ya que esta es la guía y es la base para poder implementar los demás requisitos como el EnMs y posteriormente el plan de energía, por lo tanto es recomendable en primera instancia que se defina esta política donde se incluyan los alcances, los compromisos, y todos los aspectos necesarios para que se logre un efectivo manejo energético.

Se recomienda seguir recopilando antecedentes con más precisión y detalle para cubrir todos los aspectos que influyan en el cálculo de la Huella de Carbono, y de esa forma determinar la metodología que sea más adecuada para el cálculo en el Área Nave de la Fundición, para posteriormente en base a todos los antecedentes recopilados y la metodología elegida realizar el cálculo de la Huella de Carbono.

6 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Arias, D.** 2008. Optimización Del Consumo De Agua En Los Procesos Productivos De Fundición Caletones Codelco-Chile, División El Teniente. Tesis Ingeniero de Ejecución en Ambiente. Universidad de Santiago de Chile. Santiago. 106p.
- CODELCOEDUCA.** 2012. Procesos Productivos <<http://www.codelcoeduca.cl>>. Visitado el 17 de Enero 2012.
- Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO).** 2008. Buenas prácticas y uso eficiente de agua en la industria minera <<http://www.cochilco.cl>>. Visitado el 18 de Enero de 2012.
- Google Maps.** 2012. Mapa del área de Rancagua <maps.google.cl>. Visitado el 8 de Marzo de 2012
- HATCH Consultores.** 2010. Consultoría para la Realización de Evaluación Energética y Plan de Mejoramiento DET y Consultoría para la Realización de Evaluación Uso Eficiente del Agua y Plan de Mejoramiento DET.
- ICARITO.** 2012. Mina El Teniente <<http://www.icarito.cl>>. Visitado el 16 de Enero 2012.
- Instituto Nacional de Normalización (INN).** 1987. Norma Chile Oficial 1333.Of78 <<http://www.inn.cl>>. Visitado el 16 de Enero 2012.
- ISO 50001.** 2012. Win de energy Challenger with ISO 50001 <http://www.iso.org/iso/iso_50001_energy.pdf>. Visitado el 16 de Enero 2012.
- Rojas, A.** 2011. Reaprovechamiento de calores residuales de la planta de acido de la Fundición Caletones, División El Teniente, CODELCO CHILE. Tesis Ingeniero Civil Mecánico. Universidad Federico Santa María. Valparaíso, Chile. 149p.
- Tardón, P.** 2011. Modelación de Procesos de Fundición en Ambiente de Planificación. Tesis Ingeniero Civil Metalúrgico. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 175p.

7 ANEXOS

Anexo 1. NCh 1333, Análisis de Aguas para Riego.

Ba	ppm	4
Ni	ppm	0,2
Fe	ppm	5
SO ₄	ppm	250
Hg	ppm	0,001
Mg	ppm	---
As	ppm	0,1
V	ppm	0,1
Na	ppm	---
Mo	ppm	0,01
Se	ppm	0,02
Al	ppm	5
Be	ppm	0,1
Ca	ppm	---
Zn	ppm	2
Cu	ppm	0,2
Ag	ppm	0,2
Pb	ppm	5
Li	ppm	2,5
Cd	ppm	0,01
Co	ppm	0,05
B	ppm	0,75
K	ppm	---
Mn	ppm	0,2
Cr	ppm	0,1
CN-	ppm	0,2
Cl-	ppm	200
F-	ppm	1
NA%		35
pH		5,5-9

Clasificación	Conductividad Especifica, Umhos/Cm a 25°C	Sólidos Disueltos Totales, Mg/L a 105°C
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$c < 750$	$s < 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c < 1.500$	$500 < s < 1.000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos	$1500 < c < 3000$	$1.000 < s < 2.000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3.000 < c < 7.500$	$2.000 < s < 5.000$

Fuente: INN, 1987.

Anexo 2. Puntos de Muestreo para el análisis de composición química

Punto N°1. Estanque F-400.



Punto N°2, Piscina PRECA.



Punto N°3, Piscina RAF.



Punto N°4, Piscina ánodos.



Punto N°5, PLG 1.



Punto N°6, PLG 2.



Punto N°7, PTE 1.



Punto N°8, PTE 2.



Punto N°9, POAN.



Punto N°10, MAGA.



