



**Facultad de Ciencias**  
*Instituto de Ciencias Biológicas y  
Químicas*  
*Carrera de Ingeniería Ambiental*

## **DESARROLLO DE INDICADORES AMBIENTALES**

Gerencia de Plantas, CODELCO Chile División El Teniente

Tesis de título presentado por

**Mario Eduardo Arrué Canales**

Como requisito para optar al título de

**Ingeniero Ambiental**

Profesor Guía

Dr. Hernán Gaete Olivares

Universidad de Valparaíso

*Valparaíso, Enero 2005*

*“A mis padres por el amor,  
la paciencia, comprensión y  
apoyo incondicional todos  
estos años”*

## TABLA DE CONTENIDOS

Tema	Pag
Agradecimientos	VII
Resumen	VIII
Abstract	IX
<b>1. Introducción</b>	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problema	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Metodología	3
<b>2. Antecedentes generales</b>	
2.1 La Corporación Nacional del Cobre	7
2.1.1 Antecedentes generales División El Teniente	7
2.1.2 Reseña histórica	8
2.1.3 Ubicación y acceso	13
2.2 El proceso de concentrado de cobre	14
2.2.1 Concentrado de cobre	14
2.2.2 Fases auxiliares y sub productos	36
2.3 Sistema de gestión ambiental	44
2.3.1 Requisitos generales	44
2.3.2 Política ambiental	45
2.3.3 Planificación	45
2.3.4 Implementación y operación	48
2.3.5 Verificación y acción correctiva	52
2.3.6 Revisión de la gerencia	54
2.4 Evaluación de desempeño ambiental	55
2.4.1 Generalidades	55
2.4.2 Beneficios de la EDA	56
2.4.3 El proceso de la EDA	58
2.4.4 Indicadores ambientales	63
<b>3. Resultados y discusión</b>	
3.1 Análisis Entradas - Salidas	79
3.2 Evaluación de aspectos ambientales	84
3.3 Aspectos ambientales significativos	84
3.3.1 Generación y descarga de RILes	84
3.3.2 Generación y descarga de RISEs	89
3.3.3 Consumo recurso hídrico	93
3.3.4 Consumo de energía eléctrica	94
3.3.5 Consumo de combustibles	96
3.3.6 Emisión material particulado	97

3.4 Selección de indicadores ambientales	99
3.4.1 Consumo recurso hídrico	99
3.4.2 Consumo de energía eléctrica	100
3.4.3 Consumo de combustibles	101
3.4.4 Generación y descarga de RILes	102
3.4.5 Generación y descarga de RIses	105
3.4.6 Emisión material particulado	106
3.4.7 Todos los aspectos	107
3.5 Resumen de indicadores ambientales seleccionados	109
3.6 Limitaciones de los indicadores ambientales seleccionados	112
<b>4. Conclusiones</b>	<b>113</b>
<b>5. Referencias bibliográficas</b>	<b>114</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pag
2.1 Ubicación tramos Carretera El Cobre	13
2.2 Proceso chancado	16
2.3 Proceso molienda convencional	18
2.4 Proceso molienda SAG	22
2.5 Proceso flotación Sewell, Colón SAG y colectiva	27
2.6 Proceso filtros y secado	31
2.7 Proceso tratamiento de relaves	34
2.8 Proceso disposición de relaves	36
2.9 Proceso reactivos y cal	38
2.10 Proceso polvos fundición	40
2.11 Proceso flotación molibdeno	43
2.12 Serie ISO 14000	55
2.13 Metodología implantación EDA	58
2.14 Procesamiento de la información	61
2.15 Interrelaciones medio ambiente – gestión de una organización	65
2.16 Clasificación indicadores ambientales	75
3.1 $\text{SO}_4^-$ v/s Caudal registro 1990 – 2003, promedio mensual	86
3.2 Mo v/s Caudal registro 1990 – 2003, promedio mensual	87
3.3 Flujo típico de agua en proceso concentración de cobre	93
3.4 Tendencia consumo de agua 2003 DET	94
3.5 Distribución consumo de energía por área de operación	95
3.6 Tendencia consumo energía eléctrica 2003	95
3.7 Consumo de combustibles por área de operación	96
3.8 Concentración promedio material particulado estación Sewell	98
3.9 Distribución porcentual indicadores ambientales	110

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pag
1.1 Criterios para la evaluación de aspectos ambientales	5
2.1 Equipos planta SAG II	21
2.2 Detalle reactivos, planta reactivos y cal	38
3.1 Entradas – Salidas proceso concentrado de cobre	80.81
3.2 Entradas – Salidas etapas auxiliares y subproductos	83
3.3 Matriz de evaluación de aspectos ambientales	84
3.4 Registro histórico 1990 – 2003 efluente Carén para $\text{SO}_4^-$ , Mo y ph	86
3.5 Registro histórico 1990 – 2003 efluente Carén para Na, K, Ca, y Cond	88
3.6 Clasificación RISEs	90
3.7 Catastro RISEs División El Teniente	91.92
3.8 Consumo de energía eléctrica por área de operación	94
3.9 Consumo de energía eléctrica por producto comercial	95
3.10 Consumo de combustibles período 90 – 98	97
3.11 Principales fuentes material particulado	97
3.12 Clasificación indicadores seleccionados	111
3.13 Resumen indicadores ambientales seleccionados	109

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer término, quiero agradecer Cecilia Arrué y Patricio Chacana, por la oportunidad y confianza depositada en la presente Tesis, por recibirme en su casa durante un largo período y por su inagotable ayuda e interés, fruto de los cuales se dieron importantes avances y mejoras en el desarrollo de esta investigación.

También, quisiera agradecer a la Superintendencia de Ingeniería de Procesos, Gerencia de Plantas, CODELCO Chile División El Teniente, en la persona de Don Carlos Henríquez U. por permitirme hacer este estudio de título en sus dependencias.

En particular, quiero mencionar el valiosísimo apoyo de Don Eduardo Urrutia A. quien siempre estuvo con la disposición y tiempo para facilitar mi trabajo y ayudarme en los inconvenientes que se suscitaron.

Por el amor, la paciencia, apoyo y comprensión quisiera agradecer especialmente a Jocelyn Osorio L. Además agradezco a toda mi familia, amigos, profesores y a todo aquel que, de alguna manera participó en el desarrollo de este trabajo.

## RESUMEN

A medida que crece el compromiso empresarial respecto al medio ambiente, se hace más necesario contar con instrumentos de medida, análisis y comunicación más precisos y objetivos, muy especialmente, en el momento que la gestión ambiental de una empresa aparece como un componente esencial a la hora de añadir valor a la compañía.

Los Indicadores Ambientales son elementos de información que permiten una evaluación continuada y objetiva del desempeño ambiental, herramienta imprescindible para el estudio sistematizado del estado, condiciones cambiantes y tendencias de las variables ambientales, evaluación de los resultados de la gestión y política ambiental.

El alcance de los Indicadores Ambientales, está desde luego circunscrito a la representación de la realidad de una manera ordenada aun cuando el sesgo principal sea observar las tendencias de un determinado fenómeno.

Para ello, se hace necesario la implantación de un sistema de Indicadores Ambientales que permita evaluar el desempeño ambiental en términos objetivos, confiables, relevantes, medibles y comparables.

El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo y selección de estos Indicadores Ambientales, mediante los principios de ISO 14.031, *Environmental Management, Environmental Performance Evaluation Guidelines 2002*, Para la Gerencia de Plantas, División El Teniente, Codelco – Chile. Proceso que constituirá la primera etapa de una Evaluación de Desempeño Ambiental.

Mediante una matriz de evaluación de impactos ambientales se identificaron los aspectos ambientales significativos del proceso, de ahí desarrollaron y definieron un total de 33 indicadores ambientales, los cuales incluyen indicadores de desempeño operacionales, de calidad ambiental y de desempeño de gestión.

## ABSTRACT

As the enterprise commitment respect to the environment grows, it becomes more necessary to have measurement, analysis and communication instruments, more precise and objective, very specially, at the moment that the environmental management of a company appears like an essential component at the time of adding value to the company.

The Environmental Indicators are elements of information that allow an evaluation continuous and objective of the environmental performance, essential tool for the systematized study of the state, changing conditions and tendencies of the environmental variables, evaluation of the results of the management and environmental policy.

The reach of the Environmental Indicators, of course is circumscribed to the representation of the reality of a ordered way even though the main slant is to observe the tendencies of a certain phenomenon.

For this, it becomes necessary the installation of a system of Environmental Indicators that allows to evaluate the environmental performance in objective, reliable, excellent, measurable and comparable terms.

The primary target of this study is the development and selection of these Environmental Indicators, by guidelines of the principles of ISO 14,031, *Environmental Management, Environmental Performance Evaluation Guidelines 2002*, For the *Gerencia de Plantas, Division El Teniente, Codelco - Chile*. Process that will constitute the first stage of an Environmental Performance Evaluation (EPE).

By means a environmental impacts matrix evaluation were identified the significant environmental aspects of the process, then were developed and defined a total of 33 environmental indicators, which include operational performance indicators, environmental condition indicators and management performance indicators.

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 ANTECEDENTES**

Durante los últimos años el control medioambiental está adquiriendo cada vez mayor importancia como instrumento para una gestión fructífera y asegurar la existencia de una empresa a largo plazo. El control medioambiental consiste en planificar, controlar y supervisar una empresa teniendo en cuenta los factores medio ambientales. No sólo se determinan los potenciales de ahorro, sino también las oportunidades y perspectivas económicas. La herramienta de gestión más importante de control medioambiental son los indicadores, como los que se han usado durante mucho tiempo en la contabilidad de las empresas, estos indicadores se emplean como herramienta de control por parte de la dirección para facilitar información relevante, resumida en forma de declaraciones concisas e ilustrativas, en la toma de decisiones.

El concepto del desarrollo de indicadores se traslada ahora al control medio ambiental a fin de presentar el desempeño ambiental de la empresa de manera cuantificable y exhaustiva. Los indicadores ambientales son, en consecuencia, un importante instrumento para reducir continuamente la contaminación, así como la comunicación con grupos externos interesados en el tema.

Los indicadores ambientales resumen extensos datos ambientales en una cantidad limitada de información clave significativa. Por lo tanto aseguran una rápida evaluación de las principales mejoras y de los puntos débiles en la protección ambiental de la empresa para aquellos que han de tomar decisiones. Además permiten determinar objetivos ambientales cuantificables que puedan utilizarse para medir el éxito o fracaso de la gestión.

## **1.2 PROBLEMA**

En este aspecto el proceso de concentrado de cobre de la Gerencia de Plantas CODELCO Chile, División El Teniente, actualmente carece de un sistema de evaluación de desempeño ambiental integrado y consistente. Se presenta así la necesidad de desarrollar un conjunto de indicadores ambientales para las áreas más sensibles de las Superintendencias, a fin de fijar pautas de gestión que permitan llevar un control del sistema de gestión ambiental y, de esta forma sustentar el proceso de una evaluación de desempeño ambiental.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se han planteado los siguientes objetivos.

## **1.3 OBJETIVOS**

El objetivo general de esta Tesis es la definición de indicadores ambientales en los procesos correspondientes al concentrado de cobre, mediante los principios de ISO 14.031, *Environmental Management, Environmental Performance Evaluation Guidelines 2002*. E iniciar, de esta forma, el procesos de una evaluación de desempeño ambiental que ayudará en la mejora de prácticas operacionales y minimización de los aspectos ambientales.

Los objetivos específicos de esta investigación incluyen:

- Estudiar los aspectos ambientales significativos generados en el proceso productivo.
- Definir un conjunto de indicadores ambientales relacionados con estos aspectos.

## 1.4 METODOLOGÍA

En el siguiente trabajo se desarrolló una propuesta de indicadores ambientales bajo el formato de ISO 14.031, *Environmental Performance Evaluation 2002*, para la Gerencia de Plantas, División El Teniente, Codelco – Chile.

El desarrollo del trabajo se realizó de acuerdo a los dos objetivos específicos propuestos.

La identificación de los aspectos ambientales se realizó mediante un análisis de Entradas Salidas, que corresponde a un detalle de materiales y flujos energéticos requeridos y resultantes de un proceso específico. El análisis se realizó en forma separada para las fases más comunes del proceso de concentrado de cobre: Chancado, molienda semiautógena, chancado de pebbles, molienda y remolienda convencional, flotación espesamiento, secado, filtrado y tratamiento y disposición de relaves. Además se analizó, de la misma manera, las fases auxiliares y de subproductos del proceso: Planta de reactivos y cal, flotación de molibdenita (producción molibdenita) y proceso hidrometalúrgico (producción electrolito de cobre).

La evaluación de los aspectos ambientales identificados a partir del análisis Entradas – Salidas, se realizó mediante un criterio de significancia [15], el cual considera variables tales como: frecuencia, intensidad, extensión, reversibilidad, percepción pública y marco regulatorio. Las cuales, luego de la asignación de puntaje (ver tabla 1.1) definen los parámetros: Magnitud del riesgo ambiental y la consecuencia, tratados a continuación.

- 1) *Magnitud de Riesgo Ambiental*: Valor obtenido de la evaluación de un aspecto ambiental, corresponde al producto de la Consecuencia (C) y la Frecuencia(F).

$$\text{Magnitud}(M) = F * C$$

- II) *Consecuencia*: Valor obtenido de la sumatoria de los valores asignados a la Intensidad (I), Extensión (E), Reversibilidad (R), Percepción pública (P) y Marco regulatorio (L).

$$\text{Consecuencia}(C) = I + E + R + P + L$$

Se consideran aspectos ambientales significativos aquellos que cumplen con cualquiera de las siguientes condiciones: [15]

- I) Si el resultado de la Magnitud es mayor o igual a 30
- II) Si la consecuencia es mayor o igual a 13

**TABLA 1.1**

**Criterios para la evaluación de aspectos ambientales**

<b>CRITERIO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>
<b>Frecuencia (F)</b>	Continuo, impactos del aspecto ocurren en forma permanente	4
	Frecuente, impactos del aspecto ocurren al menos una vez al mes	3
	Poco frecuente, impactos del aspecto ocurren más de una vez por año y menos de una vez al mes	2
	Improbable, impacto del aspecto de difícil ocurrencia	1
<b>Intensidad (I)</b>	Baja, alteraciones pequeñas y mantención de las condiciones originales de la componente ambiental	1
	Media, alteraciones evidentes en las condiciones de la componente ambiental bajo rango aceptable	2
	Alta, alteración significativa en las condiciones de la componente ambiental	3
<b>Extensión (E)</b>	Puntual, considera un rango de 100m en torno al punto en que se produce el aspecto	1
	Local, extensión del impacto superior a 100m pero dentro del territorio administrativo de la organización	2
	Extensa, su efecto supera los límites del territorio administrativo de la organización	3
<b>Reversibilidad (R)</b>	Reversible, aquel en que la alteración puede ser asimilada por el entorno, debido al funcionamiento de los procesos y mecanismos de depuración del medio	1
	Recuperable, Aquel en que la alteración puede ser revertida mediante acciones correctivas	2
	Irrecuperable, impacto que no se revierte en forma natural, ni por la Implementación de acciones correctivas	3
<b>Percepción pública (P)</b>	No existe registro escrito en medios de comunicación públicos ni preocupación por la autoridad fiscalizadora	1
	Existen publicaciones esporádicas en medios de comunicación públicos locales y/o la autoridad ha manifestado preocupación	2
	Existen publicaciones en medios de comunicación nacionalistas y/o movilizaciones ciudadanas asociadas	3
<b>Marco regulatorio (L)</b>	No existen regulaciones	1
	Existen regulaciones y se tiene evidencia de su cumplimiento	3
	Existen regulaciones, no se cumplen o no se tiene certeza de su cumplimiento	5

*Fuente: SGC-GRL-P-004, Evaluación Aspectos Ambientales*

Una vez desarrollado el análisis de Entradas – Salidas, como también la identificación de los aspectos ambientales significativos, el siguiente paso fue obtener una visión característica de cada uno de ellos, esto es, etapas que lo generan y sus consecuencias. Luego se seleccionó los indicadores de desempeño operacionales, de calidad ambiental y de desempeño de gestión.

Los indicadores ambientales se seleccionaron de manera que representaran de manera cuantitativa o cualitativamente y de la forma más entendible la información. Asimismo se clasificaron los indicadores de acuerdo a su tipología y características.

## **2. ANTECEDENTES GENERALES**

### **2.1 LA CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE**

La corporación CODELCO Chile es el primer productor de cobre en el mundo y una de las empresas más rentables de la industria. Su principal producto comercial es el cátodo de cobre grado A. La empresa es de propiedad del Estado de Chile y su negocio principal es la exportación, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, su procesamiento – convertirlo en cobre refinado – hasta su comercialización.

La Corporación ejecuta sus operaciones a través de 4 Divisiones Mineras: Codelco Norte, El Salvador, Andina y El Teniente; y una División Metal – Mecánica, Talleres de Rancagua, participando de la propiedad de otras importantes operaciones mineras como El Abra y Agua de la Falda.

La visión de futuro de la empresa, se encamina a consolidar su posición de liderazgo como el mayor productor del mundo, para mantenerse como una de las compañías de cobre más competitivas y de menores costos de la industria e incrementar aún más su contribución al Estado Chileno [1].

#### **2.1.1 Antecedentes generales División el Teniente**

Es la mina de cobre subterránea más grande del mundo. Se ubica a 2.200 metros, sobre el nivel del mar, a 80 Kilómetros al sudeste de Santiago y a 44 Kilómetros de Rancagua. Produce principalmente ánodos de cobre y cobre refinado a fuego (raf) y en una menor proporción cobre blister y cátodos de alta pureza, obtenidos vía extracción por solventes y electroobtención, y como subproducto se obtiene concentrado de molibdeno [2].

El Teniente se caracteriza por el objetivo de estabilizar a la División en niveles de tratamiento cercanos a las 126.000 toneladas de mineral por día y de aprovechar plenamente las capacidades de recuperación de cobre de las instalaciones de extracción por solventes y electroobtención. Para mantener los niveles de tratamiento descritos, se contempla además la instalación de 2 plantas de ácido sulfúrico en la Fundación Caletones. Las alternativas de desarrollo se caracterizan por un aumento sustancial de ritmo de explotación, incorporando nuevos sectores de la mina en los planes mineros, con un desarrollo armónico de las distintas fases de producción [1].

La mina de cobre El Teniente es un yacimiento de cobre porfídico, o sea, corresponde al tipo de macizos mineralizados de gran extensión en las tres dimensiones.

La mineralización se distribuye en vetillas y microvetillas, en muchos casos reticulares y mayoritariamente como disseminación en la roca huésped, que es principalmente andesita.

El mineral que actualmente se extrae, está compuesto por un 40% de mena primaria, de gran dureza, la cual corresponde a sulfuros de cobre, fierro, arsénico, molibdeno, antimonio con plomo y cinc en menor proporción. Las especies mineralógicas más comunes en esta mena son: calcopirita, bornita, tenantina, molibdenita, pirita. Los minerales subordinados son magnetita, galena, blenda y rejalgar.

La mena secundaria, que constituye el 60% de mineral actualmente en explotación, está formada principalmente por calcosina y covelina, calcopirita, molibdenita y pirita. Los minerales de cobre soluble son escasos y corresponden a cuprita, azurita, malaquita y cobre nativo.

Las proporciones antes mencionadas varían en el tiempo, de acuerdo con el progreso de la explotación del yacimiento. De esta manera, la proporción de mena secundaria disminuye en función del tiempo y la profundidad de la explotación determinando cambios importantes en la ley de cobre y dureza del mineral [2].

### **2.1.2 Reseña histórica**

En sus inicios el yacimiento El Teniente al igual que todas las minas existentes en el país fue explotado rudimentariamente. En los tiempos prehispánicos el mineral era conocido por los habitantes del lugar, quienes extrajeron el Cobre para la fabricación de utensilios domésticos, decorativos y de caza. Posteriormente los españoles prosiguieron su "explotación" principalmente de Cobre nativo, el que era transformado fuera de la Gobernación para la confección de armas. En el siglo XVIII el yacimiento fue explotado mediante una extracción inestable y de volúmenes de producción mínimos. Alrededor del año 1760, arrieros bajaban el mineral en bruto, en mulas, para ser trabajado en el valle. Durante el siglo XIX el yacimiento formaba parte de la hacienda de la Compañía, durante los años 1823 y 1824 se realizó una extracción de mineral más intensiva, con un trabajo de mucho esfuerzo y rudimentario de sus medios de transporte. El mineral era transportado desde la mina, de difícil acceso, en mulas, hasta la costa, donde se embarcaba y exportaba a Inglaterra para su fundición. Durante los años posteriores la

explotación fue esporádica, dado los continuos problemas asociados a la ubicación y las condiciones climáticas de la zona.

La explotación comercial de las minas de Cobre hasta el siglo XIX se caracterizaba por la existencia de mineral de alta ley (sobre 25 % de ley de Cobre) el cuál era fundido directamente en hornos a leña. Existían numerosas fundiciones de Cobre localizadas en las zonas de Coquimbo, La Serena, Freirina, Huasco y Chañaral donde se fundían los minerales provenientes de las Minas de Tamaya, Panulcillo, Higuera, otras. De esta forma por la existencia de estas minas, Chile fue el principal productor de Cobre a mediados y finales de siglo.

Dado que en ese entonces, la explotación comercial estaba asociada a la presencia de minerales de alta ley, más la carencia de recursos económicos y las condiciones climáticas de la zona impidieron un rendimiento permanente y significativo que sustentará una explotación comercial.

Para la explotación comercial del yacimiento El Teniente era necesario la incorporación de recursos financieros y contar con la tecnología para explotar minerales de baja ley. De esta forma Marco Chiapponi Ingeniero Italiano se pone en contacto con William Braden, Ingeniero Norteamericano para convencerlo de las ventajas de iniciar una explotación comercial en el mineral. Durante el año 1904 William Braden realiza un viaje de reconocimiento al yacimiento y visita a los dueños de la Mina (familia Correa). Durante su visita de reconocimiento realiza exploraciones y recolección de muestras de mineral.

Como resultado de la visita de Braden se sucedieron posteriormente una serie de acontecimientos que llevaron a la formación de una sociedad para explotar comercialmente y en gran escala el yacimiento.

Los principales acontecimientos que se sucedieron a partir de la visita de William Braden fueron los siguientes:

- 1904 Visita de William Braden al yacimiento.
- Adquisición de la Mina a la familia Correa.
- Formación de "The Rancagua Mines" y "The Braden Cooper Co".
- 1904-1905 Construcción Camino desde La Compañía y hasta la Mina.
- 1905 Comienzo del trabajo subterráneo en la Mina.
- 1905 Construcción del establecimiento de beneficio de minerales (El Molino).
- 1906 Inicio de las operaciones de la planta.

El primer molino o concentrador es el punto de partida de la historia industrial y tecnológica que se desarrolló desde 1905. Fue emplazado en lo que hoy conocemos como Sewell, donde se aprovecharon las condiciones físicas del terreno montañoso. [3]

En Junio de 1906 comienza a operar la primera planta concentradora con una capacidad de procesamiento de 250 toneladas cortas por mineral al día.

El equipamiento básico consistía en chancadores giratorios Mc Cully y de rodillos, molinos Hardinge de Pebbles, trapiches (Chilean Mills), máquinas concentradoras (Jigs, Tables and Vanners) y mesas concentradoras. Mediante concentración gravimétrica se obtenían recuperaciones de cobre entre 45 a 55%. El equipamiento original consideró la instalación de una central eléctrica alimentada por las aguas del río Teniente y un andarivel entre la mina y la planta para transportar el mineral. En 1912 se realiza la primera ampliación de las instalaciones industriales, para ello se dio comienzo a la construcción de un nuevo concentrador a un costado del antiguo, dotado de equipos similares a los de la planta original, esto es con chancadores giratorios Mc Cully, seguido de 3 etapas de rodillos, molinos Hardinge de guijarros, trapiches, jigs y mesas concentradoras.

El segundo gran molino (planta concentradora) tuvo una capacidad de 3.000 toneladas cortas por día, y comenzó a operar el 16 de noviembre de 1912. La planta continuó utilizando el proceso de concentración gravitacional, pero debido a las variadas cantidades de óxidos de Cobre y las bajas leyes en el mineral la recuperación se redujo a un 51%. Para solucionar el problema se efectuaron ensayos metalúrgicos de concentración por flotación con 27 toneladas de mineral, la recuperación de cobre obtenida fue de 81%.

A comienzos de 1912 se introdujo una unidad experimental de flotación por espuma, fabricada en madera y de procedencia inglesa de la Minerals Separation Company, que fue instalada en el primer molino. Sus buenos resultados permitieron incorporar en 1912 y 1913, un total de 6 unidades para 600 toneladas cortas por día. La innovación tecnológica implicó realizar una mejor molienda de mineral, razón para eliminar el uso de los trapiches en el proceso de molienda. En su remplazo se utilizaron molinos Hardinge.

La operación del molino continuó hasta 1914, donde por problemas operacionales debió paralizar. El problema se originó paulatinamente al disminuir el mineral proveniente de la mina fortuna (primer sector en explotación), de mayor ley, ideal para la

concentración gravitacional y aumentar el mineral de Teniente el que presentaba sulfuros de Cobre finamente diseminados.

En 1915 en los molinos Hardinge se reemplazaron los guijarros por bolas de acero y hierro, y se comienzan a usar como molinos secundarios y terciarios, se instalan los 4 primeros molinos Marcy primarios.

El relave producido por la antigua planta concentradora era conducido por una canal de madera hasta los tranque de relaves de Marga y Arenas. Estos tranques se mantuvieron en operación hasta el año 1920.

Junto a la instalación del primer molino se comenzó a construir una fundición, en un principio estaba compuesta por dos altos hornos circulares, seis pequeños tostadores cónicos, un soplador, un fuelle de fragua y dos cortas chimeneas de fierro. Durante los primeros años la fundición se alimentaba con los concentrados gravitacionales del primer molino, ya que no existía la flotación, se transportaba en carretillas de mano, se pesaba y se le agregaba aserrín. Se vaciaba en los buzones de los hornos tostadores, agregándose en la parte superior viruta de madera. Los hornos se encendían y se soplaba aire por la parrilla inferior mediante un soplador rescatado de una antigua fragua. Terminada esta parte del proceso, se levantaba el cono del horno y se sacaba el producto resultante: una especie de bola bastante dura que luego era necesario partir a combo. Los trozos se cargaban en los hornos de chaqueta mezclados con caliza y carbón coke, para obtener la temperatura adecuada. El Cobre líquido caía a crisoles móviles. Una vez frío se partía nuevamente a combo, se ensacaba y transportaba a Graneros en carretas. El viaje ida y vuelta demoraba siete días.

La fundición existente presentaba serios problemas de operación, en 1909 se dio inicio a la construcción de una nueva fundición al lado de la original. Esta fundición contaba con dos hornos más grandes, hornos nodulizadores y el primer convertidor Pierce Smith.

La fundición de Sewell fue continuamente perfeccionada, pero acumuladas varias expansiones en un mismo lugar, el emplazamiento de la fundición se hizo estrecho. Durante una década se pudieron conciliar las metas productivas con el intenso aprovechamiento del terreno en mismo campamento, molino y fundición juntos.

El aumento creciente de la producción hizo necesario proyectar una tercera fundición, en un lugar donde existiera el espacio suficiente para futuras transformaciones. Se proyectó y construyó una moderna fundición a 8 kilómetros de Sewell, en el lugar denominado Caletones. La fundición de Sewell continuó en operaciones hasta 1922.

Una vez establecido el proceso de concentración por flotación en Sewell, se instaló una fábrica de ácido sulfúrico. La producción de ácido era utilizada en el proceso a una razón de 3,2 Kg de ácido por tonelada, lo que implicaba un consumo de 12,8 toneladas de ácido para tratar 4.000 toneladas diarias de mineral.

Al principio la planta de ácido era una sola torre en la que se realizaban todas las operaciones de absorción y oxidación. Los hornos Wedge producían gas anhídrido sulfuroso, quemando concentrado con alto contenido de azufre. Con el tiempo, la planta se hizo insuficiente y debió ser ampliada.

En las sucesivas ampliaciones, se siguieron incorporando molinos Marcy hasta completar 24 primarios y 28 secundarios en 1955. De igual manera, los molinos Hardinge siguieron aumentando hasta completar 22 en la etapa de molienda secundaria [5].

En Abril de 1967 el Estado de Chile adquiere el 51% de las acciones y se constituye la "Sociedad Minera El Teniente", iniciándose un plan de expansión para aumentar la capacidad instalada de producción, de aproximadamente 163.000 TM anuales a alrededor de 254.000 TM anuales [2].

Así en julio de 1970, comienza a operar el nuevo concentrador Colón, con una capacidad de procesamiento de 28.000 toneladas cortas por día. A consecuencia de esto se paraliza, en el concentrador Sewell la planta de retratamiento y molibdenita, quedando ubicada en Colón [2].

En su puesta en marcha, este concentrador contaba en su planta de chancado con dos chancadores Symons Standard de 7` para chancado secundario y 4 Symons de 7` de cabeza corta en la etapa terciaria.

Su planta de molienda y flotación estaba formada por 7 secciones y contaba con un sistema de control automático de tipo analógico. Cada una de ellas estaba conformada por un molino Hardinge de 14` de diámetro por 24` de largo, una batería de hidrociclones y 4 bancos de 12 celdas cada uno, Wemco.

La planta de retratamiento se inició con celdas Denver 30, 21 y 18 además de algunas Wemco similares a las de las etapas anteriores.

En Julio del año 1971 se aprobó la nacionalización de la Gran Minería, pasando así El Teniente a manos del Estado, siendo administrada por una empresa privada.

En Enero de 1976 se crea la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO – Chile) y El Teniente pasa a formar parte de esta corporación.

### 2.1.3 Ubicación y acceso

La División El Teniente, perteneciente a la Corporación Nacional del Cobre, Codelco Chile, con más de 1500 km. de túneles construidos, es la mina subterránea de cobre más grande del mundo. Está ubicada en la cordillera de Los Andes, VI región, provincia de Cachapoal, aproximadamente a 40 km. en línea recta al noreste de la ciudad de Rancagua, y a 75km al suroeste de Santiago. Sus coordenadas geográficas son: 70° 21' de longitud Oeste y 34° 14' de latitud Sur. El acceso a las instalaciones es a través de la carretera Presidente Eduardo Frei Montalva (Carretera El Cobre). Esta se inicia en la ciudad de Rancagua en la intersección de las avenidas Ramón Freire y Millán. Desde este punto comienza el tramo 1 que va desde Rancagua y termina en Maitenes, esta ruta comprende 22 Km de camino asfaltado. En Maitenes se encuentra el control acceso al área alta de la División El Teniente y es donde se inicia el tramo 2. Esta ruta finaliza en Alto Colón y comprende 20 kms de camino asfaltado. En Alto Colón se accede al tramo 5 que finaliza en Sewell. Esta ruta comprende 8 kms de camino asfaltado y 2 kms en tierra.



