

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA
Y DE MATERIALES**



**CRITERIO DE RECIRCULACIÓN DEL AGUA EN BASE A SU CALIDAD
QUE SE EMPLEA EN EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN DE
MINERALES UTILIZANDO AGUA DE MAR EN FAENA MINERA.**

**Trabajo de propuesta de memoria de titulación presentado en
conformidad a los requisitos y reglamentos requeridos para obtener el
título de Ingeniero Civil Metalúrgico**

Profesor Guía: Jesús Casas de Prada

**ANTONIA BELÉN MONTIEL SOTO
2023**

DEDICATORIA

Este título universitario se lo dedico a mi mamá: Mónica Nelly Soto Díaz, gracias a todo su amor y esfuerzo, que me permitió llegar hasta esta instancia.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy las gracias a Dios y a mi familia, en especial a mi mamá Mónica Soto Díaz y mi hermano Pablo Montiel Soto por todo su cariño, esfuerzo y apoyo que me han dado a lo largo de mi vida, y que el día de hoy me permiten estar donde estoy.

Agradecer también a mi profesor guía Jesús Casa de Prada por su disposición, su compromiso y por siempre estar dispuesto a solucionar mis dudas durante este proceso. También agradecer a cada profesor que tuve durante mi estadía en la universidad, por su aporte y dedicación. Hacen una hermosa labor.

También quiero agradecer a dos familias muy importantes que me brindaron un hogar, cariño y apoyo durante mi estadía en la universidad. La familia Rivera Tapia; Mi tete, tío Alecito y Mati, que me apoyaron en la difícil transición de la alta exigencia universitaria y no me dejaron caer a pesar de mis fracasos, gracias por creer en mí. Y mi segunda familia los Aguilera Carvajal; mi tía Loli y mi tío Christian, donde recibí mucho cariño, apoyo y cuidados como una hija más. Agradecer también a mi tata Carvajal por sus comiditas y cariño. En general a toda mi familia que estuvo presente de alguna u otra forma durante este proceso en la universidad.

Por último y no menos importante agradezco a mis compañeros de generación, que a pesar de la distancia y pandemia siempre estuvieron presentes; Mirko, Jenni, Fran, Diego, Pablo, Martín, Juanito, Guille, Alexis, Brian, Felipe, Javier, Saimon, Cami y Consu. Espero que les vaya muy bien en sus vidas y sean muy exitosos. También le agradezco a mi mejor amiga Tabita por siempre creer en mí.

Finalmente dar las gracias a mi Cris por acompañarme durante esta etapa, por ser el mejor compañero durante este proceso, por todo el cariño, preocupación y apoyo que me da desde el momento en que nos conocimos.

En fin... ¡muchísimas gracias a todos!

RESUMEN

Debido a la escasez hídrica que presenta Chile es que distintos sectores industriales que necesitan este recurso para su proceso productivo han optado al desarrollo de nuevas vías para su obtención. La minería es uno de los sectores que requiere el uso del agua para desarrollar el proceso productivo de diversos minerales, cuya alternativa es reemplazar las aguas continentales con el agua de mar. El consumo porcentual de agua de mar en el año 2020 fue de un 30% y según estimaciones realizadas por Cochilco al año 2032 se incrementaría hasta un 68%. Para su utilización existen dos vías; a través del proceso de desalinización o bien utilizarla directamente al proceso productivo. Asimismo, en minería se busca recircular el agua durante el desarrollo productivo, con la finalidad de aprovechar al máximo dicho recurso. Cuya tasa de recirculación a nivel nacional en el año 2020 fue de 73%, sin embargo, esta cifra depende de las instalaciones productivas y de la gestión operacional que realiza cada empresa minera.

En el desarrollo de esta memoria se analizó una faena minera que utiliza agua de mar sin desalinizar en dos periodos; año 2011 y año 2017, donde el factor de concentración es de 0,92 g/L/año. Para el año 2011 el agua de procesos que ingresa a la planta concentradora aumenta el contenido sales disueltas totales (SDT) en un 33,4% respecto a la alimentación fresca (agua de mar). Y en la planta concentradora precipitan 1134 kg/h de brucita [$Mg(OH)_2$] y 786 kg/h de yeso [$CaSO_4 \cdot 2H_2O$], con un consumo de 8,7 kg de cal/t de mineral. Para el año 2017 la SDT de la corriente que ingresa a la planta concentradora aumenta en un 48,7% respecto al agua de mar, donde precipitan 1341 kg/h de brucita y 820 kg/h de yeso, con un consumo de cal de 10,3 kg/t de mineral. El aumento de SDT en ciclo operacional de la planta concentradora se genera como consecuencia de las evaporaciones y de las recirculaciones de agua dentro del circuito productivo.