Anexo3. Análisis de las concentraciones de las variables que sobrepasan la NCh 1333 en todos los puntos muestreados.

Punto N°1 (Estanque F-400)

Variable	N° Muestras Tomadas	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
SO ₄	4	3.537,50	1.677,84	1.350,00	5.310,00
As	4	50,00	13,39	42,00	70,00
Mo	4	8,70	1,45	6,70	10,00
Cd	4	0,27	0,13	0,11	0,41
B	4	3,28	0,78	2,30	4,20
Mn	4	0,16	0,11	0,07	0,32
F-	4	3,96	3,62	0,23	8,80
Na	4	76,03	13,14	61,00	85,30

Punto N°2 (Piscina PRECA)

Variable	N° Muestras Tomadas	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
As	4	76,03	13,14	61,00	85,30
Mo	4	0,02	0,01	0,01	0,03
pH	4	7,53	1,52	5,70	9,40
Cu	4	0,24	0,43	0,01	0,89

Punto N°3 (Piscina RAF)

Variable	N° Muestras Tomadas	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
SO ₄	4	380,00	124,90	230,00	510,00
As	4	0,68	0,33	0,32	1,10
Mo	4	0,02	0,02	0,01	0,05
Mn	4	0,03	0,02	0,01	0,05
pH	4	8,90	0,74	8,40	10,00
Cu	4	0,04	0,03	0,01	0,08

Punto N°4 (Piscina ánodos)

Variable	N° Muestras Tomadas	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
As	4	0,35	0,05	0,27	0,39
Mo	4	0,02	0,01	0,01	0,04
pH	4	8,65	0,79	8,00	9,80

Punto N°5 (PLG 1)

Variable	N° Muestras Tomadas	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
SO ₄	4	1.025,00	202,73	750,00	1.230,00
As	4	2,02	2,00	0,34	4,50
Mo	4	0,06	0,06	0,01	0,14
Cd	4	0,02	0,01	0,01	0,03
B	4	0,44	0,57	0,10	1,30
Na	4	60,37	4,29	57,00	65,20

Punto N°6 (PLG 2)

Variable	N° Muestras Tomadas	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
SO ₄	4	1.432,50	631,58	540,00	2.020,00
As	4	21,08	11,21	6,30	33,00
Mo	4	0,29	0,16	0,06	0,40
Cd	4	0,10	0,04	0,05	0,15
B	4	0,43	0,15	0,20	0,52
Na	4	50,13	8,92	40,00	56,80

Punto N°7 (PTE 1)

Variable	N° Muestras Tomadas	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
SO ₄	4	8.580,00	8.249,86	1.920,00	19.000,00
As	4	582,50	889,21	20,00	1.910,00
Mo	4	38,25	19,38	20,00	55,00
Cd	4	1,88	2,27	0,12	5,20
B	4	14,25	1,71	12,00	16,00
Mn	4	0,17	0,06	0,10	0,24
F-	4	11,83	12,92	0,01	30,00
Na	4	36,00	48,25	7,00	91,70
Cl-	4	305,00	87,37	190,00	400,00
pH	4	8,13	1,04	6,80	9,30
Zn	4	7,51	15,00	0,01	30,00

Punto N°8 (PTE 2)

Variable	N° Muestras Tomadas	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
SO ₄	4	12.870,00	11.608,70	1.810,00	27.120,00
As	4	181,88	156,14	7,50	380,00
Mo	4	41,25	11,09	25,00	50,00
Cd	4	0,90	0,92	0,05	2,20
B	4	14,00	2,16	12,00	17,00
F-	4	19,01	14,50	1,03	35,00
Na	4	84,73	13,51	69,20	93,80
Cl-	4	320,00	143,12	210,00	525,00
pH	4	9,05	0,10	8,90	9,10

Punto N°9 (POAN)

Variable	N° Muestras Tomadas	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
SO ₄	4	327,50	82,21	220,00	420,00
As	4	2,00	1,72	0,39	4,40
Mo	4	0,16	0,05	0,11	0,21
Na	4	18,03	13,70	0,01	33,30

Punto N°10 (MAGA)

Variable	N° Muestras Tomadas	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
SO ₄	4	182,50	99,46	100,00	320,00
As	4	4,93	8,09	0,22	17,00
Mo	4	0,04	0,02	0,01	0,06
pH	4	9,53	1,98	7,90	12,40

Anexo 4. Comparación de las muestras tomadas con la NCh 1333.