FIG 2.1

## **FIGURA 2.1, Ubicación de tramos Carretera el Cobre**

### **2.2 EL PROCESO DE CONCENTRADO DE COBRE**

Como se ha descrito en la sección 1.3 el objetivo de esta investigación es el desarrollo y selección de indicadores ambientales, particularmente en el proceso de concentrado de cobre llevado a cabo en la gerencia de plantas de la división El Teniente de Codelco Chile. Así la sección 2.2.1 y 2.2.2 provee una descripción general del proceso de concentrado, sus fases auxiliares y subproductos respectivamente.

#### **2.2.1 Concentrado de cobre**

La siguiente descripción comprende: Plantas de chancado, molienda convencional, molienda semiautógena SAG, filtrado y secado, flotación de cobre, y tratamiento y disposición de relaves.

##### **2.2.1.1 Chancado [2]**

Hay dos plantas de chancado en el área de Colón: Una de chancado primario y otra de chancado secundario y terciario.

Alrededor del 60% del mineral que llega al concentrador, ha sido sometido a una etapa de chancado primario en el interior de la mina, mediante un chancador Allis Chalmers de 54" \* 74". Este porcentaje de mineral proviene del sector sur del yacimiento y llega al chancador primario a través de los piques verticales colectores OP-15 y OP-16. La mena es reducida de tamaño, desde un máximo de 20" a 30" hasta aproximadamente 5" y luego se envía a la planta de chancado Colón por trenes.

- **Planta de Chancado Primario**

El mineral llega desde la mina en trenes, con carros que tienen una capacidad de 94Ton; se almacenan en el llamado "buzón de Colpas", que tiene una capacidad de 4000Ton y desde allí, mediante dos correas oruga, alimenta a un chancador Allis Chalmers de 54" \* 74", que tiene un setting de descarga del chancador de 6" a 8". La descarga del chancador llega a un buzón de 600Ton. Mediante correas transportadoras, el mineral es llevado a la torre de transferencia 2, que está a un nivel

más alto y que permite dirigir el mineral hacia el chancado secundario o a la molienda SAG.

- Planta de chancado secundario y terciario

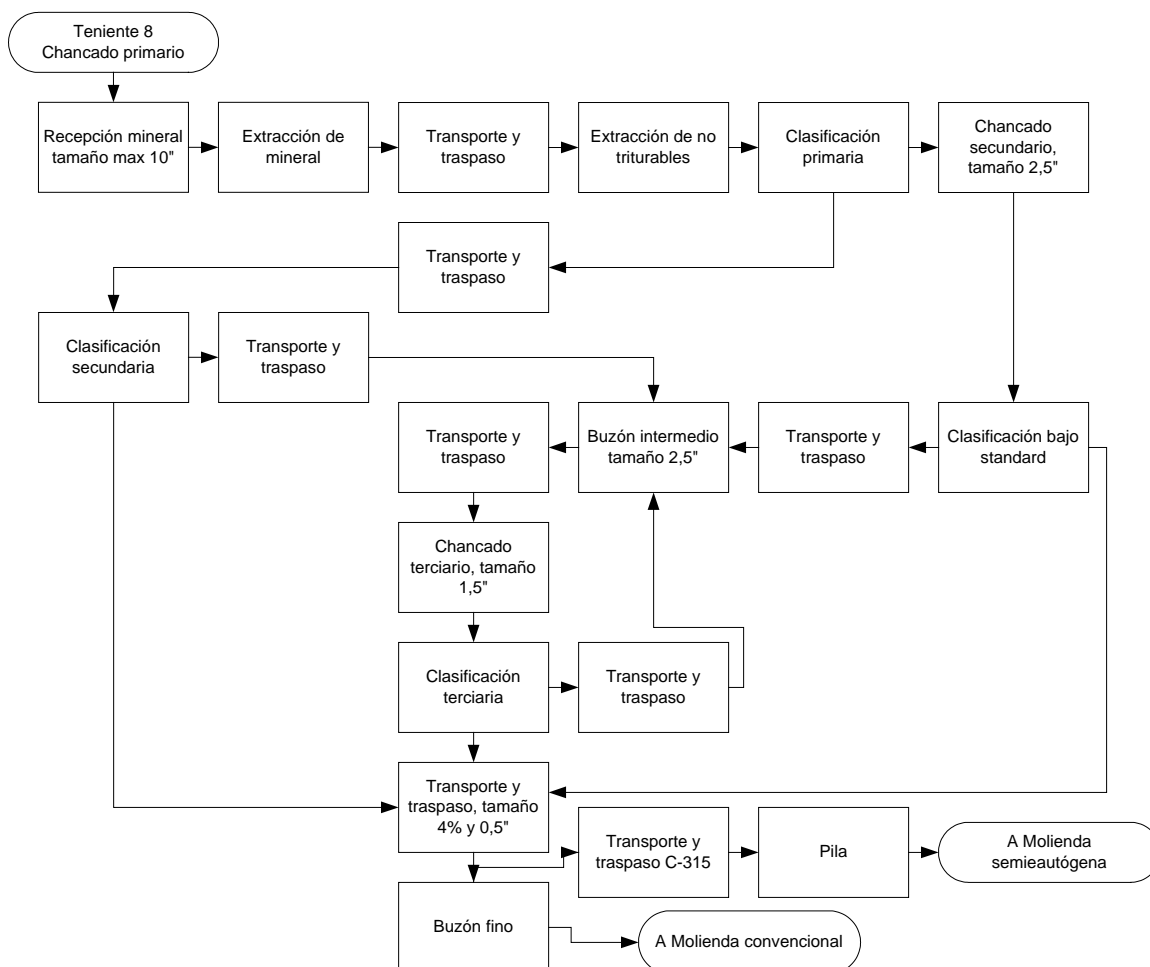
El mineral que llega al llamado “buzón grueso” que tiene una capacidad total de 26000Ton, proviene de la planta de chancado primario de la mina. Este llega en trenes con carros de 94Ton de capacidad.

Mediante 27 alimentadores Jeffrey y 3 líneas de correas de transporte, el mineral llega a 3 harneros de doble parrilla de 7` de ancho por 20` de largo. La parrilla superior tiene aberturas de 4” y la inferior de 2”.

El sobre tamaño de estos harneros alimenta a 3 chancadores Symons Standard de 7`, que tienen un setting de 1 1/8” y el bajo tamaño se clasifica en 3 harneros secundarios de 8` de ancho por 20` de largo, que tienen aberturas de 16mm por 40mm. La descarga de los chancadores secundarios también se clasifica en 3 de los llamados “harneros bajo standard”, de iguales dimensiones que los secundarios, que tienen aberturas de 20mm por 40mm o de 18mm por 45mm.

El sobre tamaño de los harneros secundarios y de los harneros bajo standard, va al buzón intermedio y el bajo tamaño de los harneros nombrados va a molienda. El buzón intermedio tiene una capacidad de almacenamiento de 2600Ton y alimenta a 8 chancadores terciarios Symons de cabeza corta de 7`. Estos operan con un setting de descarga de alrededor de 3/8”.

La descarga de los chancadores terciarios de 8` por 20` con aberturas de 14mm por 31mm o de 16mm por 40mm. El sobre tamaño retorna al buzón intermedio y el bajo tamaño se envía a molienda.



**FIGURA 2.2**  
**Mapa proceso chancado**

Fuente: Elaboración propia basándose en Registros – 101, Mapa del Proceso, 2004

### 2.2.1.2 Molienda convencional

La molienda es la última etapa del proceso de conminución. En esta etapa las partículas se reducen de tamaño por una combinación de impacto y abrasión ya sea en seco o como una suspensión en agua. La molienda generalmente se realiza en molinos de forma cilíndrica cónica que giran alrededor de su eje horizontal y que contienen una carga de cuerpos sueltos de molienda conocidos como medios de molienda, los cuales

están libres para moverse a medida que el molino gira produciendo la conminución de las partículas de mena.

Todas las menas tienen un grado de molienda óptimo el cual dependerá de muchos factores, que incluyen el grado de dispersión del mineral en la ganga y el proceso de separación que se usará a continuación.

El propósito de la sección de molienda es ejercer un control estrecho en el tamaño del producto y por esta razón frecuentemente se dice que una molienda correcta es la clave de un buen procesamiento del mineral [12].

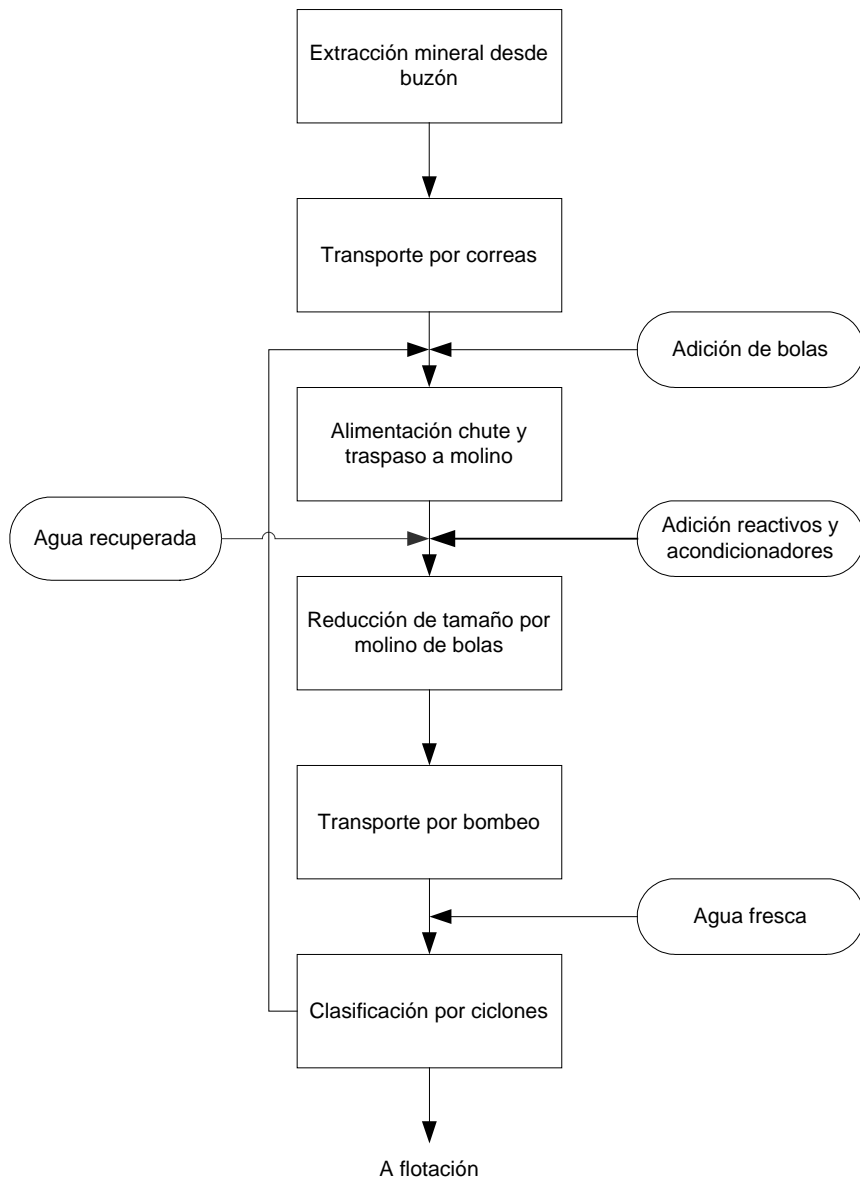
La planta de molienda convencional tiene una capacidad de procesamiento de alrededor de 54.000 toneladas por día. Consta básicamente de 12 molinos de bolas, cada una de ellos con su respectiva batería de hidrociclones, este es un equipo clasificador centrífugo muy utilizado para el procesamiento de minerales. Mediante correas transportadoras se hace llegar el mineral hasta los molinos, que operan en circuito cerrado con los hidrociclones [2].

El mineral proveniente de la planta de chancado secundario y terciario, tiene un tamaño de 4% a 12% superior a 1/2" y se almacena en el llamado buzón fino. Este buzón tiene una capacidad de almacenamiento de 116000Ton [2]. Mediante correas transportadoras se hace llegar el mineral hasta los molinos, que operan en circuito cerrado con los hidrociclones.

La planta cuenta con 8 molinos de 24` de largo por 14` de diámetro fabricados por Hardinge y equipados con motores de 2500Hp los 7 Primeros y 3500 el octavo, todos fabricados por Westinghouse. Además, la planta tiene 4 molinos de 16` de diámetro por 24` de largo, fabricados por Fuller Traylor. Éstos cuentan con motores de 3800Hp fabricados por General Electric. Todos los molinos operan con bolas de diámetro 3 1/2" y un nivel de llenado de bolas de 38 a 39% [12].

La descarga de cada molino alimenta a una bomba, que impulsa la pulpa hacia su respectiva batería de ciclones; cinco de ellas formadas por 6 ciclones de 20" de diámetro y los siete restantes por 4 ciclones de 26" de diámetro.

El producto de rebalse va a la planta de flotación y la descarga retorna a la alimentación del molino como carga circulante, oscilando entre 300% y 450% de la carga fresca [2].



**FIGURA 2.3**

**Mapa proceso molienda convencional**

*Fuente: Elaboración propia basándose en Registros – 101, Mapa del Proceso, 2004*

### 2.2.1.3 Molienda semiautógena SAG

Se entiende por molienda autógena aquella en la cual los medios moledores están formados principalmente por trozos de la mena que se procesa. Normalmente la alimentación a la molienda autógena corresponde a la descarga de un chancador primario ajustado para producir un producto grueso. En menas adecuadas, este tipo de molino elimina los costosos medios de molienda convencional [12].

En algunos casos se agregan bolas de acero para mejorar la acción de la carga, con lo que la molienda deja de ser autógena pura y pasa a convertirse a semiautógena. Generalmente las bolas representan entre un 4 y 15% del volumen total del molino [12].

A la molienda SAG le sigue una etapa de clasificación en harneros vibratorios, desde donde se obtienen dos productos granulométricamente distintos, sobre tamaño y bajo tamaño [12]:

- Sobretamaño o pebbles: estos son enviados a una etapa de chancado desde donde son recirculados al molino.
- Bajotamaño: este sirve de alimentación a los hidrociclones primarios desde donde se obtienen nuevamente dos productos rebalse y descarga:
- La descarga de los ciclones primarios es enviada directamente a molienda secundaria.
- Los rebalses son enviados a flotación

#### ➤ Molienda SAG, planta 1 [2]

La planta SAG 1 de la división El Teniente fue diseñada para una capacidad normal de procesamiento de 24000Ton mineral/día

El molino tiene un diámetro de 11m y un largo de 4,6m y fue construido por Bolliden Allis de Canadá.

Su motor de tipo anillo fue fabricado en Alemania por Siemens, con la última tecnología de motores de gran tamaño. Es así como, el molino pasa a ser la parte central del motor, siendo rodeado por un anillo, que es la parte fija, de esta forma el molino gira

sin tener un sistema de transmisión mecánica desde el motor. Que redundaría en un considerable ahorro de energía.

Una de las ventajas de la aplicación de la molienda semiautógena, es el sustancial ahorro en los costos de capital y operaciones, con respecto a los circuitos convencionales, que comprenden una planta de chancado y una de molienda, para realizar una tarea equivalente. Se produce así un aumento significativo en la productividad.

Además del molino, la planta cuenta con un harnero, un chancador para pebbles y dos molinos de bolas. Cada equipo posee su propio equipo de clasificación.

El mineral enviado desde la planta de chancado primario, se almacena al aire libre en una pila que tiene una capacidad aproximada 60000Ton. El 80% del mineral que llega a la planta tiene un tamaño inferior a 200000 $\mu$ m. Mediante cuatro alimentadores vibratorios ubicados bajo la pila, se alimenta una correa que lleva el mineral hasta el molino.

Tiene una velocidad de giro entre 4 y 10,3rpm. Está cargado con bolas de acero de 5", ocupando éstas entre el 8 y 12% de su volumen. La parrilla interior de descarga tiene una abertura de 2". La descarga cae sobre un harnero vibratorio de 8 por 20" que tiene una abertura de 1/2".

El sobretamaño del harnero es conducido, mediante correas transportadoras, a un chancador Symons de 7' de cabeza corta. Este opera con una abertura de descarga de 3/8" y tiene una capacidad de procesamiento máxima de 416Ton/hora.

La descarga del chancador retorna a la correa de alimentación del molino SAG como carga circulante, mientras que el bajotamaño llega a un pozo de bombeo y de allí es impulsado a una batería de ciclones de 26" de diámetro, que operan con una presión de 6 a 10psi. El rebalse de esta batería llega a una canal, que conduce el producto de la planta hacia la etapa de flotación. La descarga de estos ciclones primarios alimenta a los dos molinos de bolas y tiene la posibilidad de retornar al molino SAG.

Los molinos de bolas tienen 18' de diámetro por 28' de largo y fueron fabricados por Fuller Traylor. Operan con un nivel de llenado de 35% de bolas de 3" de diámetro. Cada uno tiene una capacidad de procesamiento de alrededor de 350Ton/hora.

La descarga de cada molino de bolas es bombeada a sendas baterías de 8 hidrociclones de 26" de diámetro. Cuyo rebalse es el producto final y llega a la canal que los conduce a la planta de flotación. El 80% de este producto final tiene tamaño inferior a los 160 $\mu$ m

➤ Molienda SAG, planta 2 [1]

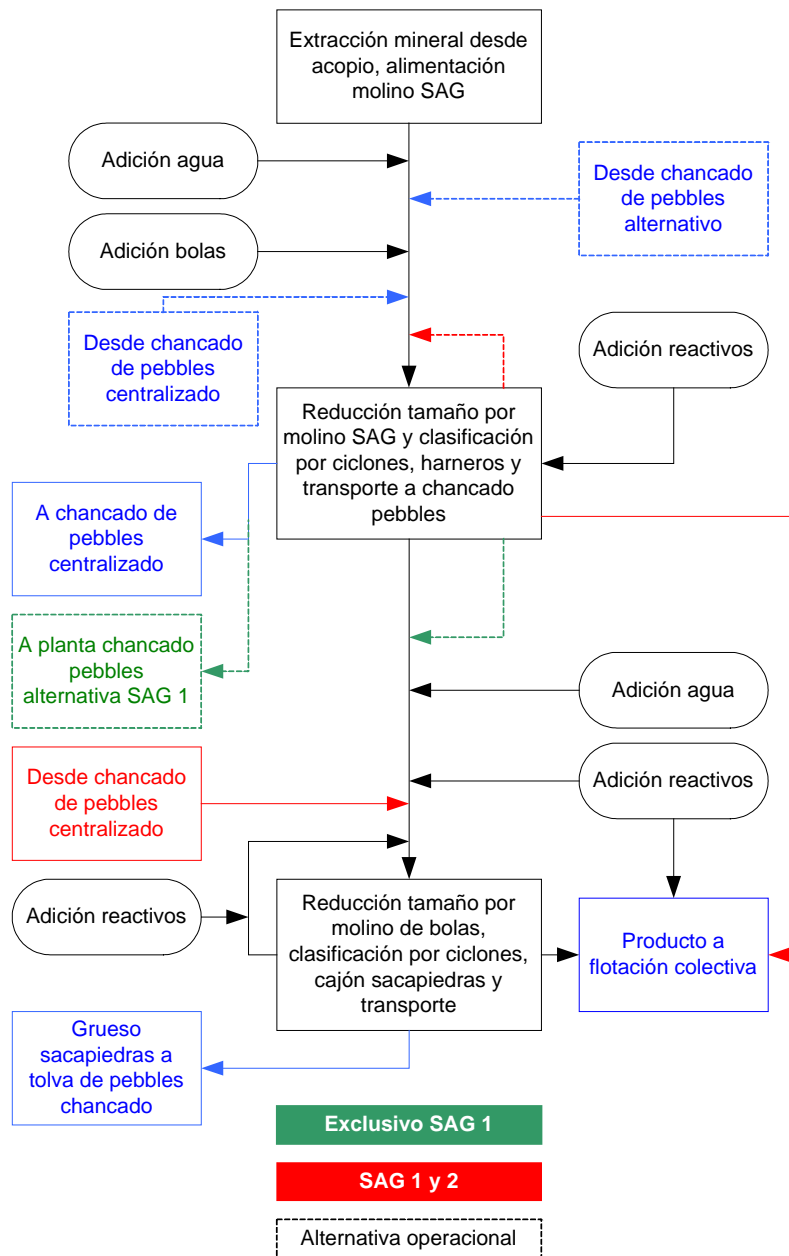
Esta planta, que comenzó su operación en octubre 2003, cuenta con las siguientes características:

- Edificio colindante a planta actual.
- Molino SAG con motor Gearless 38'x 20', 26000 HP.
- Dos molinos de bolas motor Gearless 24'x36', 15000 HP.
- Circuito SABC-B procesando pebbles ambas plantas.
- Facilidades operativas para operar 100% SABC-B a 100% SABC-A.
- Sub estación eléctrica y sala eléctrica para su alimentación.

**TABLA 2.1**  
**Equipos planta SAG 2**

#	Equipo	Tamaño / Capacidad	Potencia
1	Acopio de gruesos	50000Ton	
6	Alimentadores de correa	54"	100Hp
1	Correa de alimentación	60"	125Hp
1	Molino SAG	38` X 20`	26000Hp
2	Harneros	10` X 42`	40Hp
2	Bombas deck SAG		600Hp
1	Bomba ciclones 1º		600Hp
1	Batería 8 ciclones		
2	Molinos de bolas	24` X 36`	15000Hp
1	Bomba de alimentación		2250Hp
2	Baterías 12 ciclones		
2	Puentes grúa	60/100Ton	125Hp
2	Máquinas enlainadoras		50Hp

*Fuente: Registro – 102, Componentes del proceso Molienda SAG, 2004*



**FIGURA 2.4**  
**Mapa proceso molienda SAG**

Fuente: Elaboración propia basándose en Registros – 101, Mapa del Proceso, 2004

#### 2.2.1.4 Flotación de cobre

- Flotación Convencional [12]

Por muchos años han prevalecido sistemas de flotación contruidos por bancos de celdas de tipo tanque agitado. Su avance tecnológico consistió en el uso de tanques en serie para evitar corto circuitos, así como en la utilización de celdas tipo estacionario, cada día de mayor tamaño.

En la flotación, la pulpa de mineral es tratada con reactivos químicos apropiados que hacen a uno de los minerales no humectantes o hidrofóbicos, flotando así en la parte superior de la celda y recuperándose con la espuma.

El mecanismo de agitación actúa para mantener las partículas en suspensión y llevar aire a la pulpa, a través de diseños que utilizan un soplador externo para introducir el aire. Además este proceso de agitación logra producir finísimas burbujas que son estabilizadas en la fase acuosa por el agregado de un agente espumante.

Los minerales que no flotan pasan al final del sistema para un tratamiento adicional o eliminación. Desgraciadamente esto no genera una separación ideal debido a ciertos problemas que causan contaminación del producto espumoso, por ejemplo:

1. Turbulencia de la espuma en la interfase pulpa-espuma, causante de que partículas de ganga entren en la espuma.
2. Presencia de lamas, constituidas por muy finas partículas que son llevadas sobre la espuma con el agua de alimentación.

El problema de la contaminación ha sido solucionado reflatando el producto en operaciones de limpieza (cleaning), aumentando los costos operativos de capital.

El sistema de agitación de las celdas de flotación está diseñado para cumplir tareas conflictivas ya que debe promover turbulencia para mantener las partículas en suspensión, para promover el contacto entre pequeñas burbujas de aire y partículas, y al

mismo tiempo proveer de una región estacionaria para la separación eficiente de burbujas cargadas y pulpa remanente a través del drenaje de la espuma.

El drenaje mecánico de las partículas de ganga a partir de la estructura de la espuma es un mecanismo importante para alcanzar buena selectividad en la flotación. Esto puede mejorarse por medio del lavado de la espuma.

El vaciado de agua de lavado sobre la espuma en las celdas mecánicas fue practicado exitosamente durante 25 en la unión soviética, especialmente en la flotación de carbón.

En la flotación convencional se deben satisfacer simultáneamente varios requerimientos:

1. Espuma estable, aunque no tanto
2. Capa de espuma de valores adecuados
3. Velocidad de crecimiento y evacuación de espuma adecuada.
4. Selectividad (bajo arrastre de gangas)

La espuma se debe poder destruir con agua, una vez que está en los lauders. La limpieza de los concentrados está basada en el espesor de la espuma. Si éste es pequeño el concentrado resulta de baja ley porque la espuma está en contacto directo con la pulpa. Si, en cambio, se trabaja con una capa de espuma de mayor espesor, hay un drenaje desde el film acuoso desde donde se eliminan las lamas. Esta eliminación desde la capa de espuma, entrainment o arrastre físico, está relacionado con la cantidad de agua en la espuma.

Si existe menos agua, las burbujas estarán mineralizadas en mayor cuantía y el proceso será más selectivo (tiene un entrainment más bajo). Si hay un buen colchón de espuma se establece un mecanismo de drenaje y limpieza, por lo que resulta un concentrado de mayor ley.

Si una partícula de ganga llega al nivel de la interfase pulpa-espuma, tiene que remontar 10 a 15cm para salir de la espuma y ser eliminada. Esto resulta muy difícil ya que hay que vencer el arrastre.

Como ejemplo, se puede mencionar que las columnas tienen enormes capas de espuma, de hasta 1, 2m de espesor.

El control de la espuma está relacionado con el nivel pulpa-espuma, que tradicionalmente se maneja por niveles de compuerta. Actualmente se cuenta con sensores ultrasónicos que permiten controlar el espesor de la capa de espuma.

Si la espuma es muy gruesa resultan concentrados de alta ley, pero de masa menor por lo que se obtendrá menores recuperaciones.

- Flotación Columnar

En general todas las celdas de flotación columnar se basan en tres elementos básicos:

1. Generación y uso de microburbujas.
2. Un mecanismo de lavado
3. Eliminación de la agitación mecánica

La primera celda de columna fue patentada en 1960. Éstas son de gran altura de 12 a 15m, con una pequeña área de espumación. En la parte basal de la columna se introduce el aire y se alimenta 2/3 de la altura del equipo.

Al lograr la introducción de burbujas de tamaño pequeño, en estos equipos se obtiene mejor recuperación de partículas finas con una mayor capa de espuma.

En este diseño se cambiaron los parámetros básicos, como la relación área espumación / volumen celda y así resulto el manejo de un colchón de espuma y la introducción de un medio mecánico para mejorar la recuperación del concentrado.

Se mejoró la constante de velocidad, pues con burbujas más pequeñas flotan mejor las partículas pequeñas. Con este desarrollo aparecieron los spargers, burbujeadores. Como había tendencia a que la espuma se hundiese y que se rebasara la pulpa, surgió la necesidad de controlar simultáneamente el comportamiento hidráulico y metalúrgico.

El investigador canadiense Whiler mejoró el diseño del equipo desarrollando burbujeadores de goma porosa e introdujo el control automático. Estas columnas fueron probadas nuevamente a fines de 1970 en la obtención de molibdenita Gaspé, en Canadá.

La principal acción de las columnas es que dan una mejor acción limpiadora, es decir, mayor ley del concentrado, aunque a costa de bajar la recuperación. De ahí surge que las columnas deben estar acompañadas de un gran circuito Scavenger para tratar las colas.

Con el cambio de burbujeadores de 2" de diámetro y su reposición significaba para la columna 3 a 4 horas, el USBM desarrolló un sistema que consiste en unas lanzas delgadas de  $\frac{3}{4}$ " que se pueden sacr a través de una válvula de seguridad. Luego aparecieron los burbujeadores externos, los que mezclan el aire con la solución de espumante. De esta forma surgieron los burbujeadores de Doddy y Finch, y sistemas de vidrios sintetizados.

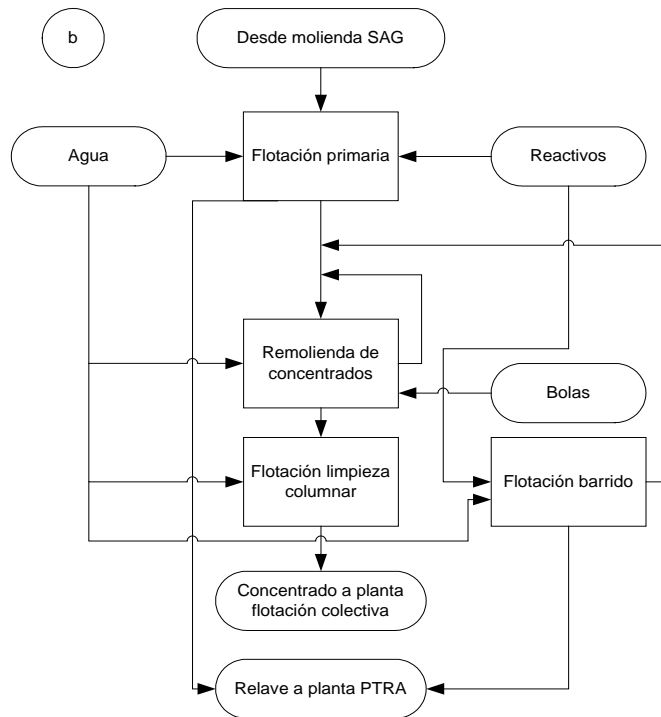
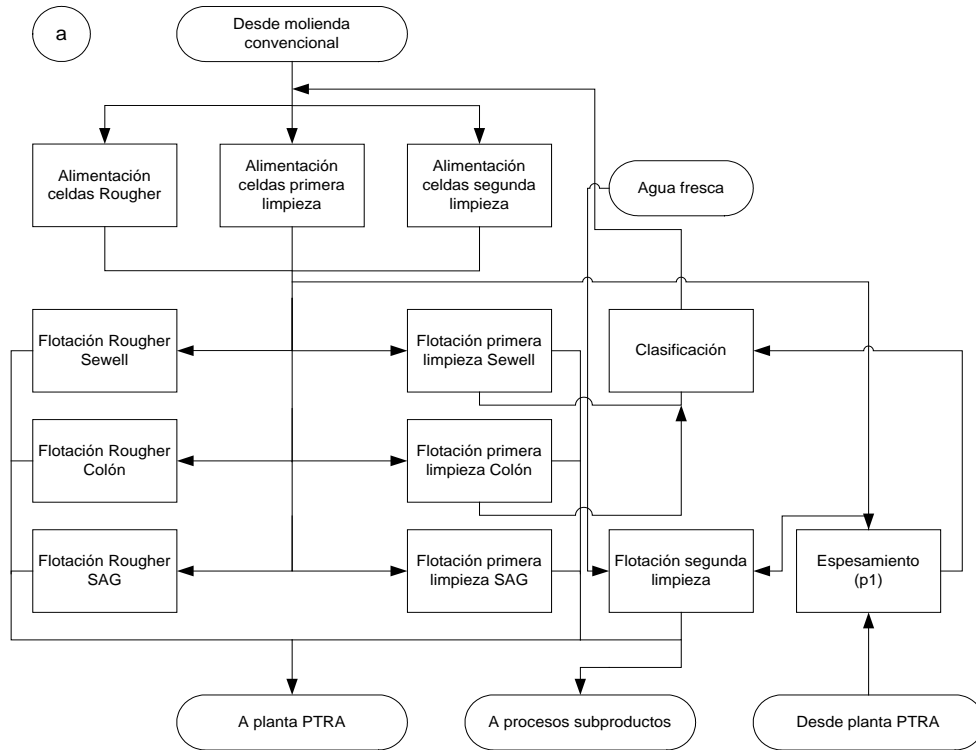
- Planta flotación de cobre Gerencia de Plantas

El proceso de flotación se realiza en dos etapas: Flotación Rougher y primera limpieza.

La flotación Rougher se efectúa en tres bancos, cada uno con 10 celdas de 1500pie<sup>3</sup> fabricadas por Wemco, con arreglo 2-2-3-3 y un cuarto banco de 8 celdas Wemco de 1500pie<sup>3</sup> con arreglo 2-2-3.

La pulpa llega a las celdas con un porcentaje de sólidos de 32% y con una granulometría de alrededor de 25% sobre la malla 100 Tyler. La ley de cobre es entre 1,1 a 1,2% y la de molibdeno de 0,021%. En esta primera etapa se obtiene un concentrado que contiene cerca de 8% de cobre y un relave de alrededor de 0,108%. El concentrado rougher pasa a la etapa de la primera limpieza y la cola se va a la planta de tratamiento de relaves (PTR).

La primera limpieza se lleva a cabo en un banco de 9 celdas de 1000pie<sup>3</sup> con arreglo de 2-3-4. De las primeras 5 celdas se obtiene un concentrado rico, con una ley de alrededor de 18%, que se envía a la planta de tratamientos de concentrados y un concentrado pobre, en las cuatro restantes, que se recircula la alimentación de la flotación rougher. La cola, que contiene 0,185% de cobre, envía a la planta de tratamiento de relaves.



**FIGURA 2.5**  
**Mapa proceso flotación colón, sewell y SAG (a) y flotación colectica SAG (b)**  
*Fuente: Elaboración propia basándose en Registros – 101, Mapa del Proceso, 2004*

### 2.2.1.5 Filtros y secado [2]

En esta planta se recibe el concentrado de cobre proveniente desde la planta de flotación de molibdeno. Este concentrado es primeramente tratado en un espesador de cabeza a esta planta para alimentar los filtros con un porcentaje de sólido adecuado. La descarga de los filtros pasa luego a la planta de secado, donde hornos giratorios reducen el nivel de humedad del concentrado hasta un valor óptimo para que este concentrado a la fundición de Caletones, según lo solicitado. Las aguas claras del espesador de cabeza a esta planta, son tratadas en un segundo espesador, para luego volver al espesador de cabeza. Las aguas claras de este segundo espesador y otros residuos líquidos de esta planta vuelven al proceso de concentración en Colón por un sistema de bombeo.

- Espesamiento pre filtrado

La pulpa que proviene desde Colón se recibe en el espesador E1 a través de una tubería de 8" de diámetro. Esta pulpa posee entre 53 y 57% de sólidos, con una gravedad específica de 4,2 una granulometría de 67-70% un pH de 11-12, un contenido de insolubles de 6-8% y una ley de cobre de 31-32%.

La función que cumple el espesador E1 es concentrar los sólidos en suspensión por sedimentación hasta lograr un porcentaje de sólidos adecuados para el proceso de filtración.

El espesador E1 tiene una capacidad normal de operación de 2800 a 3500 toneladas métricas secas de concentrado y una capacidad de diseño de 10500m<sup>3</sup>. Su altura central es de 5,7m y su diámetro es de 61m. Mediante dos motores de 7,5hp produce el giro de dos rastras largas y dos cortas, a una velocidad de 0,032rpm. Las partículas presentes en la pulpa decantan a una velocidad relativa promedio de 50min. La pulpa de descarga del E1 es transportada gravitacionalmente, mediante una tubería de 10" de diámetro con un sistema de torres corta – presión hasta dos cajones distribuidores que alimentan a los filtros de presión Eimco y Lasta.

- Operación de filtrado

La función que cumple esta etapa del proceso es la de reducir el contenido de humedad que trae la pulpa proveniente del espesador E1, desde 67 o 70% de sólidos (33 a 30% de humedad) hasta un 91 o 92% de sólidos (9 a 8% de humedad).

En forma operacional es posible distinguir dos etapas fundamentales durante el proceso de filtración.

1. Etapa de alimentación con formación de un queque entre dos telas, en donde es desaguado y la porosidad obtenida es función de la presión de alimentación.
2. Soplado de aire a través del queque para eliminar la humedad retenida con aire comprimido (80 – 100psig), hasta conseguir una humedad de un 8 a 9% en la descarga.

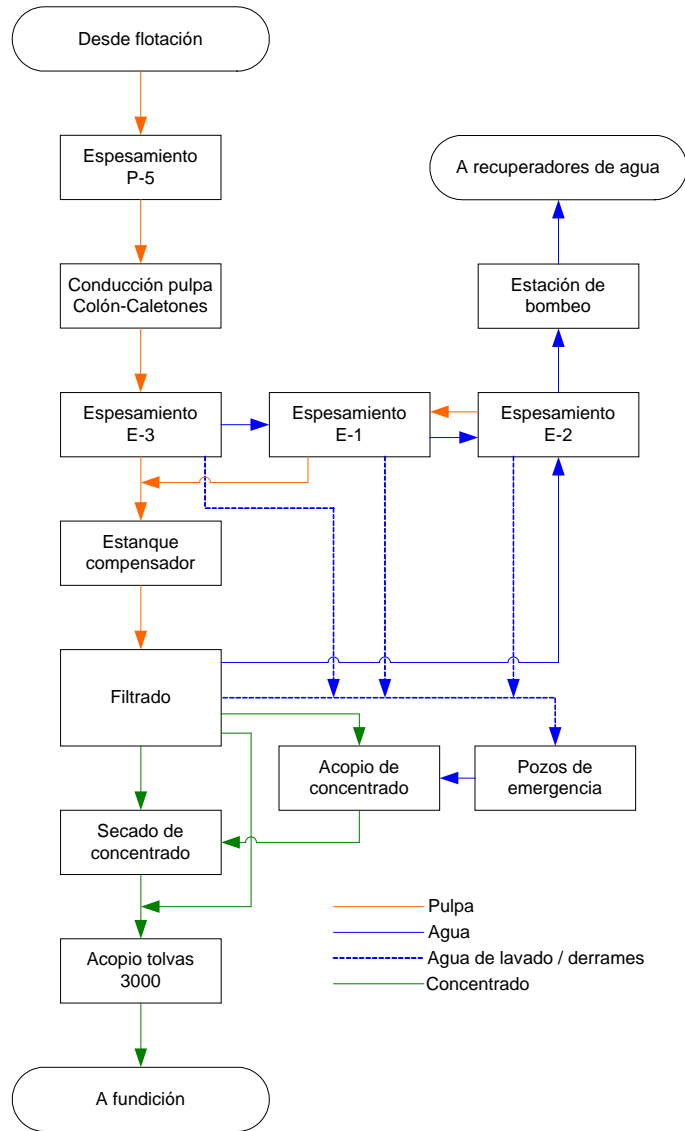
Las etapas anteriormente mencionadas son consecutivas y se realizan en la misma cámara de filtrado en forma Batch. La filtración a presión puede ser definida como un proceso cíclico en el tiempo que cuenta con las siguientes fases:

1. Cerrado: las placas son unidas a alta presión hidráulica mediante un pistón para evitar pérdidas entre éstas, continuada de un cierto tiempo de sellado. Se generan cavidades las que son denominadas “cámaras filtrantes”, sellando los bordes de las telas filtrantes por acción del pistón del cilindro hidráulico principal a 450lbs/pulg<sup>2</sup> y sellado de la prensa por presión ejercida a través del pistón de 2500lbs/pulg<sup>2</sup>, durante dos minutos.
2. Alimentación: la alimentación de la pulpa se realiza por el núcleo del cabezal fijo donde la pulpa de concentrado es bombeada a las cámaras de filtración y distribuida entre ambas caras de la tela filtrante (80 a 100lbs/pulg<sup>2</sup> durante 2 ó 3 minutos dependiendo de los requerimientos de la producción).
3. Limpieza: en forma contracorriente es realizada la limpieza del residuo de pulpa que queda retenida en el interior del núcleo, mediante agua a presión. El agua que pueda quedar retenida en el núcleo se trata de eliminar con aire comprimido. Esta etapa dura unos 45min.

4. Soplado: aire a alta presión (80 a 100lbs/pulg<sup>2</sup>) es introducido a las cámaras, las que generan un desplazamiento de la humedad retenida en los poros al ser forzado a pasar a través del queque compacto y homogéneo, proceso que tarda entre 5,5 a 8min.
  5. Descarga: las placas del filtro se separan por retracción del pistón, al accionar un cilindro hidráulico, una vez terminadas las etapas de filtración y compresión, donde los queques caen sobre una correa transportadora que opera gravitacionalmente.
  6. Lavado: antes de comenzar un nuevo ciclo, las compuertas de la tolva receptora del queque son automáticamente cerradas para realizar el lavado de telas con agua, esto para eliminar las partículas de concentrado que permanecen adheridas.
- Espesamiento post filtrado

Los líquidos filtrados en las etapas de alimentación, limpieza del núcleo, soplado del queque y el agua utilizada en el lavado de tela se evacuan en forma gravitacional para recuperar el concentrado contenido en el espesador E2. Además recibe eventualmente el lavado de camiones que transportan el concentrado, reboses de cajones distribuidores, torres y plantas. Este espesador tiene una capacidad de 1450m<sup>3</sup> y las rastras giran a una velocidad de 0,062rpm. El sólido de una alimentación es de 4 a 15% y la descarga de 8 a 20% de sólidos. Es una estructura de concreto armado con base cónica, tiene un diámetro de 24,4m y una altura central de 4,3m. El sistema motor lo constituye un motor de 3hp y 1500rpm. El agua de rebose del E2 alimenta a la piscina de decantación.

Esta última tiene por función decantar los sólidos contenidos en las aguas de reboses de los espesadores E1 y E2, permitiendo de esta manera reutilizar el agua de rebose en el proceso o entregarla a recursos hídricos. Los sólidos decantados son enviados a través de las mismas estaciones de bombeo del espesador E2 al E1.



**FIGURA 2.6**

**Mapa proceso filtrado y secado**

Fuente: Elaboración propia basándose en Registros – 101, Mapa del Proceso, 2004

### 2.2.1.6 Tratamiento de relaves

El objetivo de la planta de tratamiento de relaves es maximizar la recuperación general del concentrador. En esta planta sólo se tratan los relaves alcalinos provenientes del proceso de concentración en Colón. Esto representa alrededor de 75000TMS/Día [2].

El proceso contempla las siguientes etapas [12]:

- Flotación Rougher
- Flotación primera limpieza
- Clasificación y remolienda
- Flotación segunda limpieza
- Flotación de barrido

#### ➤ Flotación Rougher

El equipo principal de la flotación Rougher está compuesto por:

- 3 bancos de 9 celdas cada uno de 1000pie<sup>3</sup> cada celda
- 1 banco de 3 celdas de 3000pie<sup>3</sup> cada una
- 1 banco de 6 celdas de 1500pie<sup>3</sup> cada celda

La alimentación de esta circuito, tiene una ley de 0,205% de CuT y el concentrado obtenido es de 1 a 1,5% de CuT. Este producto constituye la alimentación del circuito de primera limpieza, la cola o relave del circuito rougher es de 0,197% de CuT. Los bancos operan en paralelo.

#### ➤ Flotación primera limpieza

La flotación primera limpieza se efectúa en:

- 2 bancos de 9 celdas cada uno, de 1500pie<sup>3</sup> cada celda
- 2 bancos de 9 celdas cada uno, de 300pie<sup>3</sup> cada celda

El concentrado obtenido en la primera limpieza, dependiendo de la alimentación proveniente de la flotación rougher, varía de 3,0% a 5% CuT y es una fracción de la alimentación en la etapa de clasificación y remolienda. La cola de la primera limpieza va de 0,20% a 0,30% de CuT y es parte de los relaves de la planta de tratamiento de relaves. Los bancos de 1500 y 300pie<sup>3</sup> operan en serie y entre ellos operan en paralelo.

➤ Clasificación y remolienda

Antes de la flotación de la segunda limpieza, los productos intermedios, vale decir concentrado de la primera limpieza, descarga de ciclones y concentrados del circuito de barrido, deben ser clasificados y remolidos para lograr la liberación de las partículas de sulfuros de cobre y molibdeno que no se han desprendido de la ganga.

Los productos estériles anteriormente mencionados, alimentan a una batería de 14 ciclones D-10-BB. El número de ciclones en operación depende de la alimentación a tratar y de la carga circulante, siendo como promedio seis a siete ciclones. Los ciclones operan en paralelo. La carga circulante, descarga de ciclones (under flow), es la alimentación al molino vertical. El molino vertical o de torre mide 2,3m de diámetro y 11m de alto. Los medios de molienda lo constituyen bolas de acero de 1" de diámetro. La dosificación de los medios de molienda es a razón de la potencia del motor del molino, y ésta no debe ser inferior a 300KW. El molino de torre opera en circuito cerrado con la batería de hidrocilones.

El rebalse (over flow) de ciclones en operación, es la fracción fina (aproximadamente 60% 325 mallas), que alimenta a la segunda limpieza.

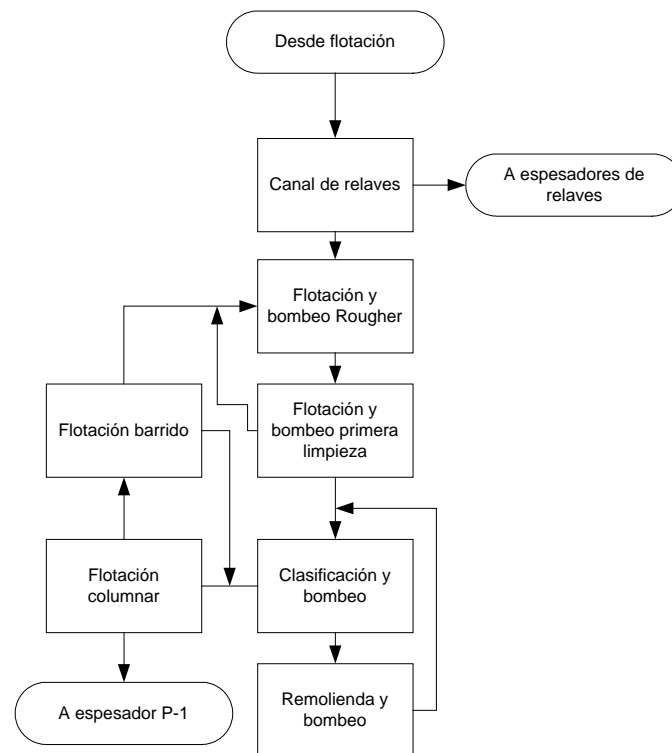
➤ Segunda limpieza

Esta operación se realiza en dos celdas de columnas de sección cuadrada de 8pie de lados y 30pies de alto. El concentrado producido tiene una ley de 19,07% de CuT y 0,8% de MoT aproximadamente.

El concentrado producido, es enviado al espesador P-1, cabeza de circuito de segunda limpieza de la planta de concentración convencional. Las colas de las columnas, alimentan el circuito de barrido.

➤ Circuito de Barrido

Las colas de las columnas, cuyo contenido en cobre es de 1,5 a 2,5% CuT aproximadamente, son la cabeza del circuito de barrido formado por 5 celdas de 1000pie<sup>3</sup> cada celda. El concentrado del circuito de barrido, como producto intermedio, recircula a la batería de ciclones o bien a las celdas de columnas. Las colas del circuito de barrido, con un contenido de cobre de aproximadamente 0,6 a 1% CuT retorna a la alimentación del banco número 1, flotación Rougher.



**FIGURA 2.7**

**Mapa proceso tratamiento de relaves**

*Fuente: Elaboración propia basándose en Registros – 101, Mapa del Proceso, 2004*

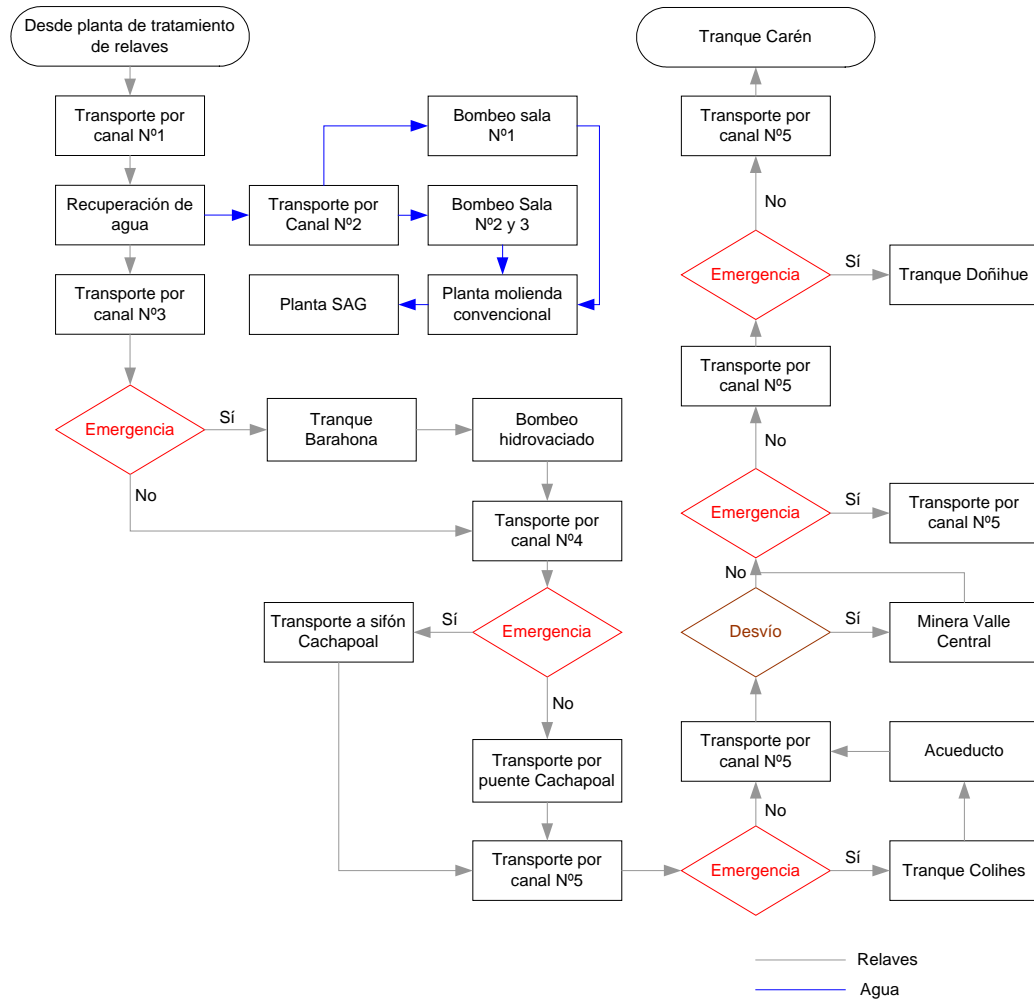
### 2.2.1.7 Disposición de relaves [2]

Las funciones de esta sección son transportar y depositar los relaves, obtenidos del proceso de concentración, en tranques acondicionados para su almacenamiento.

Los relaves obtenidos del proceso de concentración tienen como principales características lo siguiente:

Alcanzan la cifra cercana a 80.000 Ton/Día, con un contenido de cobre aproximadamente 0,17%, su granulometría es de 20% a 25% sobre los 147 $\mu$  (malla 100 Tyler) y tienen un porcentaje de sólidos de 50%.

Normalmente, el 100% de los relaves son tratados en los espesadores de agua para recuperar alrededor de 1500 litros por segundo del recurso. Después de esto, son conducidos por una canal de hormigón armado de 86Km hacia el Tranque Carén, ubicado en la comuna de Alhué.



**FIGURA 2.8**  
**Mapa proceso disposición de relaves**

*Fuente: Elaboración propia basándose en Registros – 101, Mapa del Proceso, 2004*

### 2.2.2 Fases auxiliares y subproductos

La siguiente descripción comprende el proceso de elaboración y almacenamientos de reactivos, hidrometalurgia (producción cátodos de cobre) y flotación de molibdenita cuyo producto es el concentrado de molibdeno.

### 2.2.2.1 Planta de reactivos y cal [1]

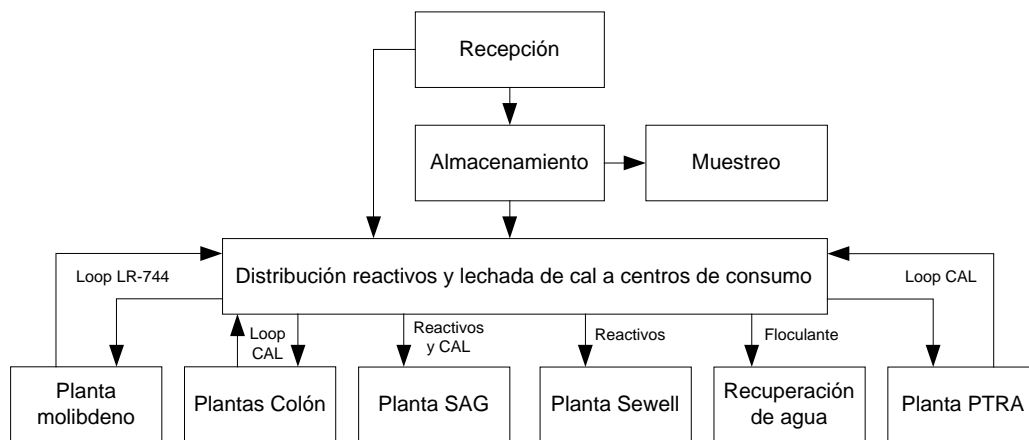
La planta de reactivos y cal se encuentra ubicada en el área de Colón Bajo. Posee dos niveles principales, en el primer nivel se encuentran los equipos de preparación de reactivos, tolvas de descarga de sustancias líquidas y sólidas respectivamente; y en el nivel inferior se encuentran los estanques de almacenamiento, preparación y consumo. También cuenta con un patio exterior, el cual permite el acceso de camiones a la planta para efectuar adecuadamente sus operaciones de entrega de insumos sólidos como de descarga de reactivos líquidos a granel. Para el control de operaciones cuenta con una sala ubicada en el primer piso donde se controlan y monitorean por medio de equipos de última generación niveles, detección de gases, ingreso de reactivos a la planta de reactivos y cal, preparación de LR – 744, sistema de alarmas de emergencias y descargas de reactivos líquidos y sólidos.

La planta de reactivos y cal maneja una importante cantidad de productos por mes, necesarios para la preparación de reactivos químicos requeridos para la recuperación de cobre, molibdeno y agua en la etapa de relaves. Allí, mediante procesos “Batch”, se efectúa mezclas de productos sólidos y líquidos de diferente peligrosidad, manejados en forma automática o mecánica se preparan mezclas en estanques y luego se distribuyen a los respectivos procesos mediante sistema de distribución o de traspaso de estos productos a los centros de consumo en cada planta.

**TABLA 2.2**  
**Detalle reactivos planta reactivos y cal**

Reactivo	Uso
<b>Kerosene</b>	Agente colector de Molibdenita
<b>Diesel Oil</b>	Agente colector de Molibdenita
<b>SF - 574</b>	Agente colector de minerales
<b>SF - 203</b>	Agente colector de minerales
<b>S - 7518</b>	Agente colector de minerales sulfurados de Cobre
<b>SF - 758</b>	Agente colector de minerales
<b>SF - 113</b>	Agente colector de minerales
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Agente modificador de pH
<b>CaO</b>	Agente regulador de pH pulpas
<b>LR - 744</b>	Agente depresante sulfuros de Cobre en circuitos de Molibdenita
<b>Carbón activado</b>	Agente neutralizante
<b>Dowfroth 250</b>	Agente espumante minerales
<b>AF - 76 - A</b>	Agente espumante en la flotación de minerales sulfurados de Cobre
<b>NaOH</b>	Preparación LR - 744
<b>P<sub>2</sub>S<sub>5</sub></b>	Preparación LR - 744
<b>Aerodri - 100</b>	Agente dispersante de partículas, ayuda filtrante

Fuente: Registro – 102, Componentes del proceso planta reactivos y cal, 2004



**FIGURA 2.9**  
**Mapa proceso reactivos y cal**

Fuente: Elaboración propia basándose en Registros – 101, Mapa del Proceso, 2004

### 2.2.2.2 Proceso hidrometalurgia [1]

La planta de Hidrometalurgia produce cátodos de cobre de alta pureza mediante un proceso de extracción por solventes y electro – obtención. Las fuentes de alimentación con soluciones ricas en cobre son las aguas con contenido de cobre provenientes de la mina (residuo industrial líquido), cuyo origen está en las precipitaciones, las cuales ingresan a la mina generando un proceso de lixiviación natural. La otra fuente de alimentación para esta planta son los polvos de concentrado de cobre obtenidos en el proceso de fundición de Caletones, que se someten a un proceso de lixiviación con ácido sulfúrico y posterior ingreso al proceso de electro – obtención.

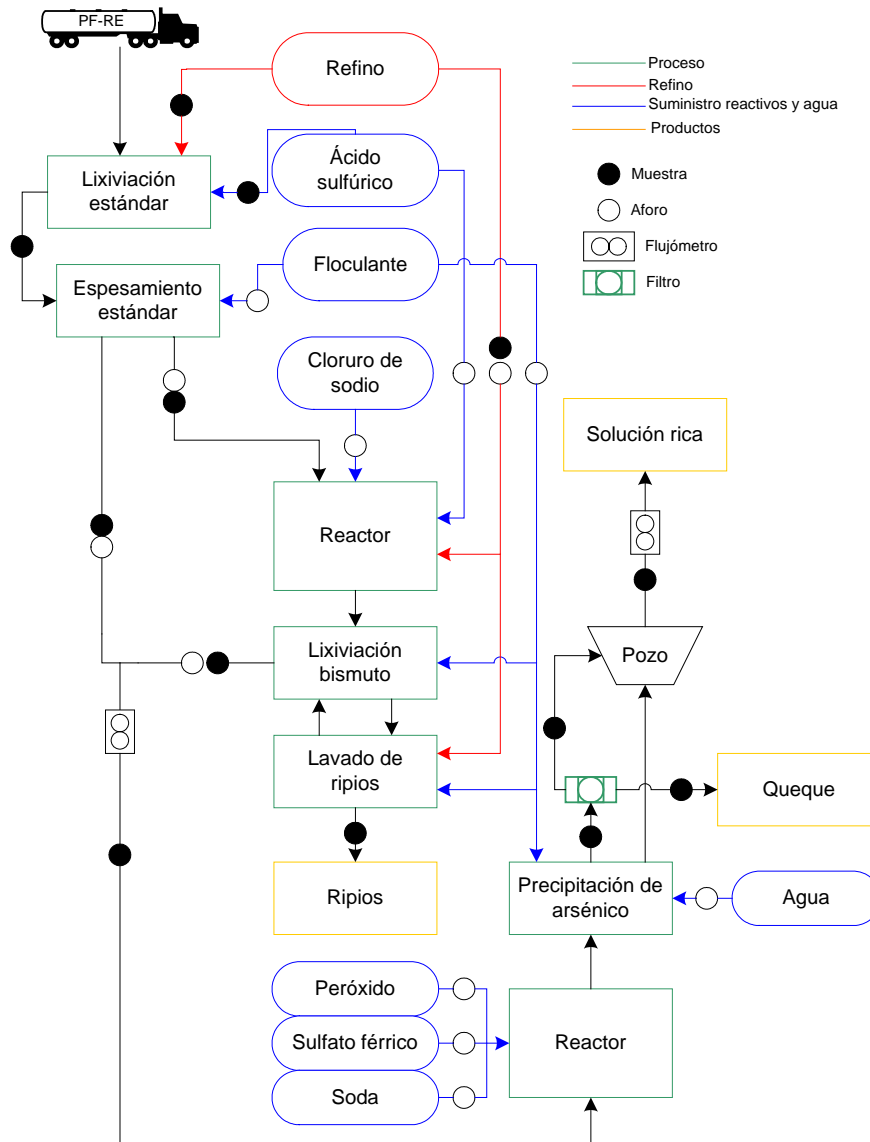
Los procesos hidrometalúrgicos incluyen las áreas de:

- Lixiviación
- Extracción por solventes
- Electroobtención

Las etapas de extracción por solventes y electroobtención corresponden a procesos estándares aplicados a nivel industrial, salvo el PLS que corresponde a una mezcla de agua provenientes desde la mina y soluciones acuosas derivadas del tratamiento de polvos de fundición.

Las aguas mina corresponden a filtraciones acuosas ácidas naturales existentes en el yacimiento, las que son canalizadas hacia la etapa de extracción por solventes, previa decantación de sólidos en suspensión. La solución proveniente desde la planta de polvos corresponde a un producto acuoso, generado desde la lixiviación de los polvos de fundición.