Primer Muestreo	Variable que sobrepasa la Norma	Punto donde sobrepasa la Norma	Sobrepasa con
	SO₄		
		Estanque F-400	3.280 ppm
		Piscina de RAF	330 ppm
		PLG 1	1.230 ppm
		PLG 2	1.520 ppm
		PTE 1	11.400 ppm
		PTE 2	1.810 ppm
	As		
		Estanque F-400	45 ppm
		Piscina RAF	0,76 ppm
		Piscina ánodos	0,39 ppm
		PLG 1	2,8 ppm
		PLG 2	25 ppm
		PTE 1	220 ppm
		PTE 2	7,5 ppm
		POAN	0,39 ppm
		MAGA	0,22 ppm
	Mo		
		Estanque F-400	10 ppm
		Piscina PRECA	0,03 ppm.
		Piscina RAF	0,05 ppm
		Piscina ánodos	0,04 ppm
		PLG 1	0,14 ppm
		PLG 2	0,38 ppm
		PTE 1	55 ppm
		PTE 2	25 ppm
		POAN	0,11 ppm
		MAGA	0,03 ppm
	Cd		
		Estanque F-400	0,31 ppm
		PLG 1	0,2 ppm
		PLG 2	0,15 ppm
		PTE 1	1,3 ppm
		PTE 2	0,05 ppm

	B		
		Estanque F-400	4,2 ppm
		PLG 1	1,3 ppm
		PTE 1	16 ppm.
		PTE 2	12 ppm
	Mn		
		Estanque F-400	0,32 ppm
	Cl-		
		PTE 1	400 ppm
		PTE 2	210 ppm
	F-		
		PTE 2	1,03 ppm
	pH		
		Piscina PRECA	9,4
		Piscina RAF	10
		Piscina ánodos	9,8
		PTE 1	9,3
		MAGA	9,1
	Sólidos Disueltos		
	No se encuentra dentro de la Norma		
		PTE 1	23.800 umho/cm

Segundo Muestreo	Variable que sobrepasa la Norma	Punto donde sobrepasa la Norma	Sobrepasa con
	SO₄		
		Estanque F-400	4.210 ppm
		Piscina de RAF	510 ppm
		PLG 1	1.100 ppm
		PLG 2	2.020 ppm
		PTE 1	19.000 ppm
		PTE 2	17.350 ppm
		POAN	420 ppm
	As		
		Estanque F-400	43 ppm
		Piscina RAF	0,32 ppm
		Piscina ánodos	0,27 ppm
		PLG 1	4,5 ppm
		PLG 2	20 ppm
		PTE 1	180 ppm
		PTE 2	130 ppm
		POAN	1,3 ppm
		MAGA	0,39 ppm
	Mo		
		PLG 1	0,08 ppm
		PLG 2	0,3 ppm
		PTE 1	55 ppm
		PTE 2	50 ppm
		POAN	0,11 ppm
	Cd		
		Estanque F-400	0,23 ppm.
		PLG 1	0,03 ppm.
		PLG 2	0,1 ppm.
		PTE 1	0,9 ppm.
		PTE 2	0,74 ppm.
	B		
		Estanque F-400	3,3 ppm
		PTE 1	14 ppm.
		PTE 2	14 ppm

	Cl-		
		PTE 1	330 ppm
		PTE 2	310 ppm
	F-		
		Estanque F-400	8,8 ppm
		PLG 2	1,6 ppm
		PTE 1	30 ppm
		PTE 2	25 ppm
	Na (%)		
		Estanque F-400	81,8
		Piscina de RAF	36,6
		PLG 1	57
		PLG 2	56,8
		PTE 1	91,7
		PTE 2	91,2
	pH		
		PTE 2	9,1
	Conductividad		
	No se encuentra dentro de la Norma	Estanque F-400	7.750 umho/cm.
		PTE 1	28.700 umho/cm
		PTE 2	26.600 umho/cm
	Sólidos Disueltos		
	No se encuentra dentro de la Norma		
		PTE 1	29.980 umho/cm.
		PTE 2	27.240 umho/cm