- Planta de tratamiento de polvos de fundición  
Corresponde a una planta Batch de lixiviación y precipitación química que puede subdividirse en seis etapas:
  1. Lixiviación batch estándar
  2. Separación de fases por espesamiento estándar
  3. Lixiación por bismuto
  4. Lavado de ripios
  5. Precipitación química de arsénico y bismuto
  6. Filtración precipitado arsénico y bismuto



**FIGURA 2.10**  
**Configuración proceso polvos de fundición**  
*Fuente: Elaboración propia basándose en Registros – 101, Mapa del Proceso, 2004*

- Planta de extracción por solventes y electroobtención  
 La extracción por solventes y la electroobtención se lleva a cabo producto de la solubilidad de los óxidos y de algunos sulfuros secundarios en soluciones ácidas, para luego producir la concentración y purificación gracias a la selectividad y reversibilidad de las ecuaciones químicas de la extracción por solventes, reduciéndose luego en la electroobtención.

### 2.2.2.3 Flotación de molibdeno [12]

En esta planta el concentrado mixto de cobre y molibdeno, proveniente de la planta de flotación de cobre de Colón, es separado en dos productos, concentrado de cobre por un lado, y concentrado de molibdeno por el otro. Esta separación se consigue agregando un reactivo específico que depresas los minerales de cobre dejando que flote la molibdenita, aprovechando su naturaleza hidrofóbica natural. De esta forma se genera un “estéril” de este proceso que es el concentrado de cobre y un concentrado que es el molibdeno.

Consta de un circuito Rougher (circuito A) donde se separa el concentrado de cobre del de molibdeno. Tiene una producción de alrededor de 17 toneladas diarias de concentrado de molibdeno, que contiene 8,3 toneladas de molibdeno fino.

Al concentrado colectivo cobre – molibdeno que proviene del circuito de cobre, una vez espesado, se le adiciona el reactivo depresante de cobre LR – 744 formado por pentasulfuro de fósforo y soda caústica, y luego entra a los blancos de flotación. Luego por la cola de los bancos sale el concentrado final de cobre, que previo espasamiento, se envía a la fundición.

El concentrado de molibdeno que aquí se produce, pasa por sucesivas etapas de limpieza cuya finalidad es aumentar la ley del molibdeno y eliminar la ganga.

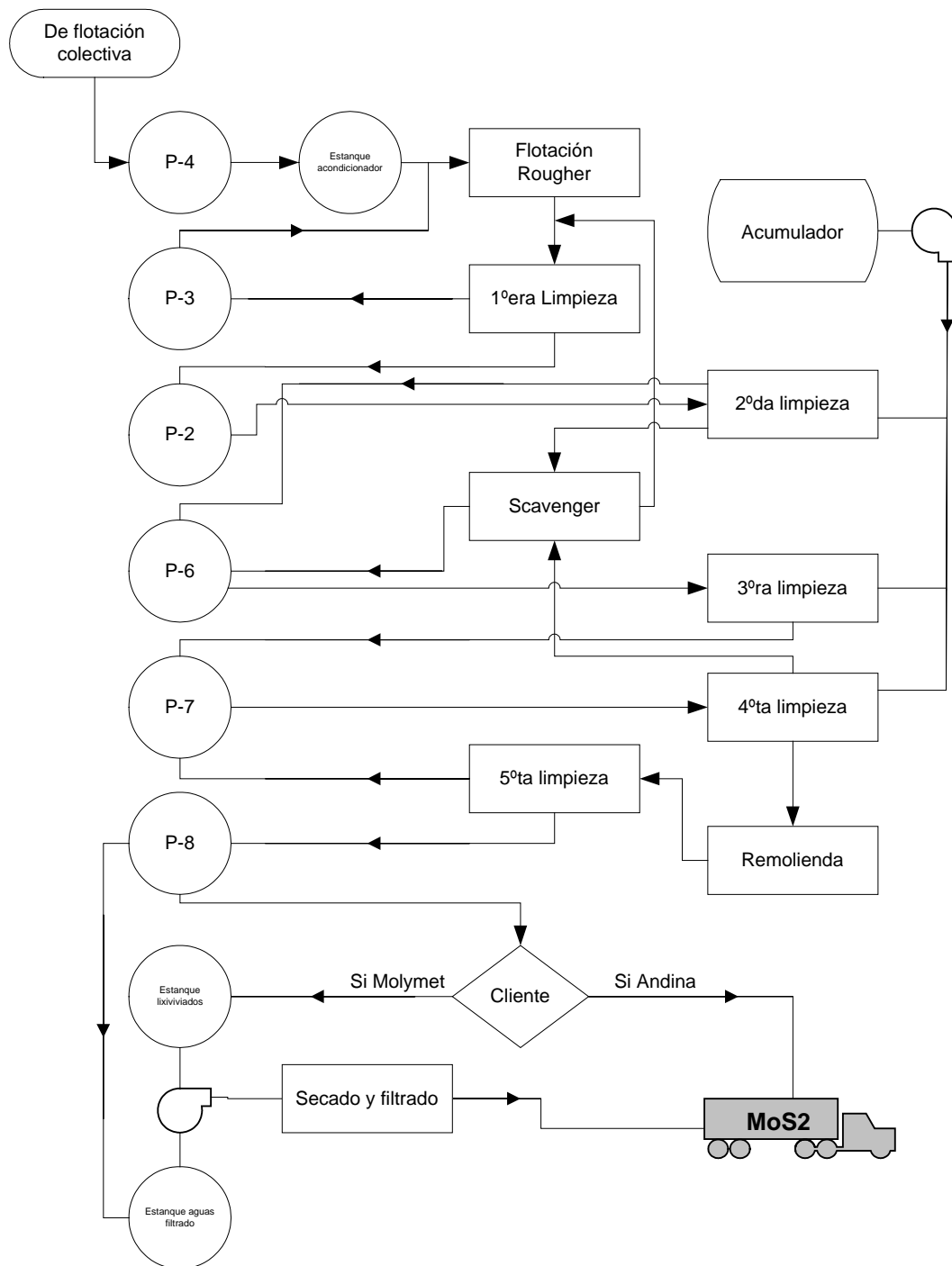
Finalmente, el circuito E entrega un concentrado que contiene un 50% de molibdeno y 3,4% de cobre

Los principales circuitos de limpieza son:

- Circuito B:  
4 bancos Wemco de 60 pie<sup>3</sup> auto aspirantes de 12 celdas cada uno y motor de 10hp.
- Circuito C:  
5 bancos Denver de 4 pie<sup>3</sup> auto aspirantes de 6 celdas cada uno, contracorriente con motor 10hp.

2 bancos Wemco de 60 pie<sup>3</sup> auto aspirantes de 12 celdas cada uno y motor de 10hp.

- Segunda limpieza:  
2 columnas de 72 \* 72`` 12m de altura
- Tercera limpieza:  
1 columna de 72 \* 72`` 12m de altura
- Cuarta limpieza:  
1 columna de 72 \* 72`` 12m de altura
- Quinta limpieza:  
1 columna de 72 \* 72`` 12m de altura
- Sexta limpieza:  
2 bancos Denver de 18 pie<sup>3</sup> 6 celdas cada uno, contracorriente con arreglo 3-2-1 y motor 5hp



**FIGURA 2.11**  
**Mapa proceso flotación de molibdeno**  
 Fuente: Elaboración propia basándose en Registros – 101, Mapa del Proceso, 2004

## **2.3 SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL DE EL TENIENTE**

### **2.3.1 Requisitos generales**

La División El Teniente está implementado un Sistema de Gestión de Calidad Integral en la casi totalidad de los procesos productivos y de servicios comprendidos en sus diferentes UGA/UA, sistema que abarca las dimensiones de negocio, seguridad y ambiente de la gestión de los procesos. El SGA que aquí se presenta está de acuerdo a lo descrito en el Manual de Gestión Ambiental de la División El Teniente y que describe la interacción de los diferentes componentes del SGA, como parte del Sistema de Gestión de Calidad Integral. Este Sistema de Gestión de Calidad Integral constituye la base del SGA, entregándole a éste último dos elementos fundamentales:

\*Procedimientos generales

\*Información generada por los procesos que se encuentran incorporados al sistema, que resulte relevante para el SGA.

La información generada por los procesos constituye una de las entradas al SGA, aunque no la única. En el caso particular de la identificación de aspectos ambientales, el SGA usa la información de los procesos, procediendo a su revisión, complementación y consolidación a nivel de las unidades organizacionales relevantes definidas en cada unidad.

De esta manera, el SGA ha sido diseñado para asegurar que la Gestión de los Aspectos Ambientales Significativos de la División El Teniente de CODELCO-Chile, se ajuste a los principios de su Política Ambiental, y cubra todas las actividades operacionales y administrativas de la División.

El objetivo que se busca es que el SGA provea un mecanismo estructural apropiado para el logro del mejoramiento continuo, permita un control sistemático en los niveles de desempeño ambiental de la División y entregue el apoyo necesario para dar cumplimiento a los requisitos de la norma ISO 14001 y demostrarlo con evidencias objetivas.

El SGA se describe en los puntos siguientes para cada uno de sus elementos, como pretende dar cumplimiento a los requisitos de la norma ISO 14001 y las interacciones existentes entre los distintos elementos del SGA.

### **2.3.2 Política ambiental**

La División El Teniente de CODELCO ha asumido un compromiso con el medio ambiente que se refleja en su Política Ambiental. La División El Teniente se compromete a divulgar su Política Ambiental entre todos los integrantes de la organización y mantenerla disponible al público en general. La Política será objeto de revisión periódica para mantenerla adecuada a futuros cambios de escenario que se presenten. La instancia oficial para ello es la Revisión de la Gerencia.

### **2.3.3 Planificación**

La planificación es una etapa estratégica que la organización debe formular “para cumplir su política ambiental” (ISO 14004, 1997). Según ISO 14001 esta etapa consta de los siguientes pasos:

Aspectos Ambientales, Requisitos legales y otros, Objetivos y metas, y Programa(s) de gestión ambiental.

#### **2.3.3.1 Aspectos Ambientales**

La identificación de Aspectos Ambientales de la División El Teniente CODELCO-Chile se efectúa en cada Unidad de la División, para lo cual cada Unidad define a que nivel de la organización se efectúa esta actividad. De lo anterior, una unidad puede efectuar la identificación de sus Aspectos Ambientales al nivel de Unidad, Superintendencia/Departamento, con el apoyo del Encargado Ambiental correspondiente.

Para hacer el levantamiento, se consideran como fuentes de información, entre otras:

\*\* Los aspectos ambientales pre-identificados y pre-evaluados a nivel de los procesos que forman parte de cada unidad organizacional y que han sido incorporados al Sistema de Gestión de Calidad de la División. Estos aspectos se consideran previa revisión y consolidación, para evitar redundancias y homologar criterios.

\*\* Los registros de incidentes y auditorías ambientales.

\*\*Eventuales asesorías o consultorías externas.

\*\* El conocimiento y experiencia del personal del área respectiva,

\*\*El conocimiento y experiencia del Encargado Ambiental de la Unidad.

\*\*La asesoría de la Gerencia de Riesgo, Ambiente y Calidad, cuando se solicita.

Luego de identificados los aspectos ambientales, se evalúan los impactos construyendo matrices, considerando criterios tales como frecuencia, intensidad, extensión, reversibilidad, percepción pública y marco regulatorio de los impactos asociados. El resultado de esta evaluación es un listado jerarquizado de los aspectos ambientales. A continuación, aplicando un criterio de significancia definido en el procedimiento respectivo, se obtiene una lista de “Aspectos Ambientales Significativos”, sobre los cuales se ejercen acciones de control y mejora tales como: establecimiento de procedimientos operacionales y de emergencia, monitoreo, mediciones, capacitación, etc., y se establecen los Objetivos, Metas y Programas de Gestión que sean necesarios.

Los resultados del proceso antes señalado son aprobados por el nivel directivo de cada área, el cual asume la responsabilidad de su validez y vigencia, así como de la implementación de las medidas de solución o control.

Cada Gerencia consolida su listado de aspectos ambientales significativos, los cuales sirven de base a las acciones de control y mejora, objetivos, metas y programas de alcance general de la Unidad.

La Gerencia Riesgo, Ambiente y Calidad consolida el listado de aspectos ambientales significativos de la División, el cual a su vez constituye la base de las acciones de control y mejora, objetivos, metas y programas de alcance divisional.

La identificación y evaluación de aspectos ambientales es un proceso cíclico que se realiza anualmente para la mantención actualizada del listado de aspectos ambientales significativos de cada área. Sin perjuicio de lo anterior, se puede realizar revisiones extraordinarias para considerar cambios importantes en las actividades, productos o servicios de la organización.

Los mecanismos, responsabilidades y registros a utilizar para la identificación de los aspectos ambientales de la División, se encuentran definidos en los siguientes procedimientos generales:

A) SGC-GRL-P-001 “Planificación del Proceso”, aplicable a aquellas áreas que hayan identificado e incorporado procesos al Sistema de Gestión de Calidad.

B) SGC-GRL-P-004 “Consolidación de Aspectos Ambientales”, aplicable a todas las áreas de la División.

Los mecanismos, responsabilidades y registros a utilizar para la evaluación de los aspectos ambientales, se encuentran definidos en el Procedimiento General SGC-GRL-P-002 “Evaluación de Aspectos Ambientales”, aplicable a todas las áreas de la División.

#### 2.3.3.2 Requisitos Legales y Otros

El mecanismo, las responsabilidades asociadas y los registros a utilizar en cuanto a requisitos legales y otros, se encuentran en el procedimiento general SGC-GRL-P-008 “Mantención Marco Regulatorio Ambiental Aplicable”, en el que se define una metodología para identificar, mantener actualizadas y permitir un acceso expedito a las disposiciones legales y reglamentarias que regulan los aspectos ambientales de las actividades, productos o servicios asociados a la División, así como a los compromisos voluntariamente asumidos por la organización sobre estas materias, con el fin de controlar su cumplimiento. El Marco Regulatorio así actualizado está disponible en la intranet Divisional, a cargo de la Consejería Jurídica.

#### 2.3.3.3 Objetivos y Metas

El establecimiento de Objetivos y Metas de Gestión Ambiental, es realizado considerando los principios de la Política Ambiental, los aspectos ambientales significativos, el marco regulatorio aplicable, las alternativas tecnológicas, los recursos operacionales y financieros existentes y la opinión de las partes interesadas en la materia. Los mecanismos, responsabilidades y criterios para su establecimiento, revisión y actualización, se definen en el Procedimiento General SGC-GRL-P-007 “Objetivos, Metas y Programas Consolidados de Gestión Ambiental”.

#### 2.3.3.4 Programas de Gestión Ambiental

Los Programas de Gestión Ambiental son preparados al nivel organizacional definido en cada UGA/UA.

Cada Gerente es responsable de consolidar el Programa de Gestión Ambiental de su área, y el Gerente de Gestión Seguridad, Ambiente y Calidad es responsable de consolidar el Programa de Gestión Ambiental de la División y asegurar que, en conjunto, se dé respuesta apropiada a los Objetivos y Metas Divisionales.

Tanto en los programas de las áreas como en el consolidado Divisional se indican para cada objetivo aprobado, las metas y actividades a realizar, los plazos a cumplir, el

responsable de su cumplimiento y monto de recursos a asignar (cuando sea posible), lo que se realiza anualmente en coordinación con el ciclo de presupuestación Divisional.

Los mecanismos, responsabilidades y registros para establecer estos Programas de Gestión Ambiental, están contenidos en el Procedimiento General SGC-GRL-P-007 “Objetivos, Metas y Programas Consolidados de Gestión Ambiental”.

### **2.3.4 Implementación y Operación**

Para una implementación efectiva una organización debe desarrollar las capacidades y mecanismos de apoyo necesarios para alcanzar su política, objetivos y metas ambientales.

#### **2.3.4.1 Estructura y Responsabilidad**

La estructura organizacional superior de la División se presenta de acuerdo al organigrama de la empresa. La estructura del SGA se apoya en ella, con los siguientes actores y organizaciones:

- Gerente General
- Gerentes
- Gerente Gestión Seguridad, Ambiente y Calidad
- Superintendentes
- Jefes de Departamento y Unidad
- Jefes Gestión de Seguridad, Ambiente y Calidad
- Administradores de Contratos.
- Director del Sistema de Gestión Ambiental
- Encargado Ambiental UGA/UA
- Comité de Gerencia
- Comité de Gestión UGA/UA
- Comité de Gestión Ambiental Divisional
- Todos los trabajadores

#### **2.3.4.2 Capacitación y Entrenamiento, Conocimiento y Competencia**

El Procedimiento General SGC-GRL-P-018 “Capacitación y Entrenamiento” establece las directrices para la identificación de las necesidades de capacitación y entrenamiento del personal en sus diferentes niveles jerárquicos. Este Procedimiento se hace cargo de que todo el personal cuyo trabajo pueda crear un impacto significativo en el

ambiente, reciba una capacitación ambiental que comprenda, entre otras materias, la importancia del cumplimiento de la Política Ambiental, de los procedimientos y de los requisitos del SGA.

Cada Gerente, Superintendente, Jefe de Departamento ó Jefe de Unidad es responsable de detectar las necesidades de capacitación en materias de medio ambiente de su área funcional, acorde con los requerimientos de la Política Ambiental, procedimientos e instructivos y otros temas que puedan surgir de los procesos de identificación y evaluación de aspectos ambientales, auditorías ambientales e incidentes ambientales de su área de responsabilidad.

La Gerencia Gestión Seguridad, Ambiente y Calidad y las áreas funcionales mantienen registros de las actividades de capacitación realizadas, según corresponda, cuando las actividades sean de alcance Divisional o local, respectivamente.

A los colaboradores que realizan trabajos dentro de la División, se les proporciona conocimiento sobre los procedimientos e instructivos definidos para manejar los aspectos ambientales significativos asociados a las actividades que desarrollan, para lo cual se les entrega la información correspondiente. El administrador del contrato es responsable de entregar dicha información ó, si corresponde, coordinar la capacitación y evaluar el grado de conocimiento de los colaboradores acerca de los procedimientos e instructivos del SGA aplicable a la actividad que desarrolla. También es responsable de llevar los registros que demuestran que dichos colaboradores conocen y aceptan los requisitos ambientales exigidos como condición de contratación y de la información o capacitación entregada.

#### 2.3.4.3 Comunicación

La comunicación interna entre los diversos niveles y funciones de la organización, así como la recepción, documentación y respuesta a las comunicaciones pertinentes de las partes interesadas externas se realizan de acuerdo a los lineamientos definidos en los Procedimientos Generales SGCGRL- P-005 “Comunicación Interna” y SGC-GRL-P-006 “Comunicación Externa”, respectivamente.

La comunicación se realiza en forma proactiva a través de programas de comunicación interna y externa, existiendo además mecanismos para recepcionar y responder a las preocupaciones de las partes interesadas. Estas actividades tienen como objetivo:

- Demostrar el compromiso de la organización con el medio ambiente.

- Promover el conocimiento de la Política Ambiental, los aspectos ambientales significativos y los Objetivos, Metas y Programas relacionados a ella.
- Divulgar los esfuerzos de la División El Teniente en la implementación del SGA.
- Informar a las partes interesadas internas y externas, sobre el comportamiento de la temática ambiental en la División.

#### 2.3.4.4 Documentación del Sistema de Gestión Ambiental

La documentación del SGA está formada por la Política Ambiental de la División, Manuales, Procedimientos, Registros e Instructivos, en los que se definen los principales elementos del SGA, la interacción entre ellos, los mecanismos y responsabilidades para responder a sus compromisos y las evidencias objetivas para demostrarlos.

Los principales documentos del SGA son los siguientes:

- Política Ambiental
- Manual
- Procedimiento
- Registro
- Instructivo

#### 2.3.4.5 Control de Documentos

La documentación oficial controlada del sistema está constituida por los documentos existentes en la intranet Divisional.

Los originales firmados del Manual y Procedimientos Estructurales, son archivados y custodiados por la Gerencia Gestión Seguridad, Ambiente y Calidad. Los originales firmados de procedimientos e instructivos operacionales, son archivados y custodiados por las áreas originadoras.

#### 2.3.4.6 Control de Operaciones

Una vez identificados los aspectos ambientales significativos asociados a las actividades, productos o servicios, las áreas funcionales definen, crean y mantienen los Procedimientos Operacionales necesarios para asegurar que las actividades se efectúen según los estándares correspondientes, evitando desviaciones respecto a los objetivos y metas ambientales.

Los procedimientos y requisitos pertinentes para asegurar la conformidad con el SGA, incluyen la oportuna comunicación y capacitación de los trabajadores, colaboradores y proveedores de productos y servicios de la División, respecto de las características y controles que deben tener sus actividades, productos o servicios para evitar impactos ambientales.

La elaboración o modificación de Procedimientos Operacionales se rige por el Procedimiento General SGC-GRL-P-012 “Preparación y Control de Documentos”.

#### 2.3.4.7 Preparación y Respuesta ante Situaciones de Emergencia

Cada área define, crea y mantiene sus procedimientos de emergencia específicos a las situaciones que se pueden presentar durante el desarrollo de sus actividades.

El procedimiento SGC-GRL-P-017 “Guía para elaborar Planes de Emergencia” establece la metodología para identificar eventuales emergencias y diseñar los procedimientos correspondientes.

Estos procedimientos incluyen las acciones necesarias para prevenir y responder ante la emergencia y mitigar los daños causados, las acciones de investigación para determinar las causas que la originaron, las acciones comunicacionales necesarias, la capacitación del personal relacionado con el riesgo involucrado.

Con el fin de asegurar la efectividad de estos procedimientos, anualmente cada unidad establece un programa de simulacros, para aquellas situaciones en las que resulte posible y conveniente efectuarlos. Los resultados de estos simulacros permiten introducir mejoras en los procedimientos establecidos.

Para actuar sobre los incidentes que ocurran en la División, se cuenta con el Procedimiento General SGC-GRL-P-011 “Gestión de Incidentes”, en el cual se establece la metodología a emplear en toda la organización para gestionar los incidentes que afecten o puedan afectar a las personas, los bienes, los procesos, los productos y/o el medio ambiente, considerando aspectos tales como: reporte y calificación; análisis causal y definición de acciones correctivas y/o preventivas y la implementación, seguimiento y evaluación de las acciones pertinentes.

### **2.3.5 Verificación y acción correctiva**

La organización debe medir, monitorear y evaluar su desempeño ambiental, para asegurar que esta desempeñándose en conformidad con los programas de gestión ambiental establecidos.

#### **2.3.5.1 Monitoreo y Medición**

El Procedimiento General SGC-GRL-P-009 “Monitoreo y Medición” establece los mecanismos, responsabilidades y registros para la elaboración de procedimientos o instructivos que regulen el seguimiento de las características claves de las actividades y operaciones que puedan generar impactos significativos al medio ambiente. Se incluye también en este procedimiento la definición de la responsabilidades y actividades necesarias para la calibración de los equipos de medición utilizados.

La evaluación periódica del cumplimiento del Marco Regulatorio Ambiental Aplicable se efectúa según lo establecido en el procedimiento General SGC-GRL-P-019 “Monitoreo Cumplimiento Marco Regulatorio Ambiental”.

#### **2.3.5.2 No Conformidad y Acciones Correctivas y Preventivas**

La División El Teniente contiene en la estructura de su SGA la posibilidad de detectar No Conformidades, con respecto a los requerimientos de la norma ISO 14001 y al cumplimiento de los compromisos asumidos en él. Los Procedimientos Generales SGC-GRL-P-011 “Gestión de Incidentes” y SGC-GRL-P-016 “Gestión de Hallazgos” incluyen los mecanismos y responsabilidades para establecer las causas de los incidentes registrados, así como las acciones preventivas y correctivas de estas No Conformidades. Las No Conformidades pueden surgir por auditorías internas, revisiones de cumplimiento de compromisos, procedimientos e instructivos de trabajo o de la simple observación por parte de alguno de los integrantes de la organización.

El personal a cargo del área, donde se haya registrado el incidente o detectado la No Conformidad tiene la responsabilidad de dirigir las tareas de investigación de las condiciones que dieron origen a estos hechos. Las acciones correctivas surgen a raíz de los informes y de la investigación de las causas que los generaron.

El procedimiento instruye para que las acciones correctivas y preventivas que se adopten para la eliminación de las causas de No Conformidades, reales o potenciales, tengan en

consideración la magnitud de los problemas registrados y se realicen en proporción al impacto ambiental detectado.

Las acciones preventivas o correctivas que requieran de recursos humanos y financieros se pueden incorporar, si corresponde, en los Programas de Gestión Ambiental, según el mecanismo contenido en el Procedimiento General SGC-GRL-P-007 “Objetivos, Metas y Programas Consolidados de Gestión Ambiental”.

#### 2.3.5.3 Registros

El Procedimiento General SGC-GRL-P-013 “Control de Registros” establece la metodología para la generación, distribución, mantención y disposición de los registros del SGA, con el fin de asegurar su disponibilidad como evidencias objetivas para demostrar el cumplimiento de las normativas legales, de los requisitos establecidos en la norma ISO 14001 y de los compromisos establecidos en el SGA.

#### 2.3.5.4 Auditoría del Sistema de Gestión Ambiental

Los Programas de Auditoría se definen anualmente y aseguran la revisión de todos los elementos del SGA en todas las áreas de la División en un ciclo de tres años. Los objetivos básicos de este programa son:

- Determinar si el SGA cumple con los requisitos establecidos en su implementación y verificar el cumplimiento con los requisitos de la norma ISO 14001.
- Evaluar la efectividad del Sistema de Gestión y el desempeño de las áreas de la División.
- Comunicar los resultados de la auditoría a la Gerencia General, Gerencias y Jefaturas de Área.

El Procedimiento General SGC-GRL-P-014 “Auditoría Ambiental Interna” establece las actividades, responsabilidades y registros respectivos para desarrollar adecuadamente este proceso. Los hallazgos de la Auditoría son gestionados a través del Procedimiento General SGC-GRL-P-016 “Gestión de Hallazgos”.

### **2.3.6 Revisión de la Gerencia**

La alta gerencia de la organización debe revisar en forma periódica la efectividad del SGA, considerando la necesidad de cambios a la política, objetivos y otros elementos, de acuerdo a los resultados de las auditorías, de los cambios de circunstancia y del compromiso por el mejoramiento continuo.

El Gerente General en conjunto con el Comité de Gerencia revisa el SGA como mínimo una vez al año. El objetivo de esta revisión es el de verificar el desempeño, adecuación, efectividad y mejora continua del SGA, en relación con la Política Ambiental, los objetivos planteados en cada período, los resultados de las auditorías y de las verificaciones de cumplimiento del Marco Regulatorio, los cambios en las circunstancias externas y/o internas, en particular respecto a legislación ambiental u otros compromisos, y los planteamientos de las partes interesadas.

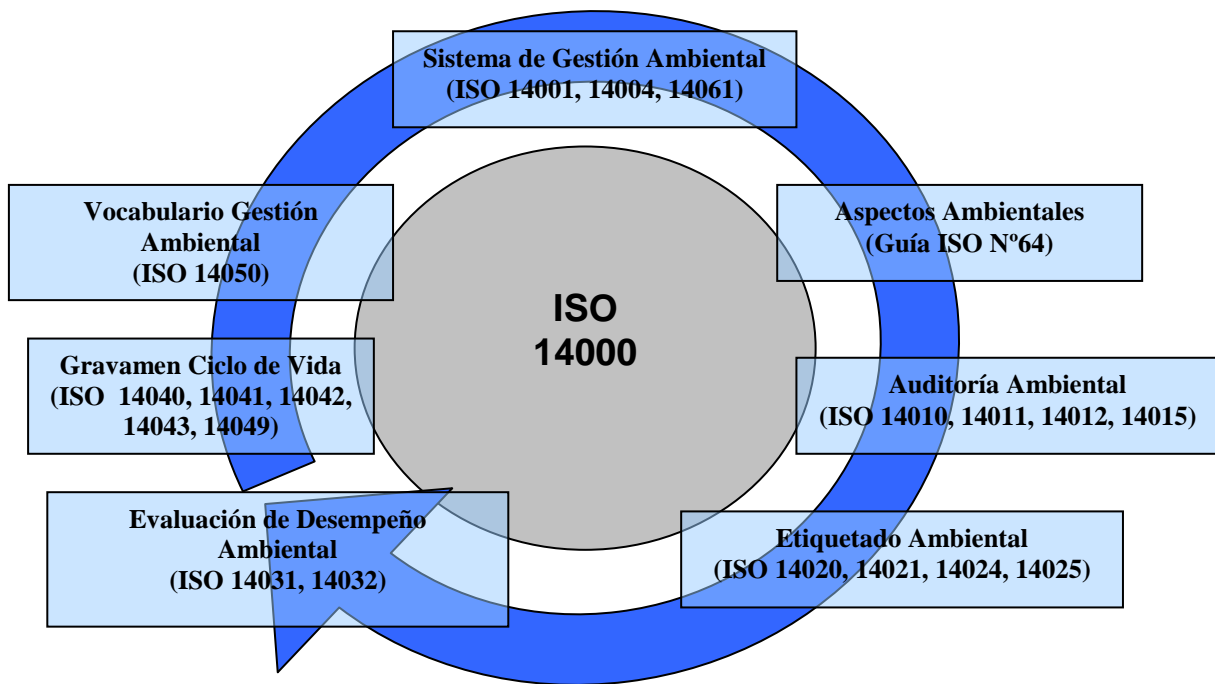
Para este efecto, el Director del SGA, con el apoyo de la Gerencia Gestión Seguridad, Ambiente y Calidad y del Comité de Gestión Ambiental Divisional, recopila, analiza y consolida la información relevante, la cual es entregada al Representante de la Gerencia, quien la expone ante el Gerente General e integrantes del Comité de Gerencia. Esta revisión puede generar cambios en la política, objetivos y otros elementos del SGA.

Los principales resultados, acuerdos y responsabilidades emanadas de esta revisión se documentan mediante una minuta o informe que es elaborado y distribuido por el Representante de la Gerencia.

## 2.4 EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO AMBIENTAL

### 2.4.1 Generalidades

Hoy en día el desempeño ambiental se ha transformado una de las muchas formas de medir los éxitos de una empresa, no solo en el contexto local, sino también a nivel internacional. La Evaluación de Desempeño Ambiental (EDA) está siendo tema de esfuerzo de ISO *International Standard Organization*, a través de la serie ISO-14000 (Fig 2.12) particularmente por ISO-14031 *Environmental Performance Evaluation Guidelines* e ISO-14032 *Examples of Environmental Performance Evaluation*.



**FIGURA 2.12**  
**Serie ISO 14000**

*Fuente: International Network for Environmental Management*

La EDA está definida en ISO 14031 como el “proceso o herramienta de gestión interna que por medio de indicadores compara el desempeño ambiental pasado y presente de una organización, con su criterio de desempeño ambiental” [6]. Los criterios de desempeño ambiental se entienden como los objetivos y metas ambientales fijados por la gestión de una organización.

En otras palabras, la EDA puede definirse como una herramienta que ayuda a una organización a comparar su actual desempeño ambiental con el desempeño ambiental fijado, lo cual es posible a través del uso de indicadores. Otra definición utilizada describe a la EDA como “una evaluación, enfocada al desempeño ambiental de una organización; un método para medir los resultados de la gestión de los aspectos ambientales de una organización, que se generan por medio de sus actividades productos o servicios” [7].

Cualquiera sea la definición, la EDA debe conducirse en forma regular por la organización; y, puesto que es un proceso en curso, es mejor que la organización establezca un sistema de control continuo para los parámetros ambientales más importantes. Por lo tanto, la EDA no debe dejarse para ser aplicada ocasionalmente. Es importante señalar que ISO 14031 describe un proceso para medir el desempeño ambiental y no es norma para la certificación, como lo es ISO 14001.

#### **2.4.2 Beneficios de la EDA**

La información generada en una Evaluación de Desempeño Ambiental puede asistir a una organización a [8, 9]:

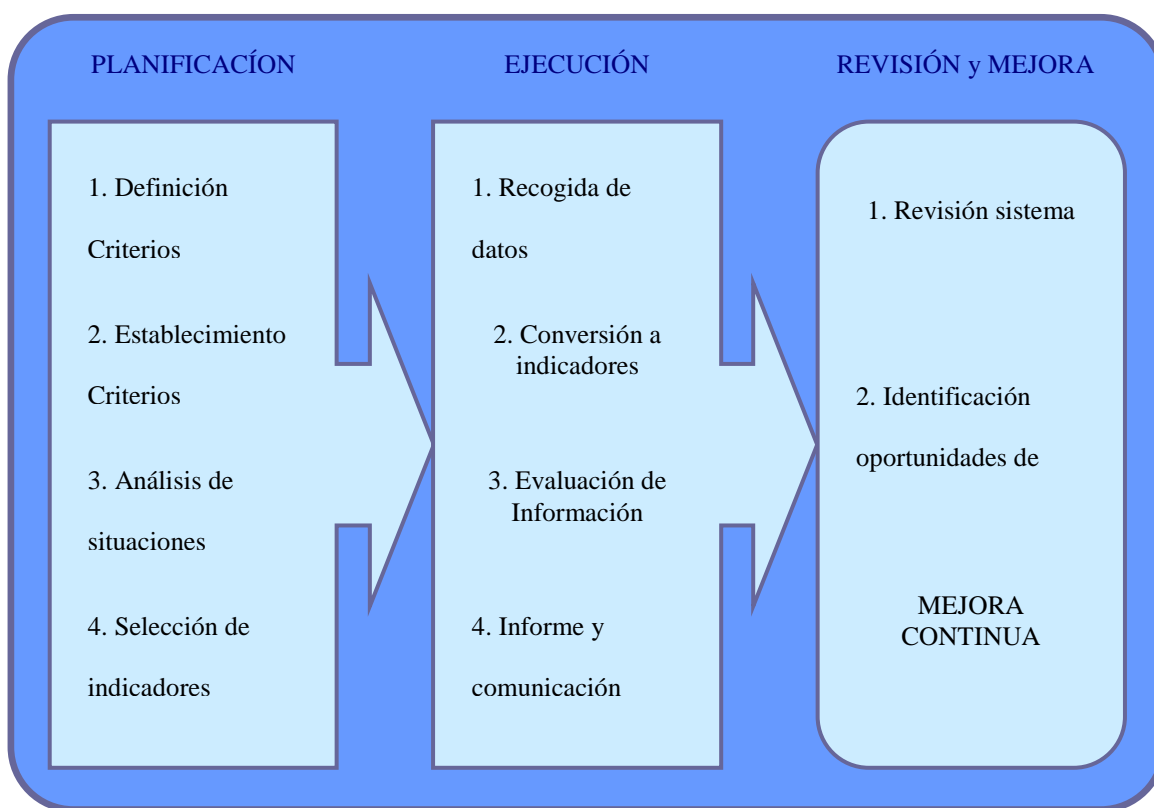
- Mejorar la calidad del medio ambiente: Motiva a la organización a reducir al mínimo los impactos y los aspectos ambientales. El desarrollo de una EDA redundará en un efecto positivo inmediato sobre el medio ambiente.
- Mejorar la eficiencia de la organización: Un resultado de la EDA se traduce en la mejora de los procesos productivos.
- Asignación apropiada de recursos: Una EDA puede proveer la información de las áreas dominantes donde los recursos requieren de una gestión para su distribución apropiada y así mejorar su funcionamiento ambiental.
- Mejorar gestión de costos: Como consecuencia de una mejor asignación de recursos, existe una mejora en el control de gastos. Una EDA puede ayudar a seguir los costos ambientales, ahorros, ganancias financieras y otros. Algunos indicadores se pueden incluso ligar a los gastos y, por lo tanto mejorar la gestión de costos.

- Determinar si se resuelven los criterios ambientales fijados: Mientras que los datos y la información se generan durante la EDA, la gerencia debe estar enterada si se están resolviendo las metas y objetivos ambientales. Con la EDA las acciones correctivas llegan a ser evidentes.
- Entender los impactos ambientales: Esta es una de las ventajas más significativas de una EDA. Si no se alcanzan, por lo menos en parte, el proceso no tiene valor. La evaluación debe proporcionar la información cualitativa y cuantitativa para comprensión de los impactos.
- Mantener condescendencia con la legislación vigente: Con una EDA una organización podrá identificar efectividad con que se resuelven los requisitos legales ambientales.
- Proveer bases para mejora continua del SGA (sistema de gestión ambiental).
- Mejorar relaciones con la comunidad y los clientes: La comunicación externa de la EDA, por lo menos en parte, puede ayudar a mejorar las relaciones con la comunidad y los cliente, pues se demuestra un interés por el tema medioambiental. Una EDA sirve como plataforma para esta comunicación y para la elaboración de informes ambientales públicos.
- Aumentar el conocimiento ambiental dentro de la organización: Mientras se desarrolla de la EDA, los resultados son transmitidos dentro de la organización. Así el nivel de conocimiento ambiental aumenta.
- Generar relaciones comerciales: Si se asume que la información del proceso de la EDA está establecida correctamente, y que otras organizaciones están dispuestas a comunicar su funcionamiento, una EDA conforma un instrumento potencial excelente para fomentar relaciones comerciales entre organizaciones.

### 2.4.3 El proceso de la EDA

El método de establecimiento de la evaluación de desempeño ambiental, definido por ISO 14031, se sustenta en el modelo de gestión “PLAN – DO – CHECK – ACT”, Planificación, Ejecución, Revisión y Acciones correctivas. FIG 2.13 [6,8].

La investigación conducida en este estudio se centra en la etapa de Planificación, puesto que se relaciona directamente con el establecimiento de los indicadores ambientales. Las otras etapas deben ser puestas en ejecución directamente por la organización una vez que se comience a utilizar los indicadores ambientales.



**FIGURA 2.13**  
**Metodología implantación EDA**

Fuente: López C, R. *Development of environmental performance indicators 1999*

#### 2.4.3.1 Planificación

El modelo establecido en ISO 14031 sugiere comenzar el proceso evaluativo con la planificación de los indicadores ambientales, una elección preliminar, en la que se deben considerar una serie de elementos referidos a continuación [6]:

- Estrategias de negocios
- Gama completa de actividades, productos y servicios
- Aspectos ambientales significativos
- Criterios y políticas ambientales de la organización
- Costos y beneficios ambientales
- Información local, regional, nacional o global del estado del medio ambiente
- Requisitos legales y otros
- Factores sociales y culturales
- Entendimiento de los puntos de vista de las partes interesadas
- Recursos humanos, físicos y financieros que necesitan una estructura organizacional.

Dependiendo de sus actividades y recursos, el alcance inicial de la EDA se puede limitar a aquellos elementos de las actividades, productos y servicios que se les ha asignado mayor prioridad. En un cierto plazo esta visión inicial se puede ampliar y tratar aquellos elementos omitidos anteriormente.

La identificación de los aspectos ambientales de una organización es una de las entradas más importantes en la planificación de una EDA, esta información se desarrolla en el contexto de un sistema de gestión ambiental. Si la organización carece de este sistema puede asistirse de la EDA para identificar los aspectos ambientales que tratará como significativos además de fijar su criterio de desempeño ambiental. En este caso una organización debe considerar [9]:

- La escala y naturaleza del material y la energía usada
- Emisiones
- Riesgos
- La calidad del medio ambiente
- La posibilidad de incidentes
- Compromisos legales y otros

Ya sea que tenga o no un sistema de gestión ambiental, una organización debe planear la EDA conjuntamente con los ajustes de su criterio y política ambiental, de modo que los indicadores seleccionados sean apropiados para describir el desempeño ambiental.

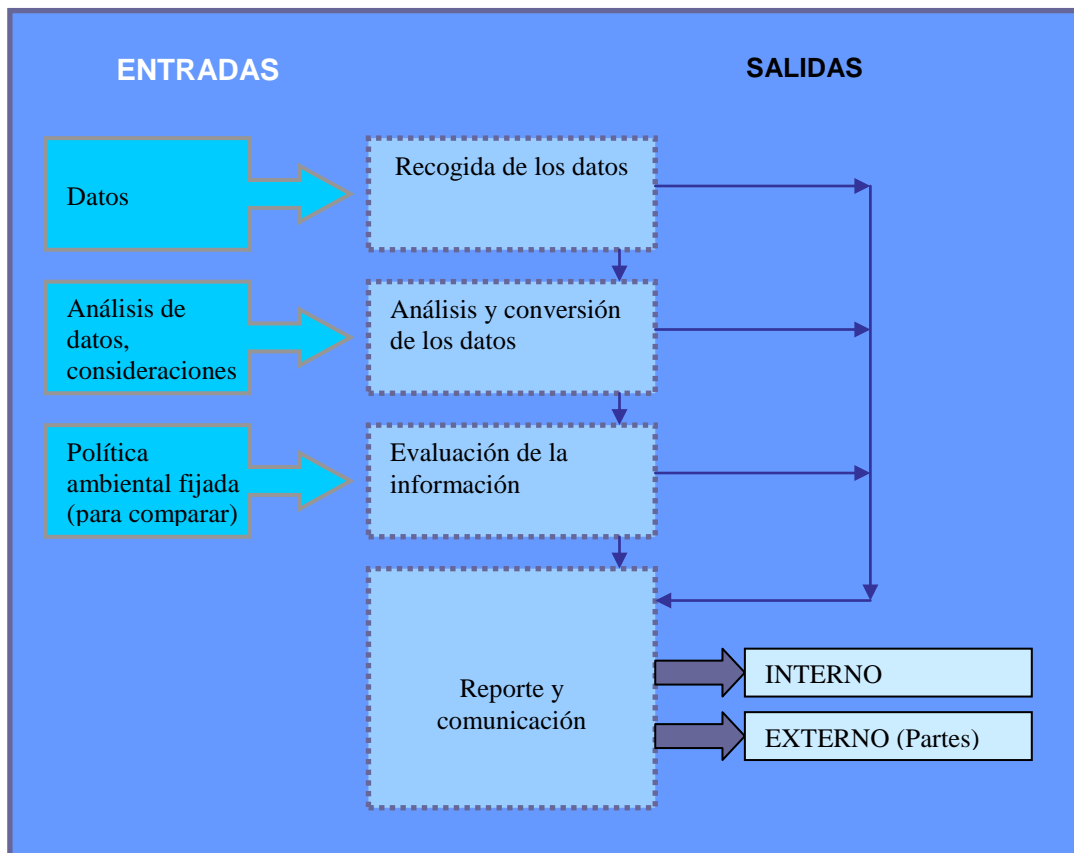
#### 2.4.3.1.1 Selección de Indicadores Ambientales

Los indicadores ambientales de la EDA deben ser seleccionados de manera que representen cuantitativa o cualitativamente y de la forma más entendible la información. Éstos ayudan a convertir datos relevantes en información concisa acerca de los esfuerzos de una organización en materia de gestión, desempeño ambiental de las operaciones y la calidad del medio ambiente. El número seleccionado de indicadores deben reflejar la naturaleza y escala de las operaciones [9].

La sección 2.4.4 se refiere ampliamente a los indicadores ambientales, desde su tipología y formas de clasificación hasta ejemplos de indicadores típicos.

#### 2.4.3.2 Ejecución, procesamiento de la información

Una vez identificados los diversos elementos, y ya preseleccionados los indicadores ambientales, el modelo de gestión de ISO 14031 sugiere una segunda fase que consiste en el procesamiento de información (Ver FIG 2.14). Así los datos recogidos conforman una entrada que nos permitirá la posterior selección final de los indicadores. Es importante establecer pautas para recoger y clasificar los datos y asegurar así su confiabilidad.



**FIGURA 2.14**  
**Procesamiento de la información**

Fuente: ISO 14031 Environmental Performance Evaluation guidelines, ISO std. 1999

#### 2.4.3.1 Recogida de los datos

Una organización debe recoger la información regularmente para que constituya una entrada representativa al proceso, la frecuencia ha de estar acorde y consistente con la planificación de la EDA.

Las fuentes de datos pueden ser: Monitoreo y medición directa, observación de reportes, inventarios, informes de contabilidad, informes ambientales, informes y estudios científicos, informes de auditorías, toda clase de registros relacionados con etapas productivas, manejo ambiental, generación y evaluación de proyectos, instructivos, investigaciones científicas internas y externas, observación, etc [9].

#### 2.4.3.2 Análisis y conversión de los datos

Una vez recogidos los datos deben ser analizados y convertidos a los parámetros fijados por los indicadores. Este análisis debe considerar calidad, validez, suficiencia y todo lo necesario para producir información confiable. La información se puede desarrollar haciendo cálculos, métodos estadísticos, técnicas gráficas, etc [8, 9].

#### 2.4.3.3 Evaluación de la información

Luego se da paso a la evaluación de la información, esta etapa consiste en la comparación de los datos generados con el criterio o política ambiental fijada. La información puede ser usada para determinar si la política ambiental implantada es adecuada o no [8].

#### 2.4.3.4 Reporte y comunicación

El reporte y comunicación de la evaluación de desempeño ambiental provee información importante acerca de los esfuerzos en materia de gestión ambiental de una organización. Estos resultados deben ser comunicados en forma interna y externa (empleados y partes interesadas respectivamente) [8].

Algunos beneficios que puede entregar esta comunicación son [9]:

- Ayuda en materialización de objetivos y metas ambientales.
- Incremento de dialogo acerca de la política, criterio y desempeño ambiental de la organización.
- Evidencia esfuerzos en política ambiental.
- Provee un mecanismo de respuesta a preocupación y preguntas acerca a los aspectos ambientales.

#### 2.4.3.3 Revisión y mejoramiento

Los resultados de una EDA deben ser periódicamente revisados a fin de identificar oportunidades de mejora. Asimismo, esta revisión, puede contribuir a generar acciones de corrección en el desempeño ambiental de la organización, que se traducen en una mejora en la calidad del medio ambiente local, regional, nacional y global [6].

Esta revisión debe direccionarse hacia:

- Costos y beneficios del programa.
- Progreso de objetivos y metas ambientales.
- Conveniencia de la política ambiental organizacional.
- Conveniencia de los indicadores de desempeño seleccionados.
- Calidad de datos y métodos de recolección.

#### 2.4.4 Indicadores ambientales

Los Indicadores Ambientales constituyen uno de los principales instrumentos de apoyo y control ambiental de una organización, ya que como se ha dicho, permiten determinar el nivel de logro de los objetivos propuestos. Más aún los Indicadores Ambientales facilitan la identificación de tendencias que experimentan los aspectos ambientales a los cuales están asociados, permitiendo tomar medidas correctivas en forma preventiva.

En Chile, todas las empresas que recientemente han implementado un sistema de gestión ambiental basado en ISO 14001 han seleccionado un conjunto de indicadores, que reflejan las metas ambientales planteadas. A pesar de ello, la mayoría de estas empresas no han incorporado un sistema de evaluación de desempeño capaz de aportar información cuantitativa y cualitativa, veraz y relevante, para apoyar el proceso de toma de decisiones en el contexto control ambiental y el mejoramiento continuo.

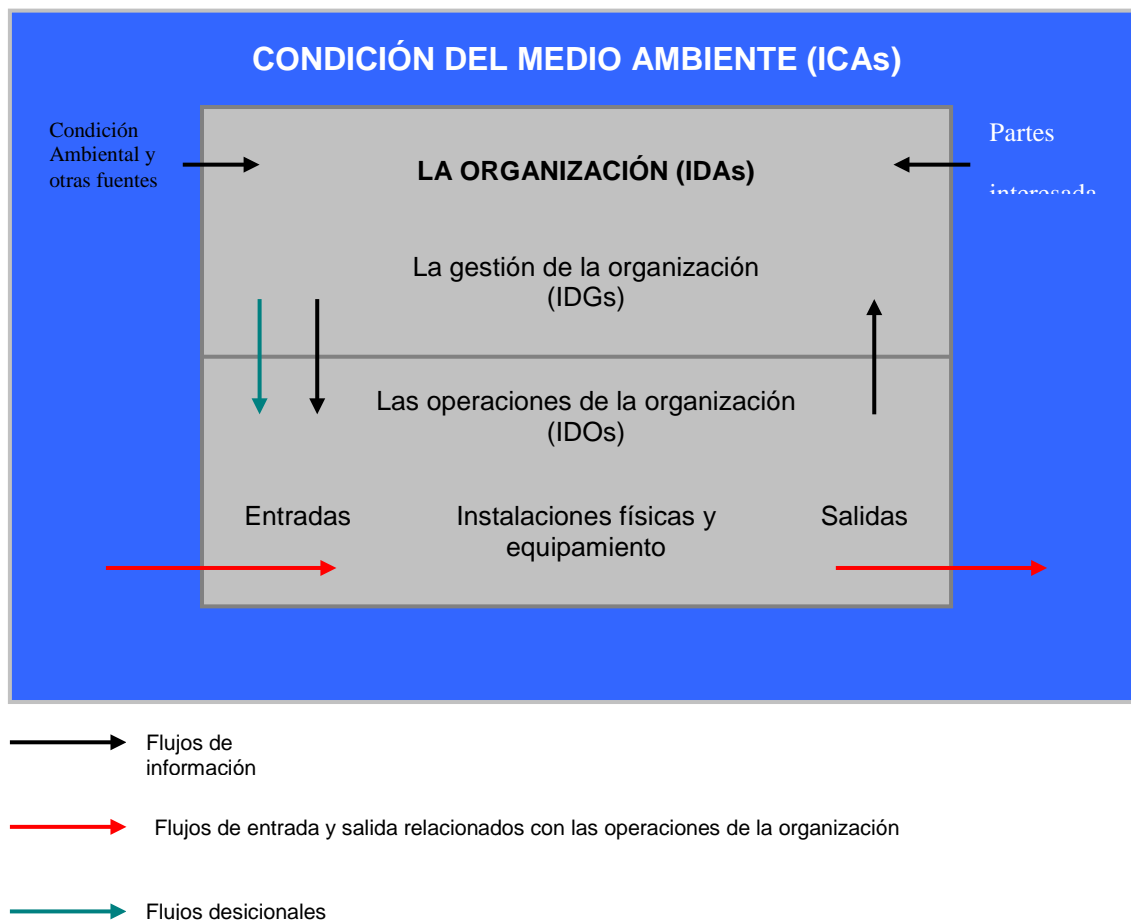
Los indicadores deben reflejar directamente las prioridades establecidas en la política ambiental de la empresa y la naturaleza de los aspectos ambientales significativos. Además, deben representar fielmente el desempeño ambiental de la organización y servir de apoyo a la toma de decisiones en mejoramiento ambiental [10].

#### 2.4.4.1 Clasificación de los indicadores

ISO 14031 propone una serie de indicadores para ser utilizados en la evaluación de desempeño ambiental los cuales se dividen en dos categorías principales: Indicadores de desempeño ambiental e indicadores de calidad ambiental (IDA e ICA respectivamente). Los Indicadores de calidad ambiental entregan información acerca de la calidad del ambiente local, regional, nacional o global. Los Indicadores de desempeño ambiental están, a su vez divididos en: Indicadores de desempeño de gestión e indicadores de desempeños operacionales (IDG e IDO respectivamente) [6].

Los Indicadores de desempeño de gestión entregan información acerca de los esfuerzos realizados en materia de gestión ambiental que influyen en el desempeño ambiental de la organización, mientras que los Indicadores de desempeño operacionales entregan información acerca del desempeño ambiental de las operaciones de la organización.

Evidentemente, hay una relación entre las operaciones de la organización y la calidad del ambiente. En la figura 2.15 se resume esta relación y se ponen en contexto los indicadores ambientales que se mencionaron previamente [7].



**FIGURA 2.15**  
**Interrelaciones entre la gestión y operaciones de una organización y el estado del Medio Ambiente**

*Fuente: Kuhre W.L. Environmental performance evaluation, 1998*

#### 2.4.4.1.1 Indicadores de Calidad Ambiental (ICA):

Como ya se ha mencionado esta clase de indicadores proveen información de la calidad del ambiente local o global. A pesar de que en muchos casos los ICA no son mediciones del impacto sobre el ambiente directamente atribuibles a la organización, algunos cambios pueden entregar información útil sobre las condiciones del ambiente y las actividades de la empresa. Permiten apoyar los esfuerzos de la organización en materias tales como [11]:

- Establecer una línea de base con respecto a la cual medir los cambios en el entorno, que puedan ser atribuibles a la organización.

- Determinar los cambios ambientales a través del tiempo con relación a un programa ambiental de largo plazo.
- Investigar posibles relaciones entre las condiciones ambientales y las actividades de la empresa.
- Identificar medidas de mitigación.
- Identificar y gestionar sus aspectos ambientales significativos.
- Evaluar la pertinencia de los criterios de desempeño ambiental
- Seleccionar los indicadores de desempeño operacionales y de gestión.

➤ Ejemplos de indicadores de calidad ambiental [10]

a) Aire

- Concentración de un contaminante específico en el aire en localidades seleccionadas.
- Temperatura ambiente en localidades a una distancia determinada de las instalaciones de la empresa.
- Niveles de opacidad en las instalaciones de la empresa
- Frecuencia de accidentes de smog fotoquímico en una área local determinada.
- Niveles de ruido ponderados en el perímetro de las instalaciones de la empresa.
- Olores medidos a una distancia específica de las instalaciones de la empresa.

b) Agua

- Concentración de un contaminante específico en aguas superficiales o subterráneas.
- Turbidez medida en un flujo adyacente a las instalaciones de la empresa, aguas arriba y aguas abajo del punto de vertido de las aguas residuales.
- Oxígeno disuelto en las aguas de entrada.
- Temperatura del agua en una zona de aguas superficiales adyacente a las instalaciones de la empresa.
- Cambio en el nivel de aguas subterráneas.
- Número de bacterias coliformes por litro de agua.

c) Suelos

- Concentración de un contaminante específico en suelos superficiales en localidades seleccionadas en el área que rodea las instalaciones de la empresa.
- Concentración de nutrientes seleccionados en suelos adyacentes a las instalaciones de la empresa.
- Área rehabilitada en una zona local determinada.
- Área dedicada a vertedero, turismo o humedales en zonas locales determinadas.
- Área pavimentada y no fértil en una zona local determinada.
- Áreas protegidas en una zona local determinada.
- Medida de la erosión del suelo profundo de una zona local determinada.

d) Flora

- Concentración de un contaminante específico en el tejido de especies de plantas determinadas halladas en el área local o regional donde se ubica la empresa.
- Evolución del rendimiento de las cosechas en los campos del área circundante.
- Población de especies de plantas determinadas a una distancia definida de las instalaciones de la empresa.
- Número total de especies de flora en un área local determinada.
- Número y variedad de las especies de cosechas en una área local determinada.
- Medida específica de la calidad del hábitat para especies determinadas en el área local.
- Medida específica de la cantidad de vegetación en un área local determinada.
- Medida específica de la calidad de vegetación en un área local determinada.

e) Fauna

- Concentración de un contaminante específico en el tejido de especies animales determinadas halladas en el área local o regional de la empresa.
- Población de determinada especie animal a determinada distancia de las instalaciones de la empresa.
- Medidas específicas de la calidad del hábitat para especies específicas en el área local.

f) Salud humana

- Datos de longevidad para poblaciones humanas específicas.
- Incidencia de enfermedades específicas, particularmente entre poblaciones vulnerables, a partir de estudios epidemiológicos en el área local o regional.
- Índice de crecimiento de la población en el área local o regional.
- Densidad de población en el área local o regional.
- Niveles de plomo en la sangre de los niños de la localidad.

g) Paisaje y cultura

- Medida de las condiciones en que se hallan las estructuras vulnerables.
- Medida de las condiciones de lugares considerados de interés natural en la vecindad de las instalaciones de la empresa.
- Medida de la integridad de la superficie de edificios históricos en la localidad.

#### 2.4.4.1.2 Indicadores de Desempeño Ambiental (IDA) [10]

Éstos se subdividen en

*1. Indicadores de Desempeño de Gestión (IDG)*

Los IDG deben evaluar los esfuerzos en gestión, decisiones y acciones para mejorar el desempeño ambiental. Deben ser seleccionados de modo que proporcionen información en materias relevantes, tales como: Capacitación, distribución y utilización eficiente de los recursos, gestión del costo ambiental, documentación, acciones correctivas y otras, que pueden afectar directa o indirecta al desempeño ambiental. Los IDG pueden ser usados para apoyar y/o verificar:

- La implementación y efectividad de los programas de mejoramiento ambiental.
- Las acciones de gestión que influyen en el desempeño ambiental de la organización.
- La capacidad de gestión ambiental de la organización, incluyendo la flexibilidad para adaptarse a los cambios, cumplir objetivos específicos o resolver problemas.
- La conformidad con los requerimientos legales y otros compromisos ambientales suscritos.

➤ Ejemplos de indicadores de desempeño de gestión [10]

a) Nivel de conformidad y cumplimiento

- Grado de cumplimiento de las regulaciones legales.
- Grado de cumplimiento de los proveedores de servicios con respecto a los requisitos y expectativas especificados por la empresa en sus contratos.
- Tiempo de respuesta o de corrección de los accidentes ambientales.
- Número de acciones correctivas resueltas y no resueltas.
- Número de (o costes atribuibles a) multas o sanciones.
- Número y frecuencia de actividades específicas (p.e. auditorías ambientales).
- Número de auditorías terminadas respecto a las que se planificaron.
- Número de aspectos detectados por las auditorías por período.
- Frecuencia de la revisión de los procedimientos operativos.
- Número de ejercicios de simulación de situaciones de emergencia realizados.
- Porcentaje de tales ejercicios que demuestran que se está preparado para tales situaciones tal como está previsto por la empresa.

b) Aplicación de políticas y programas

- Número de objetivos y metas ambientales alcanzados.
- Número de departamentos de la empresa que han alcanzado los objetivos y metas ambientales.
- Grado de aplicación de códigos específicos de gestión o de buenas prácticas ambientales.
- Número de iniciativas de prevención de la contaminación aplicadas.
- Número de niveles de dirección con responsabilidades ambientales específicas.
- Número de empleados en cuyos perfiles profesionales se incluyen requisitos ambientales.
- Número de empleados que participan en programas ambientales (p.e. sugerencias, reciclaje, iniciativas de limpieza, premios y reconocimiento, u otros)
- Número de empleados formados en relación con el número de empleados que necesita formación.
- Número de individuos contratados que han sido formados en gestión ambiental.

- Niveles de conocimiento obtenidos por los participantes en los programas de formación ambiental.
- Número de sugerencias de mejora ambiental procedentes de los empleados.
- Resultados de los exámenes a los empleados sobre su conocimiento de los pro-
- Número de proveedores y subcontratados a los que se cuestiona sobre aspectos ambientales.
- Número de proveedores de servicios contratados por la empresa que cuentan con un sistema de gestión ambiental aplicado o certificado.
- Número de productos con planes específicos de "stewardship" de producto.
- Número de productos diseñados para ser desensamblados, reciclados o reutilizados.
- Número de productos con instrucciones relativas a su uso y disposición ambientalmente seguros.

c) Indicadores financieros

- Costes (de capital y de explotación) asociados a los aspectos ambientales del producto del proceso.
- Retorno sobre las inversiones realizadas para mejoras ambientales.
- Ahorros conseguidos con reducciones en el uso de recursos, la prevención de la contaminación o el reciclaje de residuos.
- Importe de las ventas atribuible a un nuevo producto o a un subproducto diseñado para alcanzar una mejor actuación ambiental.
- Fondos de investigación y desarrollo aplicados a proyectos con significación ambiental.
- Obligaciones y responsabilidades ambientales que pueden tener un impacto material en el estatus financiero de la empresa.

d) Indicadores sociales

- Número de investigaciones o comentarios públicos realizados por la empresa sobre aspectos relacionados con el medio ambiente.
- Número de reportajes de prensa sobre la actuación ambiental de la empresa.
- Número de programas educativos sobre medio ambiente y cantidad de material educativo suministrado por la empresa para la comunidad local.

- Recursos dedicados a dar apoyo a los programas ambientales de la comunidad local.
- Número de centros de trabajo de la empresa con informes ambientales.
- Número de centros de trabajo con programas sobre la vida salvaje.
- Progreso alcanzado en las actividades de restauración ambiental local.
- Número de iniciativas locales de limpieza o reciclaje patrocinadas o auto implantadas por la empresa.
- Valoraciones positivas referidas a la actuación ambiental de la empresa por parte de los informes e investigaciones de la comunidad local.