Tercer Muestreo	Variable que sobrepasa la Norma	Punto donde sobrepasa la Norma	Sobrepasa con
	SO₄		
		Estanque F-400	5.310 ppm
		Piscina de RAF	450 ppm
		PLG 1	1.020 ppm
		PLG 2	540 ppm.
		PTE 1	1.920 ppm
		PTE 2	27.120 ppm
		POAN	330 ppm
		MAGA	320 ppm
	As		
		Estanque F-400	70 ppm
		Piscina PRECA	0,27 ppm
		Piscina RAF	1,1 ppm
		Piscina ánodos	0,36 ppm
		PLG 1	0,34 ppm
		PLG 2	6,3 ppm
		PTE 1	20ppm
		PTE 2	380 ppm
		POAN	1,9 ppm
		MAGA	0,78 ppm
	Mo		
		Estanque F-400	6,7 ppm.
		Piscina PRECA	0,03 ppm.
		Piscina RAF	0,02 ppm.
		Piscina ánodos	0,02 ppm.
		PLG 2	0,06 ppm
		PTE 1	23 ppm
		PTE 2	45 ppm
		POAN	0,18 ppm
		MAGA	0,05 ppm
	Cu		
		Piscina PRECA	0,89 ppm

	Cd		
		Estanque F-400	0,41 ppm
		PLG 2	0,05 ppm.
		PTE 1	0,12 ppm.
		PTE 2	5,5 ppm.
	B		
		Estanque F-400	3,3 ppm
		PTE 1	12 ppm.
		PTE 2	17 ppm
	Cl-		
		PTE 1	300 ppm
		PTE 2	525 ppm
	F-		
		Estanque F-400	4,2 ppm
		PLG 2	1,6 ppm
		PTE 1	6,3 ppm.
		PTE 2	35 ppm.
	Na (%)		
		Estanque F-400	85,3
		Piscina de RAF	35,3
		PLG 1	65,2
		PLG 2	40
		PTE 2	93,8
	pH		
		PTE 2	9,1
	Conductividad		
	No se encuentra dentro de la Norma		
		Estanque F-400	9.100 umho/cm
		PTE 2	37.000 umho/cm
	Sólidos Disueltos		
	No se encuentra dentro de la Norma		
		Estanque F-400	8.070 umho/cm
		PTE 2	41.950 umho/cm

Cuarto Muestreo	Variable que sobrepasa la Norma	Punto donde sobrepasa la Norma	Sobrepasa con
	SO₄		
		Estanque F-400	1.350 ppm
		PLG 1	750 ppm
		PLG 2	1.650 ppm
		PTE 1	2.000 ppm.
		PTE 2	5.200 ppm
		POAN	340 ppm
	As		
		Estanque F-400	42 ppm
		Piscina PRECA	0,2 ppm
		Piscina RAF	0,55 ppm.
		Piscina ánodos	0,37 ppm.
		PLG 1	0,45 ppm
		PLG 2	33 ppm
		PTE 1	1.910 ppm.
		PTE 2	210 ppm.
		POAN	4,4 ppm.
		MAGA	2,1 ppm.
	Mo		
		Estanque F-400	8,6 ppm
		Piscina PRECA	0,2 ppm.
		PLG 2	0,4 ppm
		PTE 1	20 ppm.
		PTE 2	45 ppm.
		POAN	0,21 ppm.
		MAGA	0,06 ppm.
	Zn		
		PTE 1	30 ppm
	Cd		
		Estanque F-400	0,11 ppm
		PLG 2	0,09 ppm
		PTE 1	5,2 ppm.
		PTE 2	0,6 ppm
		POAN	0,02 ppm

	B		
		Estanque F-400	2,3 ppm
		PTE 1	15 ppm
		PTE 2	13 ppm
	Mn		
		PTE 1	0,24 ppm
	Cl-		
		PTE 2	235 ppm
	F-		
		Estanque F-400	2,6 ppm
		PLG 2	3,6 ppm
		PTE 1	11 ppm.
		PTE 2	15 ppm
	pH		
		PLG 2	9,2
		PTE 2	9,1
		MAGA	12,4
	Conductividad		
	No se encuentra dentro de la Norma		
		PTE 2	9.240 umho/cm
		MAGA	7.950 umho/cm
	Sólidos Disueltos		
	No se encuentra dentro de la Norma		
		PTE 2	8.750 umho/cm