## II. *Indicadores de desempeño operacionales (IDO)*

Los IDO entregan información sobre el desempeño ambiental de las operaciones de la organización, relacionados tanto con los recursos materiales y energéticos, como con la infraestructura y transporte [11]:

- **Entradas:** Recursos materiales (ej. Madera, astillas, insumos químicos, materiales reciclados, agua), combustibles, energía eléctrica y servicios de apoyo (ej. Aseo, seguridad, comunicaciones, alimentación, transporte, mantención).
- **Salidas:** resultantes de las operaciones de la organización (ej. Productos como celulosa, energía eléctrica a la red, papel, tableros, madera aserrada, o generación de residuos, líquidos, sólidos o energéticos)
- **Infraestructura y equipos:** diseño instalación, operación y mantención (incluyendo situaciones de emergencia y operación anormal)

### ➤ Ejemplos de indicadores de desempeño operacionales [10]

#### a) Materiales

- Cantidad de materiales usados por unidad de producto.
- Cantidad de materiales procesados, reciclados o reutilizados.
- Cantidad de materiales de embalajes desechados o reutilizados por unidad de producto.
- Cantidad de materiales auxiliares reciclados o reutilizados.
- Cantidad de materias primas reutilizadas en el proceso productivo.
- Cantidad de agua por unidad de producto.
- Cantidad de agua reutilizada.

- Cantidad de materiales peligrosos utilizados en el proceso productivo.

b) Energía

- Cantidad de energía usada por año o por unidad de producto.
- Cantidad de energía usada por servicio o por cliente.
- Cantidad de cada tipo de energía utilizada.
- Cantidad de energía generada a partir de subproductos o de flujos de proceso.
- Cantidad de unidades de energía ahorradas gracias a programas de conservación energética.

c) Servicios de apoyo a la producción

- Cantidad de materiales peligrosos utilizados por los servicios de proveedores contratados por la empresa.
- Cantidad de productos de limpieza utilizados por los servicios de proveedores contratados por la empresa.
- Cantidad de materiales reciclables y reutilizables utilizados por los servicios de proveedores contratados por la empresa.
- Cantidad y tipología de residuos generados por los servicios de proveedores contratados por la empresa.

d) Instalaciones físicas y equipo

- Número de piezas del equipo con partes diseñadas para un fácil desensamblaje, reciclaje y reutilización.
- Número de horas por año que está en funcionamiento una pieza específica del equipo.
- Número de emergencias (p.e. explosiones) u operaciones no rutinarias (p.e. interrupciones súbitas del trabajo) por año.
- Área de suelo total usada para actividades productivas.
- Área de suelo utilizada para producir una unidad de energía.
- Consumo promedio de combustible por parte de la flota de vehículos de la empresa.
- Número de vehículos en la flota con tecnología de reducción de la contaminación.
- Número de horas de mantenimiento preventivo del equipo por año.

e) Suministro y distribución

- Consumo promedio de combustible por parte de la flota de vehículos.
- Número de fletes de distribución por modalidad de transporte por año.
- Número de vehículos de la flota con tecnología de reducción de la contaminación.
- Número de viajes de empresa ahorrados gracia al uso de otros medios de comunicación.
- Número de viajes de empresa por modalidad de transporte.

f) Productos

- Número de productos colocados en el mercado con reducción de atributos peligrosos.
- Número de productos que pueden ser reutilizados o reciclados.
- Porcentaje del contenido de un producto que puede ser reutilizado o reciclado.
- Ratio de productos defectuosos.
- Número de unidades de subproductos generadas por unidad de producto.
- Número de unidades de energía consumidas durante el uso del producto.
- Duración del uso del producto.
- Número de productos con instrucciones relativas a su uso y disposición ambientalmente seguros.

g) Servicios (para empresas de servicios)

- Cantidad de productos de limpieza usada por metro cuadrado (para empresas de limpieza).
- Cantidad de consumo de combustible (para empresas de transportes).
- Cantidad de licencias vendidas para mejorar procesos (para empresas de licencia de tecnología).
- Número de incidentes de riesgo crediticio o insolvencias relacionados con temas ambientales (para empresas de servicios financieros).
- Cantidad de materiales usados durante los servicios posventa de productos

#### h) Residuos

- Cantidad de residuos por año o por unidad de producto.
- Cantidad de residuos peligrosos, reciclables o reutilizables producidos al año.
- Residuos totales que necesitan disposición (gestión final).
- Cantidad de residuos almacenados en la planta o local de la empresa.
- Cantidad de residuos que están afectados por permisos de control.
- Cantidad de residuos transformados en material reutilizable al año.
- Cantidad de residuos peligrosos eliminados debido a la sustitución de materiales.

#### i) Emisiones al aire

- Cantidad de emisiones específicas al año.
- Cantidad de emisiones específicas por unidad de producto.
- Cantidad de energía disipada emitida al aire.
- Cantidad de emisiones al aire con potencial de reducción de la capa de ozono.
- Cantidad de emisiones al aire con potencial de contribuir al cambio climático global.

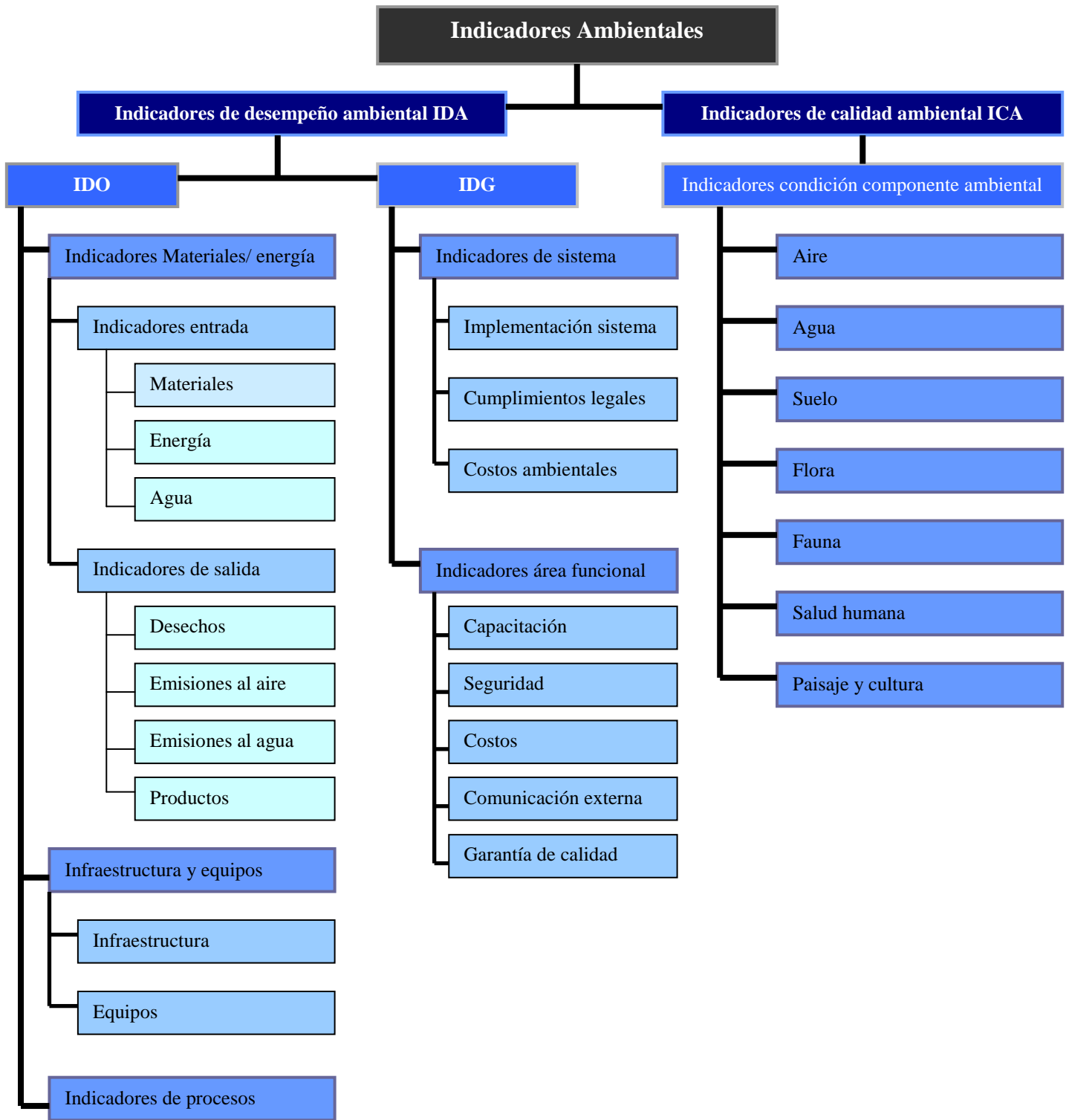
#### j) Emisiones al agua o a los suelos

- Cantidad de productos específicos vertidos al año.
- Cantidad de productos específicos vertidos al agua por unidad de producto.
- Cantidad de energía disipada emitida al agua.
- Cantidad de materiales enviados a vertedero por unidad de producto.
- Cantidad de efluente por servicio o por cliente.

#### k) Otras emisiones

- Ruidos medidos a cierta distancia.
- Cantidad de radiación emitida.
- Cantidad de calor, vibraciones o luz emitidos.

La Figura 2.16 presenta un resumen de tipos generales de ICA y IDA



**FIGURA 2.16**  
**Clasificación de Indicadores Ambientales**

Fuente: López C, R. *Development of environmental performance indicators 1999*

#### 2.4.4.2 Clasificación de indicadores según características internas [11]

Una segunda forma de describir y clasificar los indicadores ambientales de una organización, es apelar a sus características internas. Es decir, definición de la tipología a partir de la forma con que tratan la información y nos presentan los datos.

Atendiendo a este segundo criterio, los indicadores pueden ser de estos tipos:

a) *Medida en términos absolutos*

Se trata de indicadores que miden datos básicos en términos absolutos.

Ejemplos de estos indicadores son las toneladas de emisiones al año, las toneladas de residuos al año, o los litros de agua para procesos consumida al año.

Los indicadores en términos absolutos raramente miden eficazmente la eficiencia ambiental de una organización. Un descenso en las emisiones de un contaminante específico puede ser debido a la mera reducción de la producción, de ahí que siempre sean más interesantes los indicadores relativos, como el nivel de emisiones por unidad efectivamente producida.

b) *Medida en términos relativos*

Tales indicadores miden la actuación ambiental de la organización relacionando dos fuentes de información. Permiten comparar, por ejemplo, los niveles absolutos de emisión o de consumo de recursos con otros datos significativos de referencia. En estos términos, los indicadores relativos describen el uso de un recurso o el volumen de emisiones en relación con las entradas o salidas de producción.

c) *Medida en términos agregados*

Se trata de indicadores que relacionan datos o información del mismo tipo, provenientes de diferentes fuentes y que se expresan como un valor combinado; por ejemplo, toneladas totales de un contaminante dado, obtenidas mediante la suma de emisiones de múltiples fuentes del proceso involucrado en la fabricación del producto.

d) *Medida en términos ponderados*

El indicador ponderado es el resultado de una modificación de la información por aplicación de factores de ponderación relacionados a su nivel de importancia; por

ejemplo, un índice de desempeño global que sea la suma ponderada de índices correspondientes a diferentes emisiones gaseosas (emisiones como porcentaje de las emisiones en un año normal o base)

#### 2.4.4.3 Características necesarias

Es importante señalar que existe consenso respecto a que los indicadores ambientales deben poseer, al menos, las características siguientes, estos principios básicos se aplican para el establecimiento de cualquier sistema de indicadores ambientales [9]:

- **Comparabilidad:**

Los indicadores deben permitir que se hagan comparaciones y deben reflejar cambios de impactos medioambientales. Estas comparaciones se están llevando a cabo cada vez en mayor medida por medio de indicadores de la gestión de una organización, este proceso se conoce como Benchmarking (evaluación corporativa). Habitualmente los propios indicadores de la empresa con los valores estándares o los de otra empresa relacionada y ejemplares. Lo mismo se puede hacer mediante los indicadores ambientales de una organización.

- **Orientación a la meta:**

Los indicadores ambientales seleccionados deberían perseguir metas de mejora en las que la empresa pueda influir. Los indicadores deben ayudar a cumplir los objetivos y metas del programa de gestión ambiental de la empresa.

- **Equilibrio:**

Los indicadores ambientales deben representar el desempeño con tanta precisión y exactitud como sea posible y proporcionar una visión equilibrada de las áreas medioambientalmente problemáticas o críticas, así como de los potenciales de mejora.

- Continuidad:

Para comparar indicadores es esencial que estén establecidos con los mismo criterios de recopilación de datos en cada período, que se refieran a intervalos comparables, y que se midan en unidades comparables, es decir dando prioridad a valores relativos por sobre absolutos.

- Periodicidad:

Los indicadores se deben determinar a intervalos suficientemente cortos (p. ej., mensualmente, trimestralmente, anualmente) a fin de tener la oportunidad de perseguir e influir activamente en la consecución de los valores establecidos como meta y evitar la utilización de material obsoleto.

- Claridad:

Los indicadores deben ser claros y comprensibles para todo tipo de usuario y corresponder a las exigencias de información del mismo. El sistema, por lo tanto, debe ser coherente y centrarse en datos esenciales.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 ANÁLISIS ENTRADAS - SALIDAS

A continuación se presenta el análisis Entradas – Salidas para el proceso de concentrado de cobre (ver Tabla 3.1), del cual se puede observar lo siguiente, en relación con los flujos de materiales y energía:

- La Energía eléctrica constituye una de las entradas más significativas en la totalidad del proceso de concentrado de cobre, siendo más importante en la molienda convencional y en la Molienda semiautógena SAG.
- El agua es otra de las entradas importantes en el proceso, específicamente en la molienda convencional y en la molienda semiautógena SAG.
- Los combustibles son consumidos principalmente en la etapa de secado y, en menor medida por chancado.
- El material particulado es generado en la mayoría de las etapas del proceso, especialmente en la etapa de chancado secundario y terciario,.
- A partir del proceso se generan grandes cantidades de RISEs, donde destacan la chatarra de fierro y los elementos de desecho en general. Siendo su disposición y acopio uno de los principales problemas divisionales en materia ambiental
- Asimismo, el ruido conforma una de las salidas más importantes.
- Se generan, también altas cantidades de RILes conformados principalmente por relaves, reactivos desechados, agua contaminada, aceites usados, etc.

**TABLA 3.1**

**Entradas – Salidas principales procesos concentrado de cobre**

<b>Entradas</b>	<b>Proceso</b>	<b>Salidas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Mineral</li> <li>⇒ Material no triturable</li> <li>⇒ Energía eléctrica</li> <li>⇒ Agua</li> <li>⇒ Aire comprimido</li> <li>⇒ Mallas</li> <li>⇒ Paneles</li> <li>⇒ Colpas</li> <li>⇒ Detonadores</li> <li>⇒ Aceite</li> <li>⇒ Combustible (petróleo)</li> </ul>	<p>1. Chancado secundario y terciario</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Mineral</li> <li>⇒ Material no triturable</li> <li>⇒ Material particulado</li> <li>⇒ Ruido</li> <li>⇒ Energía calórica</li> <li>⇒ Vibración</li> <li>⇒ Colpa fracturada</li> <li>⇒ Onda expansiva</li> <li>⇒ Gases mal combustionados</li> <li>⇒ RISes</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Mineral</li> <li>⇒ Energía eléctrica</li> <li>⇒ Agua recuperada y fresca</li> <li>⇒ Bolas de acero 3", 5" y 6" de diámetro</li> <li>⇒ Aire</li> <li>⇒ Aceite</li> <li>⇒ Grasa</li> <li>⇒ Fluido lubricante</li> <li>⇒ Lechada de Cal</li> <li>⇒ Reactivos</li> <li>⇒ Limpiadores y lubricantes en aerosol</li> <li>⇒ Paños de limpieza</li> <li>⇒ Insumos de reposición eléctricos</li> <li>⇒ Repuestos</li> </ul>	<p>2. Molienda semiautógena SAG, reducción por molino de bolas y clasificación en ciclones</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Pulpa de mineral molido 0,75" a 1,5"</li> <li>⇒ Pulpa</li> <li>⇒ Material particulado</li> <li>⇒ Ruido</li> <li>⇒ Energía calórica</li> <li>⇒ Chatarra de fierro</li> <li>⇒ Rechazo de bolas</li> <li>⇒ Gomas</li> <li>⇒ Gases</li> <li>⇒ Aceite usado</li> <li>⇒ Instrumentos y elementos en mal estado</li> <li>⇒ Cables eléctricos usados</li> <li>⇒ Recipientes de limpiadores</li> <li>⇒ Restos de plásticos</li> <li>⇒ Válvulas de desecho</li> <li>⇒ Cañerías de desecho</li> <li>⇒ Paños de limpieza</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Pebbles</li> <li>⇒ Energía eléctrica</li> <li>⇒ Aire comprimido</li> <li>⇒ Aceite lubricante</li> </ul>	<p>3. Chancado de Pebbles</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Pebbles chancados</li> <li>⇒ Material particulado</li> <li>⇒ Ruido</li> <li>⇒ Chatarra de fierro</li> <li>⇒ Gases</li> <li>⇒ Aceite de desecho</li> <li>⇒ Energía calórica</li> </ul>

**TABLA 3.1 (Continuación)**

**Entradas – Salidas principales procesos concentrado de cobre**

<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Mineral</li> <li>⇒ Energía eléctrica</li> <li>⇒ Agua recuperada y fresca</li> <li>⇒ Bolas de acero 3,5" de diámetro</li> <li>⇒ Reactivos: Colectores de Cu-Mo, modificador de pH (Ca)</li> <li>⇒ Mangueras</li> <li>⇒ Paños de limpieza</li> <li>⇒ Insumos eléctricos</li> </ul>	<p>4. Molienda convencional y clasificación por ciclones</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Pulpa</li> <li>⇒ Material particulado</li> <li>⇒ Ruido</li> <li>⇒ Gases</li> <li>⇒ Vibración</li> <li>⇒ Reactivos de desecho</li> <li>⇒ Mangueras de desecho</li> <li>⇒ Paños de limpieza</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Pulpa</li> <li>⇒ Energía eléctrica</li> <li>⇒ Reactivos</li> </ul>	<p>5. Flotación Rougher</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Pulpa</li> <li>⇒ Ruido</li> <li>⇒ Aceite</li> <li>⇒ Grasas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Mineral</li> <li>⇒ Bolas de acero 1" de diámetro</li> <li>⇒ Reactivos</li> </ul>	<p>6. Clasificación y remolienda de concentrados</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Pulpa</li> <li>⇒ Ruido</li> <li>⇒ Cal</li> <li>⇒ Vibración</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Pulpa</li> <li>⇒ Energía eléctrica</li> <li>⇒ Reactivos</li> <li>⇒ Bolas de acero 1" de diámetro</li> <li>⇒ Agua recuperada, fresca y de sello</li> <li>⇒ Paños de limpieza</li> </ul>	<p>7. Espesamiento, remolienda y tratamiento de relaves</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Concentrados</li> <li>⇒ Relaves</li> <li>⇒ Vapores de pulpa</li> <li>⇒ Ruido</li> <li>⇒ Vibración</li> <li>⇒ Paños de limpieza usados</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Pulpa</li> <li>⇒ Energía eléctrica</li> <li>⇒ Agua fresca, recuperada y de rebose</li> <li>⇒ Reactivo: floculante</li> <li>⇒ Telas</li> <li>⇒ Mangueras</li> <li>⇒ Aire comprimido</li> <li>⇒ Petróleo enap-6</li> <li>⇒ Aceite hidráulico</li> <li>⇒ Gas licuado</li> <li>⇒ grasa</li> </ul>	<p>8. Filtrado y secado</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Concentrado seco</li> <li>⇒ Vapor</li> <li>⇒ Agua rebose</li> <li>⇒ Agua lavado de telas</li> <li>⇒ Polvo de concentrado</li> <li>⇒ Líquidos filtrados</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Relaves</li> <li>⇒ Hormigón</li> <li>⇒ Maderas pernos</li> <li>⇒ Clavos</li> <li>⇒ Fierro</li> <li>⇒ Aceite</li> <li>⇒ Agua de sello</li> <li>⇒ Energía eléctrica</li> <li>⇒ Aire comprimido</li> <li>⇒ Insumos eléctricos</li> <li>⇒ Reactivos: Floculante</li> </ul>	<p>8. Conducción relaves y recuperación de agua</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Residuo industrial líquido: Relaves</li> <li>⇒ Madera</li> <li>⇒ Chatarra</li> <li>⇒ Escombros</li> <li>⇒ Agua recuperada</li> <li>⇒ Insumos eléctricos de desecho</li> </ul>

A continuación se presenta el análisis Entradas – Salidas para las principales fases auxiliares y de subproductos del proceso (ver Tabla 3.2). En relación a esto se observa lo siguiente:

- Al igual que el proceso de concentrado de cobre, éstas fases son grandes consumidores de energía eléctrica y agua.
- Se debe considerar, en estos procesos, el consumo de combustibles como aspecto ambiental significativo.
- Gran descarga de RILes: por filtraciones, derrames, remanentes, desecho, etc.

**TABLA 3.2**

**Análisis Entradas – Salidas etapas auxiliares subproductos del proceso**

Entradas	Proceso	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Reactivos: Ácido sulfúrico, SF-758, S-8809, DF-1012, AP-76°, SF- 574, Cal viva, AP-3758, MIBC, AP-343, AF-76-A, SF-133, AX-343, Pentasulfuro, floculante, kerosene, soda caústica, sulfhidrato, carbón activado</li> <li>⇒ Energía eléctrica</li> <li>⇒ Agua fresca, recuperada e industrial</li> <li>⇒ Aire comprimido</li> <li>⇒ Aceite</li> <li>⇒ Grasa</li> <li>⇒ Papeles</li> </ul>	<p>1. Planta de reactivos y cal</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Insumo identificado</li> <li>⇒ Tambores plásticos</li> <li>⇒ Maxibag</li> <li>⇒ Desechos de lastre</li> <li>⇒ RILes: Agua lavado bombas, cortadores, frascos, limpieza general</li> <li>⇒ Aguas servidas</li> <li>⇒ Papeles y cartones</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Pulpa de Cu y Mo</li> <li>⇒ Aire comprimido</li> <li>⇒ Agua fresca, de filtrado</li> <li>⇒ Reactivos: floculante, carbón activado, ácido sulfúrico, kerosene, depresante LR-744, diesel oil</li> <li>⇒ Energía eléctrica</li> <li>⇒ Lubricantes</li> <li>⇒ Vapor</li> <li>⇒ Bolsas de polietileno</li> <li>⇒ Cilindros de Nitrógeno</li> <li>⇒ Telas filtrantes</li> <li>⇒ Etiquetas</li> <li>⇒ mangueras</li> <li>⇒ Radiación</li> <li>⇒ Bladder</li> <li>⇒ cañerías</li> <li>⇒ Maxibags</li> </ul>	<p>2. Flotación de molibdenita: espesamiento, flotación convencional y columnar, filtrado, envasado y clasificación</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Maxibags con concentrado de molibdeno</li> <li>⇒ Chatarra</li> <li>⇒ Material en desuso</li> <li>⇒ Viruta plástica contaminada</li> <li>⇒ Aguas de lavado</li> <li>⇒ Paños de limpieza</li> <li>⇒ Remanentes de pulpas y reactivos</li> <li>⇒ Tambores</li> <li>⇒ Contenedores</li> <li>⇒ Gases</li> <li>⇒ Energía calórica</li> <li>⇒ Material particulado</li> <li>⇒ Aguas servidas</li> <li>⇒ Maxibags rechazados</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Aguas ácidas mina</li> <li>⇒ Agua fresca</li> <li>⇒ Reactivos: solución ácida, floculante, reactivo orgánico, ácido sulfúrico, extractante, sulfato de cobalto, cloruro de sodio</li> <li>⇒ Energía eléctrica</li> <li>⇒ Aire comprimido</li> <li>⇒ Diluyente</li> <li>⇒ Petróleo diesel</li> <li>⇒ Electrolito</li> <li>⇒ Refino</li> <li>⇒ Esferas plásticas</li> <li>⇒ Ánodos de plomo</li> <li>⇒ Hojas iniciales</li> <li>⇒ Zunchos y sellos</li> </ul>	<p>3. Hidrometalurgia: extracción por solvente, stripping, after setter, electroobtención y tratamiento reactivo orgánico</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Electrolito</li> <li>⇒ Lodos</li> <li>⇒ Soluciones de lavado</li> <li>⇒ Maderas</li> <li>⇒ Chatarras</li> <li>⇒ Contenedores vacíos y con extractante</li> <li>⇒ Reactivo orgánico</li> <li>⇒ Gases: neblina ácida</li> <li>⇒ Bolsas sal, sulfato de cobalto, y de floculante</li> <li>⇒ SCRAP despunte de láminas</li> <li>⇒ Borra anódica de plomo</li> <li>⇒ Láminas laterales</li> <li>⇒ Esferas</li> </ul>

Fuente: R-102 Componentes del proceso

### 3.2 EVALUACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES

La evaluación de los aspectos ambientales se presenta en la tabla 3.3, éstos son: Generación y disposición de RISEs, consumo de recursos hídricos, energía eléctrica y combustibles, generación y disposición de RILes, emisión de material particulado, y generación de ruido.

**TABLA 3.3**  
**Matriz de evaluación de aspectos ambientales**

Aspecto Ambiental	F	I	E	R	P	L	Consecuencia	Magnitud	Significativo
Generación y descarga de RILes	4	3	3	1	3	5	15	60	SI
Cosumo Recurso Hídrico	4	1	3	3	2	3	12	48	SI
Consumo Energía Eléctrica	4	1	3	3	2	3	12	48	SI
Generación y disposición de RISEs	4	2	1	2	2	3	10	40	SI
Consumo de Combustibles	4	1	1	3	1	3	9	36	SI
Emisión Material Particulado	3	2	2	1	1	5	11	33	SI
Emisión de Ruido	3	1	1	2	1	3	8	24	NO

*Fuente: elaboración propia*

### 3.3 ASPECTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS

#### 3.3.1 Generación y descarga de RILes

Los relaves producidos en las plantas concentradoras de cobre han sido depositados en distintos embalses a través de los años de operación de la Mina. Los primeros depósitos corresponden a los tranques Arenas y Marga, construidos por Braden Cooper Co. Al inicio de la operación del mineral y se encuentran en el área alta de la cuenca del Río Coya [3]. Estos depósitos se encuentran en una etapa de cierre parcial.

Los primeros depósitos construidos por la División El Teniente se encuentran ubicados en las cercanías de la plantan concentradora de Colón y el último, aproximadamente a 80km de este lugar. A la fecha se han construido 4 depósitos de relaves: Embalse Barahona cubeta 1, Barahona cubeta 2, Cauquenes, Colihues y Carén [16].

Actualmente todos los tranques de la División, a excepción del tranque Carén que se encuentra en operación continua, presentan su capacidad agotada o disminuida al mínimo, salvo el embalse Colihues que podría almacenar relaves a los niveles de

producción actual, durante 7 meses, y el embalse Barahona que podría operar por algunos días [16]. Por esta razón, el aspecto ambiental relacionado con la descarga de RILes queda acotado a la situación presente en el tranque Carén y las filtraciones presentes en los tranque Colihues y Cauquenes las cuales se tratarán en lo que sigue.

El principal problema ambiental asociado al tranque Carén y a la División EL Teniente tiene relación con la calidad de las aguas que son descargadas hacia el estero Carén previa junta con el estero Alhué. Estas aguas presentan altos contenidos de Sulfato y Molibdeno, principalmente.

Bajo el nuevo marco regulatorio que regirá a partir de Septiembre del 2006, para las emisiones del tranque hacia el estero Carén, que entra en su fase de Consulta Pública el 15 de Mayo de 2004 y que regula los parámetros Sulfato y Molibdeno. Se contempla controlar dicho efluente con concentraciones máximas permitidas de 2000 ppm y 1,6 ppm para el Sulfato y Molibdeno respectivamente, promedio anual.

El efluente presenta el siguiente registro histórico (ver Tabla 3.4 y 3.5, figuras 3.1 y 3.2), correspondiente al período 1990 – 2003 del cual se puede observar:

- El Sulfato, en promedio, a llegado a 2080 ppm y el Molibdeno a 2,5 ppm. [17].
- Se observa una clara tendencia a variaciones estacionales, con diferencias en períodos seco (Octubre - Marzo) y húmedo (Abril – Septiembre). Marcando para Sulfato un valor promedio histórico de 1734 ppm para Período Seco, con valores máximos cercanos a 2080 ppm y 1604 ppm para período húmedo. Para el Molibdeno se marcan valores promedio histórico de 1,6 ppm para período seco y 1,5 ppm para período húmedo, dándose valores máximos cercanos a 2.5 ppm.
- El Sulfato presenta valores promedio semanales entre 1100ppm y 2100 ppm, encontrándose máximos cercanos a 2300 ppm, situación que ocurre en los períodos estivales.
- EL Molibdeno presenta valores promedios semanales entre 1 y 2,2, encontrándose máximos cercanos a 3 ppm.
- El pH presenta un rango de valores entre 7 y 9.
- El caudal presenta valores promedio de 1,8 y 3,5 m<sup>3</sup>/s para períodos seco y húmedo respectivamente.

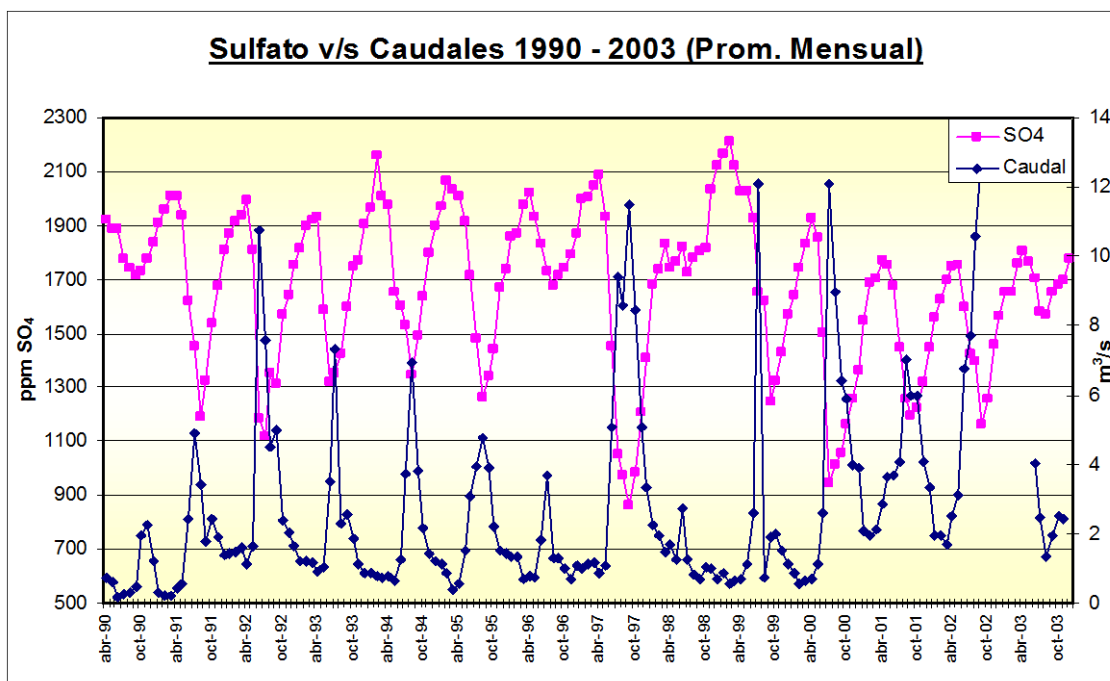
- Las concentraciones altas de Sulfato para los períodos secos según promedio de período tienen relación con dos factores:
  - Altas concentraciones de Na y K
  - Bajos caudales, propios de un año de baja pluviometría.

**TABLA 3.4**

**Registro histórico 1990 - 2003 efluente Carén para Sulfato, Molibdeno y pH**

Parámetro evaluado	Tipo de registro	Promedio Semanal	Promedio Mensual	Promedio P. Seco	Promedio P. Húmedo
<b>Sulfato ppm</b>	Rango	1000 – 2300	1000 – 2100	1500 – 2080	1400 – 1870
	Promedio	1671	1671	1734	1604
<b>Molibdeno ppm</b>	Rango	1 – 3	0,5 – 2,7	1,2 – 2,5	1,0 – 2,4
	Promedio	1,6	1,6	1,6	1,5
<b>pH</b>	Rango	7,0 – 9,5	7,2 – 9,0	7,5 – 8,8	7,2 – 8,8
	Promedio	8,2	8,2	8,2	8,2

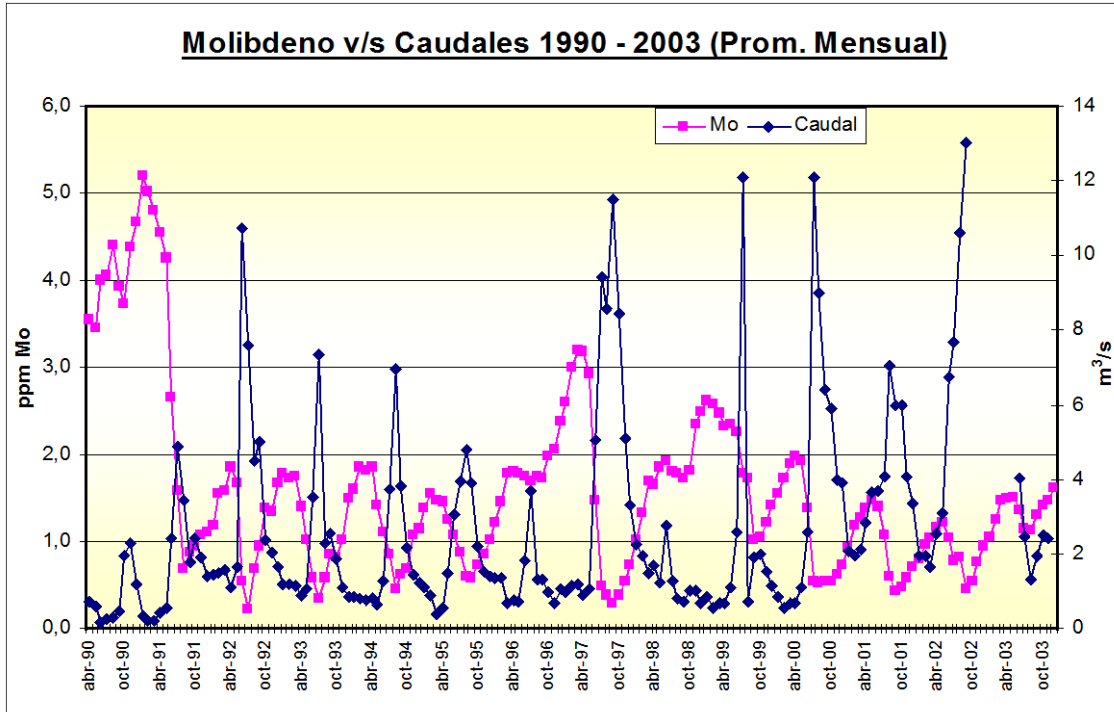
Fuente: Estudio para el cumplimiento norma de emisión efluentes estero Carén



**FIGURA 3.1**

**Sulfato v/s Caudales 1990 – 2003, promedio mensual**

Fuente: Estudio para el cumplimiento norma de emisión efluentes estero Carén



**FIGURA 3.2**

**Molibdeno v/s Caudales 1990 – 2003, promedio mensual**

*Fuente: Estudio para el cumplimiento norma de emisión efluentes estero Carén*

Además, el efluente presenta otros parámetros característicos, sodio, calcio, potasio y la conductividad, que si bien no son significativos ambientalmente merecen mención. En la tabla 3.5 se expone el registro histórico, 1992 – 2003 para dichos parámetros: [17]

**TABLA 3.5****Registro histórico 1992 – 2003 efluente Carén, para Na, K, Ca y Cond.**

Promedio	Na ppm	Ca ppm	K ppm	Cond mS/cm
1992	37	586	51	2068
1993	47	614	63	2145
1994	39	630	54	1983
1995	53	657	69	2604
1996	59	703	73	2673
1997	53	574	61	2318
1998	57	698	73	2670
1999	68	651	83	2745
2000	44	572	57	2333
2001	37	593	49	2223
2002	35	595	45	2346
2003	51	694	62	2375
Promedio	48	630	62	2373
Máximo	68	703	83	2745

*Fuente: Estudio para el cumplimiento norma de emisión efluentes estero Carén*

Asimismo, y como se ha señalado anteriormente, el aspecto ambiental relacionado con los residuos industriales líquidos también se manifiesta a través del problema de filtraciones en los tranques Colihues y Cauquenes.

El tranque Cauquenes presenta problemas de generación de aguas de drenaje con características ácidas y altos contenidos de cobre. Desde los drenes de los muros 1 y 3 se generan filtraciones debido principalmente a las precipitaciones y a las aguas lluvias de las quebradas que descargan al embalse, ya que este embalse no tiene espejo de agua y su superficie se encuentra seca. Esta agua de drenaje presenta altos contenidos de cobre (57Mg/l en el muro 1) y pH ácido (5 en el muro 1). Las filtraciones del muro 1 son captadas y enviadas mediante bombeo al embalse Colihues. Las filtraciones del muro 3 son muy pequeñas y se descargan al valle agrícola del sector de Requinoa [16].

Respecto al potencial de generación ácida, no se ha estudiado ni evaluado para este tranque. Dadas las características climáticas del área, con precipitaciones importantes y las características ácidas de los relaves, se estima que podría generarse ácido. Por otra parte, las características de acidez que presentan las aguas de drenaje del tranque actualmente, se podrían deber principalmente al lavado de los relaves ácidos descargados, por percolación del agua lluvia y de los aportes de las quebradas.

El tranque Colihues presenta drenaje desde el muro B donde se generan aguas de características físico-químicas que sobrepasan los valores máximos permitidos de sulfato (1320mg/l) en la norma de descarga de RILes de la Superintendencia de servicios sanitarios (1000mg/l). Las aguas del dren del muro A muestran valores de concentración menores a las del muro B y actualmente son descargadas a la canal de relaves [16].

### **3.3.2 Generación y disposición de Rises**

Los Residuos Industriales Sólidos son desechos o residuos sólidos o semisólidos resultantes de cualquier proceso industrial que no son reutilizados, recuperados o reciclados en el mismo establecimiento industrial. Según el D.S. 594/99 del Ministerio de Salud los residuos industriales son aquellos residuos sólidos o líquidos, o combinaciones de éstos, provenientes de los procesos industriales y que por sus características físicas, químicas o microbiológicas no puedan asimilarse a los residuos domésticos. En esta definición también se incluyen los residuos o productos de descarte, sean éstos líquidos o gaseosos. El carácter de desecho sólido de estos residuos lo aporta el contenedor o recipiente que los contiene [18].

Como se advierte en el análisis de entradas y salidas la generación de Residuos Industriales Sólidos constituye uno de los más importantes aspectos ambientales de la Gerencia de Plantas y por ende de la División El Teniente.

Todos los Rises generados en el proceso son gestionados de acuerdo a un plan específico de gestión, que incluye un sistema de declaración y seguimiento. Para ello su manejo debe considerar la segregación de origen, de acuerdo a sus características de peligrosidad y posibilidades de comercialización. Las especificaciones generales de segregación de residuos se indican en la tabla 3.6:

**TABLA 3.6**  
**Clasificación de Rises**

<b>Clase</b>	<b>NPC</b> residuos no peligrosos comercializables	<b>NPNC</b> Residuos no peligrosos no comercializables	<b>PC</b> Residuos peligrosos comercializables	<b>PNC</b> Residuos peligrosos no comercializables	<b>ND</b> No definidos
<b>Ejemplos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cobre</li> <li>- Bronce</li> <li>- Acero dulce</li> <li>- Acero especial</li> <li>- Acero inoxidable</li> <li>- Fierro fundido</li> <li>- Cables de Acero</li> <li>- Papeles</li> <li>- Cartones</li> <li>- Maderas</li> <li>- Tambores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plásticos</li> <li>- Artefactos</li> <li>- Arcilla, bentonita</li> <li>- Escombros</li> <li>- Ladrillos refractarios</li> <li>- Cerámicas</li> <li>- Gomas</li> <li>- Elementos de protección personal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baterías</li> <li>- Aceites usados</li> <li>- Cilindros de Gases a presión</li> <li>- Tambores contaminados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vidrios</li> <li>- Asbestos</li> <li>- Fibra de vidrio</li> <li>- Tierra contaminada</li> <li>- Gomas contaminadas</li> <li>- Químicos</li> <li>- Textiles contaminados</li> <li>- Repuestos contaminados</li> </ul>	

*Fuente: SGC-GRL-SSU-P-001, Gestión de Rises*

Durante el 2003 se gestionaron más de 24 mil toneladas de Rises en la División El Teniente, a través de un total de 138 centros generadores, de los cuales 15 son aporte de la Gerencia de Plantas. En la tabla 3.7 se presenta en detalle el catastro de Rises gestionados a partir de todos los centros generadores de la División: [19]

**TABLA 3.7**  
**Catastro de Rises División El Teniente**

N°	TIPO RESIDUO	CANTIDADES (ton/año)					TOTAL
		PC	PNC	NPC	NPNC	ND	
1.	Tambores Metálicos	127	1,6	2,3	72	0	202,9
2.	Tambores Plásticos	0	0,3	5,6	0	0	5,9
3.	Aceites Usados	524,3	134,8	13,2	9	0	681,3
4.	Domésticos Peligrosos	15,5	0,5	0	0	0,4	16,4
5.	Cilindros de Gases a Presión	34,1	7,7	0	0	0	41,8
6.	Asbesto	0	1	0	0	0	1
7.	Elementos de Protección Personal	0	2,4	0	62,5	0	64,9
8.	Escombros de Construcción	0	12	0	679,7	0	691,7
9.	<b>Gomas</b>						
9.1	Correas de transmisión	0	0	0	4,7	0	4,7
9.2	Correas transportadoras	0	0	0	104,5	0	104,5
9.3	Lainas de goma	0	0	0	88,1	0	88,1
9.4	Mangueras de goma	0	4,3	0	17,6	0	21,9
9.5	Neumáticos mayores	0	0	0	28	0	28
9.6	Neumáticos menores	0	0	0	4,1	0	4,1
9.7	Otras Gomas	0	13	0	100,7	0	113,7
	<b>Subtotal</b>	0	17,3	0	347,7	0	365
10.	Ladrillos Refractarios con Cromo	420	0	0	0	0	420
11.	Ladrillos Refractarios sin Cromo	12	3	0	3618	0	3633,2
12.	<b>Maderas</b>						
12.1	Cajas	0	2	16,4	9,4	0	27,8
12.2	Carretes	0	0	0,2	13,3	0	13,5
12.3	Despuntos	0	0	12,1	933,2	0	945,3
12.4	Durmientes	0	0	9	7,9	0	16,9
12.5	Pallets	0	0	64,7	57,1	0	121,8
12.6	Tablas	0	0	16,9	2226	0	2243,2
12.7	Vigas	0	0	102	0	0	102
12.8	Aserrín	0	0	0	12,4	0	12,4
12.9	Otras maderas	0	1,9	54,7	1155	0	1211,4
	<b>Subtotal</b>	0	3,9	276	4414	0	4694,3
13.	Aceros Especiales	0	0,2	1860	32,2	0	1892,5
14.	Acero Inoxidable	0	0	20	0	0	20
15.	<b>Fierro Dulce</b>						
15.1	Envases metálicos	0,2	0	18	4,2	0,4	22,8
15.2	Cañerías	0,1	0	216,8	633	0	849,9
15.3	Rieles	0	0	982,8	42	0	1024,8
15.4	Malla de bizcocho	0	0	91	15	0	106
15.5	Fierro estructural	0	72	527,7	951,2	0	1550,9
15.6	Planchas	0	0	235,3	1,2	0	236,5
15.7	Otras formas de fierro dulce	0	7,4	4094	168,7	0	4270
	<b>Subtotal</b>	0,3	79,4	6166	1815	0,4	8060,9
16.	Fierro Fundido	0	0	170,4	0,5	0	170,9
17.	<b>Otros Metales</b>						
17.1	Cobre	0	0	15	12	0	27
17.2	Bronce	0	0	10,2	0	0	10,2
17.3	Cinc	0	0	0	1,4	0	1,4
17.4	Plomo	0,6	0	0	0	0	0,6
17.5	Otros no ferrosos	0	0	0,5	0	0	0,5
	<b>Subtotal</b>	0,6	0	25,7	13,4	0	39,7
18.	Cables de Acero	0	0,8	35,3	73,9	0	110

**TABLA 3.7 (Continuación) Catastro de Rises División El Teniente**

N°	TIPO RESIDUO	CANTIDADES (ton/año)					TOTAL
		PC	PNC	NPC	NPNC	ND	
18.	<b>Cables de Acero</b>	0	0,8	35,3	73,9	0	110
19.	<b>Papeles y Cartones</b>	0	47,2	53,9	39,1	0	140,2
20.	<b>Plásticos</b>						
20.1	Envases y embalajes de plástico	0,1	1,8	4,4	100,8	0	107,1
20.2	Otros plásticos	0	0,3	0	10,9	0	11,2
	<b>Subtotal</b>	0,1	2,1	4,4	111,7	0	118,3
21.	<b>Materiales Granulares</b>						
21.1	Tierra contaminada	0	26,4	0	2196	0	2222,6
21.2	Arcilla – bentonita	0	0,6	0	0,4	0	1
	<b>Subtotal</b>	0	27	0	2197	0	2223,6
22.	<b>Químicos Orgánicos e Inorgánicos</b>						
22.1	Ácidos	0	12,2	0	0	0	12,2
22.2	Bases	0	20	0	0	0	20
22.3	Solventes orgánicos	0	14,9	0	0	0	14,9
22.4	Detergentes	0	148,4	0	0	0	148,4
22.5	Grasas	0	87,3	0	0	0	87,3
22.6	Borras plumadas	0	7,8	0	0	0	7,8
22.7	Crud	0	24	0	0	0	24
22.8	Otros lodos	0	3,8	0	0	0	3,8
22.9	PCB's (askareles)	0	0	0	0	0	
22.10	Pentóxido de vanadio	0	0	0	0	0	
22.11	Otros químicos	0	0,2	0	0	0	0,2
	<b>Subtotal</b>	0	318,6	0	0	0	318,6
	<b>Textiles</b>						
23.1	Huaiques	0	13,8	0	5,9	0	19,7
23.2	Trapos	0	45,2	0	4,8	0	50
23.3	Ropa de seguridad	0	6,8	0	7,1	0	13,9
23.4	Otros textiles	0	0,2	0	0	0	0,2
	<b>Subtotal</b>	0	66	0	17,8	0	83,8
24.	<b>Vidrios</b>						
24.1	Ampolletas de Na y/o Hg	0	0,7	0	0,1	0	0,8
24.2	Tubos fluorescentes	0	10,6	0	0	0	10,6
24.3	Otras ampolletas	0	15,1	0	9,9	0	25
24.4	Otras formas de vidrio	0	0,1	0	2,4	0	2,5
	<b>Subtotal</b>	0	26,5	0	12,4	0	38,9
25.	<b>Repuestos</b>						
25.1	Baterías	15,8	4,7	0,6	0	0	21,1
25.2	Filtros	0	80,6	0	5,7	0	86,3
25.3	Otros repuestos	6,7	4,6	207,2	3,8	15,6	237,9
	<b>Subtotal</b>	22,5	89,9	207,8	9,5	15,6	345,3
26.	<b>Artefactos</b>	0	0	0	0,3	0	0,3
27.	<b>Instrumentos</b>	0	0	0,1	0	0	0,1
28.	<b>Materiales Compuestos</b>						
28.1	Fibra de Vidrio	0	0,1	0,1	0	0	0,2
28.2	Cerámica	0	0	1,7	2,6	0	4,3
	<b>Subtotal</b>	0	0,1	1,8	2,6	0	4,5
29.	Otros residuos no clasificados	0,3	0,2	13,9	8,2	15,5	38,1
	<b>TOTAL</b>	<b>PC</b>	<b>PNC</b>	<b>NPC</b>	<b>NPNC</b>	<b>ND</b>	<b>TOTAL</b>
		1.156,70	842,5	8.856,00	13.537	31,9	24.424,10

Fuente: SGC-GRL-SSU-P-015, Gestión de RISEs

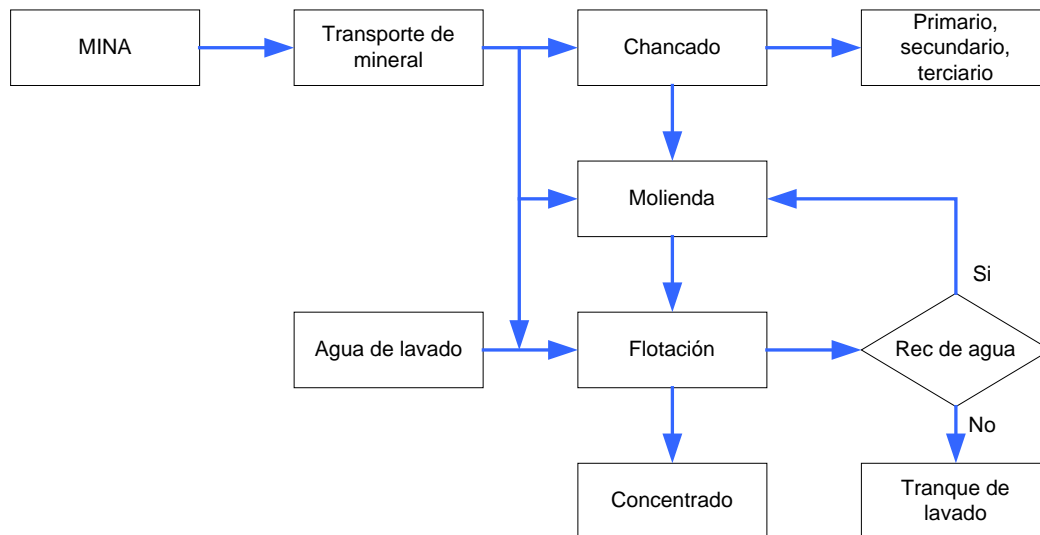
### 3.3.3 Consumo de Recurso Hídrico

El agua en la industria es usada para varias actividades: procesos, limpieza y en áreas administrativas. En la industria minera el agua es usada para diversas actividades con requerimientos de calidad respectiva para cada fin (Fig 3.3). El consumo del agua en el proceso, aunque variable de mina a mina ha tratado de cuantificarse para desarrollar mejores técnicas de uso eficiente.

Dentro de sus usos y actividades relevantes se puede citar: [20]

- Consumo humano, varía entre 130 a 200 litros por persona. Representa aproximadamente el 15% del agua consumida en una empresa minera.
- En términos de la producción se ha llegado a calcular que el consumo de agua es de 5,4 a 5,8 m<sup>3</sup>/TMF (tonelada métrica fina)
- El consumo de agua por tonelada de mineral tratado, que ingresa a las plantas concentradoras varía entre 0,36 y 1 m<sup>3</sup>/TMS (tonelada métrica seca)

Otra etapa importante en el consumo de agua es el transporte del concentrado, particularmente el que se hace a través de mineroductos, el cual puede alcanzar a 40 litros por tonelada.

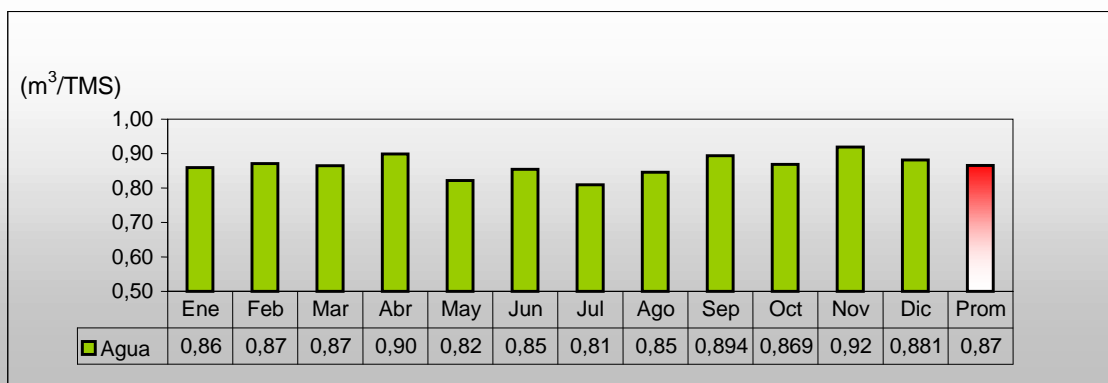


**FIGURA 3.3**

#### **Flujo de agua en concentrado de cobre**

Fuente: Vega. A, *Minería y medio ambiente*, MINEDUC 1999

En la Gerencia de Plantas, el año 2003 se registró un consumo unitario promedio de 0,87 m<sup>3</sup>/TMS con fluctuaciones mensuales menores debido a cambios de tonelaje. La figura 3.4 presenta el consumo mensual promedio para el año 2003. [21]



**FIGURA 3.4**  
**Tendencias en el consumo de agua 2003**

Fuente: Informe anual 2003 Gerencia de Plantas

### 3.3.4 Consumo de Energía Eléctrica

El vigoroso desarrollo minero se ha materializado en Chile utilizando las más avanzadas tecnologías mineras, las que se caracterizan por ser más intensivas en consumo de energía eléctrica [22].

Un estudio realizado por Cochilco, permitió determinar los coeficientes unitarios de consumo de energía eléctrica por tonelada de cobre fino (kWh/TMF) contenido en el material tratado en cada fase minera. La tabla 3.8, 3.9 y la figura 3.5 presentan los resultados. [23]

**TABLA 3.8**  
**Consumo de electricidad por áreas de operación**

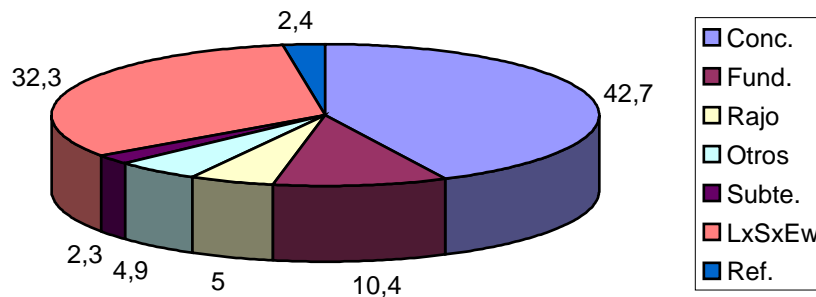
Áreas de operación	KWh/TMF
1. Mina rajo	125,6
2. Mina subterránea	332,0
3. Concentradora	1705,5
4. Fundición	910,4
5. Refinería	301,9
6. Lix – Sx – Ew	2804,5
7. Uso general	141,5

Fuente: Cochilco

**TABLA 3.9**  
**Consumo de electricidad por producto comercial**

Producto comercial	KWh/TMF
A Concentrado (1+3)	1832,2
A Blister (1+3+4)	2745,5
A Cátodo ER (1+3+4+5)	3044,5
A Cátodo Sx – Ew	2930,1

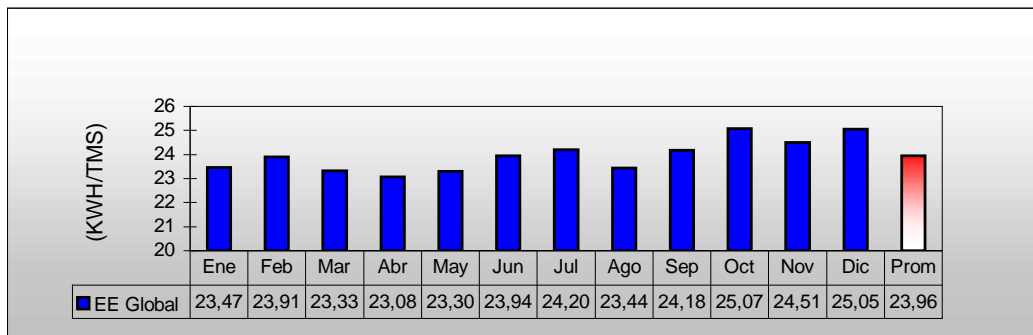
Fuente: Cochilco



**FIGURA 3.5**  
**Distribución del consumo eléctrico por áreas de operación**

Fuente: Cochilco

Por su parte la Gerencia de Plantas presenta un consumo unitario de energía eléctrica promedio de 23,96 kWh/TMS para el año 2003. La figura 3.6 presenta el detalle mensual. [21]

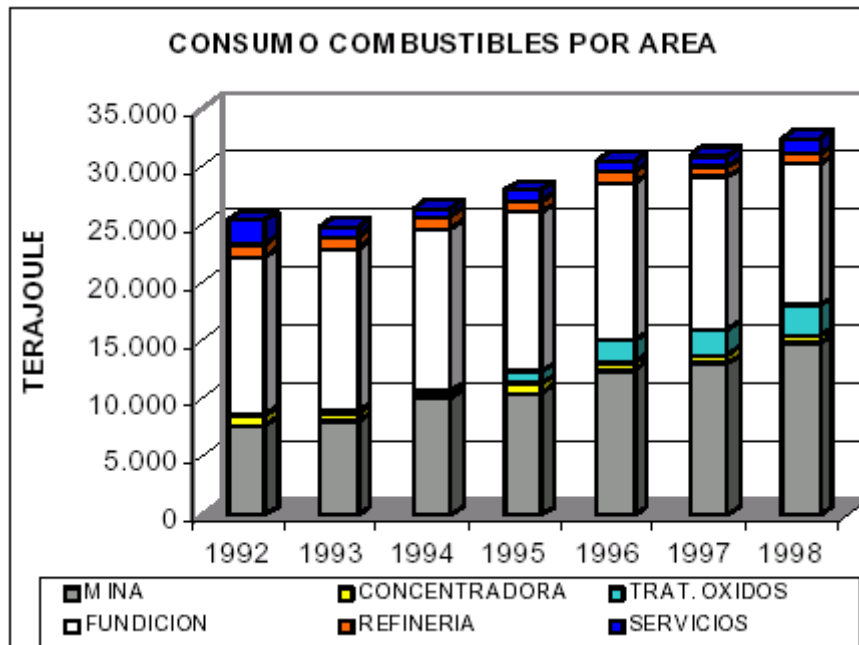


**FIGURA 3.6**  
**Tendencias en el consumo de energía eléctrica 2003**

Fuente: Informe anual 2003 Gerencia de Plantas

### 3.3.5 Consumo de combustibles

En lo que se refiere al consumo de combustibles por área en la minería del cobre, fundición y mina dan cuenta de alrededor del 80% del total de combustibles consumidos por el sector. (ver figura 3.7) [22]



**FIGURA 3.7**  
Consumo de combustibles por área

Fuente: Cochilco

A continuación se presentan datos de los coeficientes unitarios específicos y globales de consumo de combustibles calculados por unidad de mineral procesado en la concentración de cobre, por unidad de concentrado producido y por unidad de cobre fino contenido en los concentrados (Ver Tabla 3.10). [22]

**TABLA 3.10**  
**Consumo de combustibles período 1990 – 1998**

<b>Año</b>	<b>MJ/TMS Seca</b>	<b>MJ/TMF Fina</b>
<b>1990</b>	7,0	674,6
<b>1991</b>	7,8	784,8
<b>1992</b>	5,3	504,9
<b>1993</b>	4,6	392,3
<b>1994</b>	1,6	143,0
<b>1995</b>	4,0	341,6
<b>1996</b>	3,4	259,3
<b>1997</b>	4,0	291,2
<b>1998</b>	3,0	230,5

*Fuente: Cochilco*

### 3.3.6 Emisión Material particulado

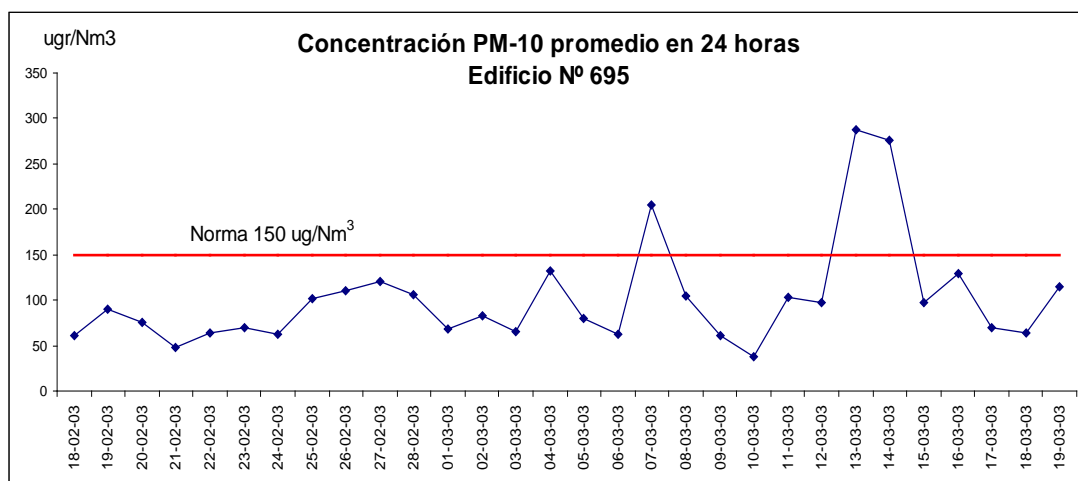
El material particulado es una de las mayores preocupaciones en la contaminación atmosférica externa relacionada con las faenas mineras y procesos de concentrado de cobre. La Tabla 3.11 presenta las principales fuentes de emisión del proceso minero, clasificando la fuente en puntual o difusa:

**TABLA 3.11**  
**Principales fuentes emisión material particulado**

<b>Fuentes puntuales</b>	<b>Fuentes difusas</b>
Sitios de carga de mineral y desechos sólidos (camiones, correas transportadoras, otros)	Zonas de descarga de desechos.
Sistemas de transporte de del mineral (correas transportadoras, tolvas, otros)	Sitios de acopio de la mena
Plantas de chancado y selección del mineral (cernido)	Rutas del transporte del mineral
Escapes desde las instalaciones de succión y colección de polvo	Sitios de disposición de estériles
Chimeneas secadoras	

*Fuente: Vega. A, Minería y medio ambiente, MINEDUC 1999*

En la figura 3.8 se puede apreciar el comportamiento de la concentración promedio en 24 hr de Material Particulado PM10 monitoreado por la estación fija ubicada en Edificio N° 695 en las plantas Sewell. De este se desprende que en tres oportunidades se superó el límite establecido por el D.S.59/98 para este contaminante. Sin embargo, de acuerdo a lo establecido en dicho decreto, la norma primaria de calidad del aire para el material particulado respirable MP10 se considerará sobrepasada cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual sea mayor o igual a  $150 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  [5].



**FIGURA 3.8**  
**Concentración PM-10 promedio en 24 horas Edificio N° 695**

*Fuente: GPTA, Plan de cierre ambiental plantas Sewell, 2003*

### 3.4 SELECCIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES

Una vez desarrollado el análisis de entradas y salidas para el proceso (sección 3.1), como también la identificación de los Aspectos Ambientales Significativos, el siguiente paso fue la selección de Indicadores de Desempeño Operacionales, de Calidad Ambiental y de Desempeño de Gestión. A continuación se presentan los indicadores ambientales seleccionados. Éstos se clasificaron según aspecto ambiental significativo y tipo.

#### 3.4.1 Consumo de Recursos Hídricos

➤ Indicadores de Desempeño Operacionales

- Cantidad de agua consumida por unidad final de producción ( $m^3/TMS$ )

Como el proceso de concentrado de cobre consume grandes cantidades de agua, este indicador ayuda a relacionar el consumo total de agua con la cantidad total de producto comercializable generado (concentrado de cobre), medido en TMS que significa Tonelada Métrica Seca.

Cabe señalar que este indicador se usa actualmente dentro de la categoría de indicadores de negocio.

Al ser de carácter general, el indicador permite comparar el desempeño ambiental y de negocio entre compañías procesadoras de cobre, sin importar volúmenes de producción o consumo del recurso.

- Cantidad de agua consumida por cada fase del proceso en relación a producto ( $m^3/Ton$  producto)

Es la cantidad de agua utilizada para generar una tonelada de producto. Este indicador estudia en la eficiencia del uso del recurso para cada fase del proceso de concentrado de cobre y subproductos, Chancado, Molienda y flotación SAG, Molienda y flotación Convencional, Procesos metalúrgica, Filtración, secado, Flotación de Molibdeno y Disposición de relaves. Así, el indicador permite identificar áreas críticas y oportunidades de mejora en la eficiencia del uso del agua, a su vez ayuda a determinar los problemas de manejo y su raíz.

Además permite identificar la correcta distribución del recurso hídrico y mejora la eficiencia en la rentabilidad de la producción.

Una consideración importante que se debe destacar cuando se hace uso de este indicador tiene relación con la calidad, confiabilidad y validez de la información, los criterios de monitoreo y su periodicidad.

- Cantidad de agua reutilizada o reciclada (%) o (m<sup>3</sup>/TMS)  
Existen, en el proceso, diversas oportunidades de mejora en la eficiencia del uso del recurso. En este ámbito el indicador cuantifica el agua reutilizada o reciclada, fiel reflejo de la materialización de gestión ambiental de una empresa.
- Cantidad de agua ahorrada gracias a procedimientos de uso eficiente (%) o (m<sup>3</sup>/TMS)  
Relacionado con el anterior, este indicador pretende ilustrar, mediante el ahorro de agua, la aplicabilidad de los planes de manejo para los recursos más significativos. Se usa a nivel general, es decir se puede aplicar a cualquier proceso, ya sea concentración de cobre u otro negocio.

➤ Indicadores de Desempeño de Gestión

- Ahorros conseguidos con la reducción del uso del recurso (US\$ / Año)  
Es alternativo y a la vez complementario a los dos anteriores. Usualmente se prefieren indicadores que se expresen simplemente a través de una unidad monetaria, especialmente si éstos enfatizan ahorros en una medición determinada. Por lo tanto, este indicador ayuda a trasladar las mejoras en la eficiencia del uso de los recursos a una forma de fácil entendimiento para todos los niveles de la organización. Además refleja beneficios económicos obtenidos a través de la gestión ambiental.

### **3.4.2 Consumo de Energía Eléctrica**

➤ Indicadores de Desempeño Operacionales

- Consumo de energía eléctrica por unidad final de producción (kWh/TMS)  
La mayoría de los procesos propios de la concentración de cobre consumen una gran cantidad de energía eléctrica. La energía consumida en todas las plantas, asociada a la salida final de producto, por parte de la gerencia, conforman este indicador que

permite estudiar el desempeño ambiental y de negocio para este aspecto y mejorar el entendimiento de la relación entre consumo y producción.

- Consumo de energía eléctrica por cada fase del proceso en relación a unidad de producto (kWh/Ton producto)

Corresponde al consumo de energía eléctrica para generar una tonelada de producto, su alcance comprende la evaluación de desempeño a cada etapa del proceso por separado. Permite control, distribución y optimización del recurso en áreas operativas de mayor consumo.

Una consideración importante que se debe hacer cuando se hace uso de este indicador es la calidad, confiabilidad y validez de la información, los criterios de monitoreo y su periodicidad.

- Energía ahorrada gracias a programas de conservación (%) o (kWh/TMS)

El conjunto de indicadores propuestos no pretende incorporar nuevas exigencias a la gestión ambiental de la gerencia, por el contrario pretende entregar un contexto y dirección estratégica a las políticas relacionadas con la sustentabilidad. En este sentido los programas de conservación o uso eficiente de los recursos, tienen especial relevancia.

➤ Indicadores de desempeño de Gestión

- Ahorros conseguidos con la reducción del uso del recurso por año (US\$/Año)

Como se ha señalado anteriormente, la usual forma de presentar la adecuada gestión ambiental en el desarrollo sustentable y el uso de los recursos es a través de variables económicas.

### **3.4.3 Consumo de Combustibles**

➤ Indicadores de Desempeño Operacionales

- Consumo de combustibles por unidad final de producción (L/TMS)

Aunque los combustibles no sean la principal fuente energética en el proceso de concentración de cobre, su alto costo requiere un uso eficiente. Así el indicador pretende relacionar consumo de éstos en función de producto final, de manera de

aportar información que permita asegurar el manejo sustentable de recursos no renovables.

➤ Indicadores de Desempeño de Gestión

- Ahorros conseguidos con la reducción del uso del recurso por año (US\$/Año)  
Este indicador traduce los esfuerzos de gestión, que tienen relación al consumo de recursos, a unidades monetarias.

### 3.4.4 Generación y descarga de RILes

➤ Indicadores de Desempeño Operacionales

- Cantidad de RILes generados y descargados por unidad de producto final ( $m^3/TMS$ )  
De alguna manera, este indicador es complementario a los propuestos para el consumo de recursos hídricos. Esto debido a que la mayor parte de agua consumida en el proceso termina por ser un residuo industrial líquido.  
Una consideración muy importante que debe hacerse cuando se compara el valor de este indicador entre diferentes organizaciones es la calidad, no solo la cantidad del residuo líquido. Los efectos finales sobre al cuerpo receptor están dados por la cantidad y calidad del residuo. Por consiguiente el indicador debe utilizarse en conjunto con indicadores de calidad ambiental (ICA) que entreguen información acerca de la calidad de los residuos.
- Cantidad de RILes descargados por unidad de tiempo ( $m^3/Trim$ )  
Resulta útil evaluar la descarga de residuos líquidos en función de una variable temporal. De esta manera se puede cuantificar la magnitud del impacto ambiental y generar planes y metas según las condiciones estacionales o climáticas predominantes en el trimestre que se evalúa.

➤ Indicadores de Calidad Ambiental

- Concentración de  $\text{SO}_4^{=}$  en el efluente Tranque Carén (ppm)

Como se señaló anteriormente el aspecto ambiental relacionado con el efluente del tranque Carén tiene especial significancia debido al incumplimiento de las normas de descargas presentes en el DS N°90 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. El nuevo marco regulatorio que regirá a partir de Septiembre del 2006 controla este parámetro con una concentración máxima de 2000 ppm promedio anual. Bajo este panorama se han efectuado estudios de simulación que estiman concentraciones futuras de Sulfato, según proyecciones de producción. Los resultados auguran un incremento estimado para el parámetro del efluente del relave que alcanza los 152 ppm para un período de estudio que comprende desde el año 2006 hasta el 2010. Esto implica concentraciones aproximadas de hasta 2438 ppm para años futuros [17].

Como es de suponer este parámetro al igual que la conductividad eléctrica, pH, temperatura, sólidos totales, Na, Ca, K, Mo y una serie de otros parámetros se controla periódicamente, aunque de manera aislada y su control no forma parte de un sistema de gestión integrado en base a indicadores ambientales.

Este indicador es fundamental para la condescendencia con la legislación nacional, justifica las inversiones en proyectos de investigación, permite desarrollar planes de descontaminación y ayuda a la mejora progresiva de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, de manera que alcancen la condición de ambiente de contaminación controlada.

- Concentración de Mo en el efluente Tranque Carén (ppm)

Al igual que el indicador anterior, este último pretende caracterizar el efluente según uno de sus parámetros típicos, en este caso el molibdeno. Para el 2006 la concentración máxima permitida, según el nuevo marco regulatorio, será de 1,6 ppm promedio anual móvil.

Las proyecciones futuras de molibdeno han sido complejas de realizar por lo siguiente. Dependen de la fracción de Molibdeno que es soluble en el proceso y que procede mayoritariamente de minerales de las zonas superiores del yacimiento y que se incorpora como “mineral diluyente”. En años recientes esta fracción ha sido del orden de 12% del total del molibdeno que sale del yacimiento hacia las plantas. Este tipo de

mineral es variable en cantidad y en calidad. A futuro se espera tener mejores estimaciones de este parámetro para propósitos de planificación. Sin embargo, actualmente en los planes mineros de rutina no hay información del molibdeno soluble.

Además la fracción del molibdeno soluble que aparece en el efluente depende de la alcalinidad del proceso, variable que a futuro se considera controlar en forma más precisa.

De esta manera la mejor forma utilizada para proyectar las concentraciones futuras de molibdeno es un análisis estadístico considerando el registro histórico. Un estudio emitido por el área de planificación realizó una proyección del molibdeno soluble en el mineral hasta el año 2005 y 2009 para volver a aumentar a los niveles que se han registrado en la década de los noventa, esto es 1,6 ppm promedio mensual. [17]

Este indicador ayuda a evaluar el desempeño y eficiencia de la organización en las fases que comprenden la recuperación de molibdeno y al ser el concentrado de éste un subproducto comercializable, su control y mejora en eficiencia se traduce en beneficios económicos.

- Frecuencia episodios de filtraciones Tranques Colihues y Cauquenes (Nº episodios /Año)

Ya se ha señalado la importancia del impacto generado ante la posibilidad de filtraciones en dichos tranques.

El indicador propone llevar el control de los incidentes de filtraciones con relación a una variable temporal de manera de aportar las evidencias para cuantificar la magnitud del pasivo ambiental y justificar, así la investigación y desarrollo científico en esta área.

➤ Indicadores de desempeño de Gestión

- Grado de cumplimiento de requisitos legales (%)

El nivel de éxito logrado, en relación a los parámetros característicos del residuo industrial líquido, puede medirse fácilmente con un indicador como este, de manera de que la organización guarde registro del grado cumplimiento de los requisitos legales.

### 3.4.5 Generación y disposición de Rises

#### ➤ Indicadores de Desempeño Operacionales

- Cantidad de Rises generados por unidad de producto final (Ton/TMS)

A partir del proceso se generan grandes cantidades de Rises, donde destacan la chatarra de hierro, las maderas, los escombros de construcción y los elementos de desecho en general. Siendo su disposición y acopio uno de los principales problemas divisionales en materia ambiental.

Este indicador relaciona la cantidad de residuos generados a partir de la producción de una tonelada de concentrado de cobre.

- Cantidad de residuos convertido a material reutilizable (Ton/Año) o (%)

Gracias al sistema de gestión de residuos industriales sólidos, se ha podido clasificar los residuos según su peligrosidad y posibilidad de comercialización, a partir de esto el indicador pretende cuantificar la cantidad de residuos comercializables, y por lo tanto reutilizables, durante un año o en relación con la totalidad de residuos generados.

#### ➤ Indicadores de Calidad Ambiental

- Área rehabilitada luego de la aplicación del sistema de gestión de Rises (m<sup>2</sup>/Año)

El sistema de gestión de Rises comprende la generación, segregación, manejo, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos. Los destinatarios de los desechos incluyen un centro de manejo de Rises, depósitos de escombros, patios de reciclables, y vertederos. Todos estos receptores cuentan con las autorizaciones sanitarias y ambientales para el tratamiento y disposición final de Rises. Previo a este sistema existían diversos centros de depósitos no autorizados, produciéndose problemas tales como: Presencia de metales pesados en los suelos de las instalaciones, degradación de la productividad, fertilidad, altos niveles de compactación y erosión del suelo. Además de un deterioro del paisaje, riesgos y baja calidad del ambiente laboral.

El indicador pretende cuantificar el área recuperada o rehabilitada luego de la aplicación del sistema de manejo y disposición de Rises, además de cuantificar el área que es rehabilitada en un año.

➤ Indicadores de Desempeño de Gestión

- Número de empleados capacitados en el procedimiento (Nº) o (%)  
Este indicador busca evaluar el nivel de entendimiento y capacitación de los empleados de la organización en relación al sistema de gestión de Rises
- Grado de aplicación del sistema de gestión (%)  
No sólo el entrenamiento ambiental es relevante sino también la posibilidad de poner en práctica el conocimiento adquirido dado el grado de aplicación del sistema de gestión.  
Este indicador se refiere al alcance o porcentaje de la organización en que el sistema es aplicado con éxito.
- Retorno sobre las inversiones a partir de la comercialización de los residuos (US\$)  
Al igual que el indicador que cuantifica los residuos comercializables, éste considera los residuos reutilizables, esta vez bajo unidades monetarias. De manera de llegar a todos los niveles de la organización en forma sencilla y concreta.

### 3.4.6 Emisión de Material Particulado

➤ Indicadores de Desempeño Operacionales

- Emisiones material particulado en plantas Chancado, filtros y secado por unidad de producto (Kg/Ton producto)  
El indicador relaciona la emisión de material particulado con la producción de mineral, en el caso de chancado y concentrado de cobre en la planta de filtros y secado.
- Emisiones totales por unidad de tiempo (Kg/día)  
Este indicador considera registrar las emisiones de material particulado al día en las etapas del proceso más críticas.
- Número de mantenciones a los sistemas de tratamiento (Nº/Año)  
El material particulado generado en las etapas señaladas está principalmente conformado por polvo (partículas en suspensión) que se recoge mediante unos

colectores de mangas y rociadores. El indicador busca evaluar el número de mantenciones que se efectúan al año a estos sistemas de tratamiento.

➤ Indicadores de Calidad Ambiental

- Concentración Material Particulado en áreas de representatividad ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )  
Este indicador corresponde al valor promedio temporal detectado en el aire en microgramos por metro cúbico normal ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ) de material particulado respirable, según DS N°59 que establece norma de calidad para material particulado respirable, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia. [18]
- Frecuencia de episodios críticos (Nº episodios / Año)  
El indicador propone llevar el control de los incidentes de emisiones críticas con relación a una variable temporal de manera de aportar las evidencias para cuantificar la magnitud del pasivo ambiental y justificar, así la investigación y desarrollo científico en esta área.

➤ Indicadores de Desempeño de Gestión

- Grado de cumplimiento de requisitos legales (%)  
El nivel de éxito logrado, en relación a los parámetros característicos de calidad del aire, puede medirse fácilmente con un indicador como este, de manera de que la organización guarde registro del grado cumplimiento de los requisitos legales.

### 3.4.7 Todos los aspectos

A continuación se proponen algunos indicadores de desempeño de gestión aplicables a todos los aspectos o bien a nivel general.

- Número de objetivos y metas alcanzados (Nº) o (%)  
Una Evaluación de Desempeño Ambiental y por ende los Indicadores Ambientales ayudan a una organización a alcanzar las metas y objetivos planteados. Este indicador proveerá una idea del número de objetivos y metas alcanzados y así reflejar el grado de involucramiento y compromiso de la gerencia en materia de mejoras ambientales.

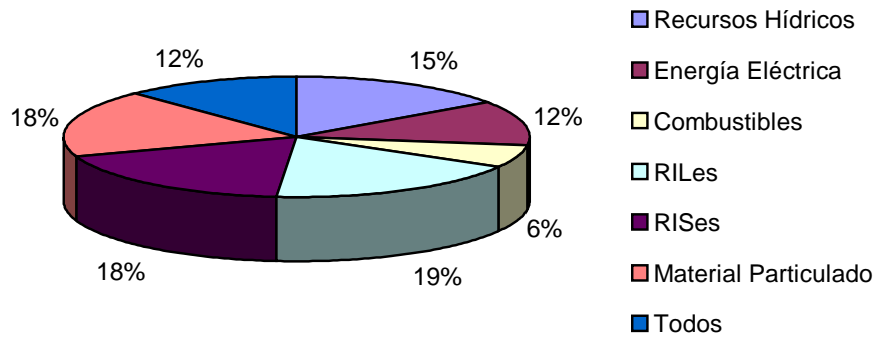
- Número de actividades correctivas resueltas (Nº) o (%)  
Corresponde al grado de cumplimiento de actividades en relación programa de gestión ambiental de la organización. Las actividades correctivas se programan a partir de los objetivos y metas, por lo tanto este indicador indaga en forma específica en cada compromiso, a diferencia del anterior que estudia el avance en un nivel general.
- Número de horas invertidas por empleado en capacitación ambiental (hh/Año)  
La capacitación del personal es importante a la hora de poner en práctica los sistemas o planes de gestión, operación, mantención, medición o monitoreo de todas las etapas productivas de la organización. Un indicador como este ayuda a identificar la cantidad de tiempo que la organización gasta en programas de capacitación ambiental por cada empleado.
- Número de iniciativas ambientales para la comunidad local al año (Nº/Año)  
Uno de los beneficios de la Evaluación de Desempeño Ambiental es la mejora de las relaciones con partes externas. Este indicador es capaz de monitorear estas relaciones, también refleja el nivel de confianza que la organización tiene en la comunidad donde opera.

### 3.5 RESUMEN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES SELECCIONADOS

A continuación se presenta un resumen de los indicadores seleccionados (ver Tabla 3.13) y posteriormente un gráfico de la distribución porcentual de los indicadores según aspecto ambiental (Figura 3.9).

**TABLA 3.13**  
**Resumen Indicadores Ambientales Seleccionados**

Aspecto Ambiental	Indicador	Unidad
Consumo de recurso hídrico	Agua consumida por unidad final de producto	m <sup>3</sup> /TMS
	Agua consumida por cada fase del proceso	m <sup>3</sup> /Ton
	Agua reutilizada o reciclada	% o m <sup>3</sup> /TMS
	Agua ahorrada gracias a procedimientos de uso eficiente	% o m <sup>3</sup> /TMS
	Ahorros conseguidos con la reducción del uso del recurso	US\$/Año
Consumo energía eléctrica	Energía consumida por unidad final de producto	kWh/TMS
	Energía consumida por cada fase del proceso	kWh/Ton
	Energía ahorrada gracias a procedimientos de uso eficiente	% o kWh/Ton
	Ahorros conseguidos con la reducción del uso del recurso	US\$/Año
Consumo de combustibles	Combustible consumido por unidad final de producto	L/TMS
	Ahorros conseguidos con la reducción del uso del recurso	US\$/Año
Generación y descarga de RILes	Cantidad de RILes descargados por unidad final de producto	m <sup>3</sup> /TMS
	Cantidad de RILes descargados por unidad de tiempo	m <sup>3</sup> /trim
	Concentración de Sulfato en efluente Tranque Carén	ppm
	Concentración de molibdeno efluente Tranque Carén	ppm
	Frecuencia filtraciones Tranques Colihues y Cauquenes	Nº/Año
	Grado de cumplimiento requisitos legales	%
Generación y disposición de RISEs	Cantidad de RISEs generados por unidad final de producto	Ton/TMS
	Cantidad de residuos convertidos a material reutilizable	Ton/Año o %
	Área rehabilitada luego de la aplicación de sistema de gestión	m <sup>2</sup> o m <sup>2</sup> /Año
	Número de empleados capacitados en el procedimiento	Nº o %
	Grado de aplicación del sistema de gestión	%
	Retornos a partir de la comercialización de los residuos	US\$
Emisión de material particulado	Emisiones de PM en plantas críticas por unidad de producto	Kg/Ton
	Emisiones totales por unidad de tiempo	Kg/día
	Concentración PM en áreas de representatividad	µg/m <sup>3</sup> N
	Mantenciones a los sistemas de tratamiento	Nº/Año
	Frecuencia de episodios críticos	Nº/Año
	Grado de cumplimiento requisitos legales	%
Todos los aspectos	Objetivos y metas alcanzados	Nº o %
	Actividades correctivas resueltas	Nº o %
	Horas invertidas en capacitación ambiental por empleado	H
	Iniciativas ambientales para la comunidad local	Nº/Año



**FIGURA 3.9**  
**Distribución porcentual Indicadores Ambientales**

La Tabla 3.14 presenta una lista, según clasificación, del número de indicadores ambientales seleccionados para cada aspecto ambiental significativo, se hace la distinción entre general, específico, indicador de desempeño operacional (IDO), de calidad ambiental (ICA) o de desempeño de gestión (IDG).

**TABLA 3.14**  
**Clasificación Indicadores Ambientales Seleccionados**

Aspecto Ambiental	Nivel / tipo de indicador				Comentarios
	Nivel	IDO	ICA	IDG	
Consumo de Recurso Hídrico	General	3	0	1	Considera volumen total
	Específico	1	0	0	Estudia consumo para cada unidad de producción
Consumo de Energía Eléctrica	General	2	0	1	Considera consumo total
	Específico	1	0	0	Estudia consumo para cada unidad de producción
Consumo Combustibles	General	1	0	1	Considera consumo total
	Específico	0	0	0	Estudia consumo para cada unidad de producción
Generación y descarga de RILes	General	2	0	1	Enfocado a total producción de RILes, cumplimiento de la legislación, cumplimiento de objetivos y metas, y actividades resueltas
	Específico	0	3	0	Tiene relación con parámetros críticos de efluentes e incidentes ambientales particulares
Generación y disposición de RISes	General	2	1	2	Relacionado con generación total de RISes, material reciclado, áreas recuperadas, grado de aplicabilidad de del sistema de gestión, personal formado, etc.
	Específico	0	0	1	Considera retorno en inversiones
Emisión de Material Particulado	General	1	2	1	Referidos a emisiones totales, concentración del contaminante, cumplimientos legales, frecuencia de incidentes, menciones, etc.
	Específico	2	0	0	Enfocado a emisiones de MP para unidades de producción críticas, eficiencia y mantenciones de sistemas de tratamiento
Todos los Aspectos	General	0	0	4	Indicadores de desempeño de gestión aplicables tanto a nivel específico como general
	Específico	0	0	0	
<b>TOTAL</b>		15	6	12	<b>33</b>

### **3.6 LIMITACIONES DE LOS INDICADORES AMBIENTALES SELECCIONADOS**

La definición de los Indicadores Ambientales relevantes es un paso importante para evaluar el desempeño ambiental de una organización. Sin embargo, de la teoría a la práctica, se presentan algunas limitaciones de aplicación.

El problema básico para todos los indicadores ambientales propuestos radica en las fuentes de información necesarias, si éstas no son confiables y precisas, o si no se cuenta con el equipamiento o los planes de gestión necesarios para generar la información requerida por los indicadores, entregarán resultados distorsionados que retratarán un desempeño ambiental irreal. Uno de los objetivos de una evaluación de desempeño ambiental es registrar tendencias, para esto se hace necesario información muy precisa.

En el caso de los indicadores relacionados con los consumos de recursos, por ejemplo, se ve esta dificultad, ya que en la mayoría de los casos no se cuenta con medidores dados para cada etapa del proceso o fase auxiliar de operación. Los valores absolutos son conocidos, pero no se tiene idea de cuánto consume cada etapa en particular (en forma exacta, pues hay estimaciones) o cuales son las etapas de consumo crítico. Por consiguiente, para que los indicadores ambientales alcancen su objetivo (ej., reducir el consumo de agua al máximo posible) se hace necesario contar con mediciones continuas y de calidad del consumo de los recursos para cada etapa de los procesos. Una vez disponible los valores, las fases con indicadores más altos pueden comenzar a explorar las oportunidades para reducir estos niveles de consumo y alcanzar la eficiencia.

En este sentido la estandarización de los planes de monitoreo y medición, tanto para las etapas del proceso como para la generación de residuos o emisión de contaminantes, juegan un papel significativo.

## 4. CONCLUSIONES

- A través de una matriz de evaluación de impactos ambientales se identificaron una serie de aspectos ambientales significativos producto del concentrado de cobre, en base a los cuales se seleccionaron los indicadores ambientales, éstos incluyen: Consumo de recursos hídricos, energía eléctrica y combustibles, emisión de Material Particulado, generación disposición de Rises y generación y descarga de RILes.
- Se seleccionaron un total de 33 indicadores ambientales, de los cuales 15 son indicadores de desempeño operacionales, 6 son indicadores de calidad ambiental y 12 son indicadores de desempeño de gestión.
- Este trabajo permitirá a la empresa ordenar los elementos de gestión ambiental relacionados con la evaluación del desempeño ambiental. Si bien algunos de los indicadores propuestos se usan actualmente como indicadores de negocio y de consumos relevantes no forman parte de un sistema integral de gestión ambiental.
- Resalta la necesidad de iniciar este proceso de una manera simple, en lo posible sin incurrir en gastos enormes para la recolección de datos complejos. Así, la cantidad de indicadores a utilizar debe ser moderada, no se puede espera el uso todos los indicadores simultáneamente. Una vez que se haya experimentado en el sistema se puede aspirar a evaluaciones más exigentes.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INTRANET Corporativa División El Teniente
2. Codelco Chile División El Teniente, publicación “Departamento Concentrador” 2001.
3. Baros, M.M. “El Teniente, los hombres del mineral” Tomo I y II. Codelco Chile División El Teniente, 1999.
4. Donoso, P.Y. Trabajo de titulación “Indicadores de gestión Superintendencia de Procesos Concentración” Codelco Chile División El Teniente 2002.
5. Superintendencia Molienda y Chancado Sewell, “Plan de cierre ambiental de las operaciones industriales del proceso chancado y molienda Sewell” Codelco Chile división El Teniente 2003.
6. International Organization for Standardization. ISO 14031 Environmental Management – Environmental Performance Evaluation guidelines. ISO 1999 Reference number ISO14031:1999(E) International Standard, first edition 15 – 11 – 1999.
7. Kuhre. W. Lee. “ISO 14031 Environmental Performance Evaluation”. New Jersey, Prentice Hall 1998.
8. López C. R. M.sc. Thesis “Development of Environmental Performance Indicators, the case of fish cannig plants” International Institute for Industrial Environmental Economics (IIIEE) Lund University 2001.
9. IHOBE, “Guía de Indicadores Medioambientales para la Empresa” Ministerio Federal del Medio Ambiente Alemania, Agencia Federal Medioambiental de Alemania, IHOBE, S.A. 1999.
10. Ludevid M. et. al “Contabilidad Ambiental: Medida, evaluación y comunicación de la actuación ambiental de la empresa” Fundación Forum Ambiental. Agencia Europea del Medio ambiente Barcelona 1999.

11. Putnam D. "ISO 14031: Environmental Performance Evaluation" Altech Environmental Consulting. Septiembre 2002.
12. Colón 98, CD ROM de autocapacitación metalúrgica, Superintendencia de Procesos Concentración, Codelco Chile División El Teniente 1998.
13. Ley 19300 de Bases Generales del Medio Ambiente. LBGMA.
14. International Organization for Standardization. ISO 14001 "Environmental Management" Instituto Nacional de Normalización 2000.
15. Gerencia de Riesgos Ambiente y Calidad (GRAC). Procedimiento: SGC-GRL-P-004: Identificación, Evaluación y Consolidación de Aspectos Ambientales, Codelco Chile, División El Teniente.
16. Centro de Investigación Minero Metalúrgico (CIMM) "Plan de cierre y abandono para los tranque de relaves de la División El Teniente" Codelco Chile División El Teniente. Agosto 2000.
17. Gerencia de Plantas (GPTA) Proyecto: Estudio RIL Carén, abatimiento Sulfato y Molibdeno. Codelco Chile División El Teniente. Marzo 2004.
18. Fuentes O. F "Manual de Derecho Ambiental", Editorial Libromar LTDA 1999
19. Unidad de Recursos Hídricos (URH) Procedimiento: SSU- P-015 Gestión de RISes. Codelco Chile, División El Teniente Marzo 2003.
20. Vega F, A. et al "Minería y Medio Ambiente" Ministerio de Educación, Chile 1999
21. Gerencia de Plantas (GPTA) Informe Anual 2003, Codelco Chile, División El Teniente, diciembre 2003.
22. Comisión Chilena del Cobre (Cochilco) "Consumo de Energía en la gran minería del cobre, período 1990 – 1998", COCHILCO septiembre 2001.

23. Comisión Chilena del Cobre (Cochilco) Informe del mercado del Cobre primer trimestre 2004, COCHILCO abril 2004.