El aumento de precipitados en los periodos señalados se debe al incremento de SDT en las corrientes acuosas. Para disminuir la precipitación dentro del circuito de concentración de minerales se propone la utilización de un estanque de pre-acondicionamiento del agua recuperada de los relaves con cal. Para las condiciones de esta faena, se propone una dosificación de 7 kg de cal/t de mineral, con lo cual se lograría un aumento en la calidad del agua de procesos y disminuir los precipitados de brucita y yeso dentro de la planta concentradora, en torno a 70 y 90% respectivamente.

ABSTRACT

Due to the scarcity of water in Chile, different industrial sectors that need this resource for their production process have opted for the development of new ways to obtain it. Mining is one of the sectors that requires the use of water to develop the production process of various minerals, whose alternative is to replace inland water with seawater. The percentage consumption of seawater in 2020 was 30% and according to estimates made by Cochilco in 2032 it would increase to 68%. There are two ways to use it: through the desalination process or to use it directly in the production process. Likewise, in mining, the aim is to recirculate water during the production process in order to make the most of this resource. The recirculation rate at national level in 2020 was 73%; however, this figure depends on the production facilities and the operational management carried out by each mining company.

In the development of this report, a mining site that uses seawater without desalination was analyzed in two periods; year 2011 and year 2017, where the concentration factor is 0.92 g/L/year. For the year 2011, the process water entering the concentrator plant increases the total dissolved salt content (TDS) by 33.4% with respect to the fresh feed (seawater). The concentrator plant precipitates 1134 kg/h of brucite [Mg(OH)₂] and 786 kg/h of gypsum [CaSO₄·2H₂O], with a consumption of 8.7 kg of lime/t ore. For 2017 the SDT of the stream entering the concentrator plant increases by 48.7% with respect to seawater, where 1341 kg/h of brucite and 820 kg/h of gypsum precipitate, with a lime consumption of 10.3 kg/t ore. The increase in TDS in the concentrator plant's operating cycle is generated as a result of evaporation and water recirculation within the production circuit.

The increase of precipitates in the indicated periods is due to the increase of TDS in the aqueous streams. To reduce precipitation within the mineral concentration circuit, the use of a pre-conditioning pond for the water recovered from the tailings with lime is proposed. For the conditions of this site, a dosage of 7 kg of lime/t of ore is proposed, which would increase the quality of the process water and reduce the precipitates of brucite and gypsum in the concentrator plant by around 70 and 90%, respectively.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
ABSTRACT.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	6
1.1 Introducción general:.....	6
1.2 Definición del problema:.....	7
1.3 Hipótesis:	7
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo General:	7
1.4.2 Objetivos específicos	8
CAPITULO II: ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	9
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO	22
1.1 Metodología a trabajo a través de simuladores	22
1.1.1 Breve descripción de Phreeqc:	22
1.1.2 Breve descripción de HSC Chemistry:.....	27
1.2 Caso de Estudio 1: Faena Taltal año 2011	27
1.2.1 Balance general de agua en el primer caso de estudio.....	27
1.2.2 Balance iónico de las corrientes principales en el primer caso de estudio.....	30
1.2.3 Condiciones de precipitación del Yeso, Carbonatos y Brucita en el primer caso de estudio	34
1.3 Caso de Estudio 2: Faena Taltal año 2017	35
1.3.1 Balance iónico de las corrientes principales en el segundo caso de estudio.....	35
1.3.2 Condiciones de precipitación del Yeso, Carbonatos y Brucita en el segundo caso de estudio	36
1.4 Caso de Estudio 3: Acondicionamiento de cal para el caso de estudio 2.....	36

1.4.1	Balance iónico de las corrientes principales en el tercer caso de estudio.....	37
1.4.2	Condiciones de precipitación del Yeso, Carbonatos y Brucita en el tercer caso de estudio	38
<i>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES</i>		39
1.1	Caso de estudio 1: Balance iónico en concentradora de Faena Taltal año 2011	39
1.2	Caso de estudio 2: Balance iónico en concentradora de Faena Taltal año 2017	42
1.3	Caso de estudio 3: Balance iónico en concentradora con acondicionamiento de cal para el caso 2	44
<i>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>		47
1.1	CONCLUSIONES	47
1.2	RECOMENDACIONES.....	48
<i>CAPITULO IV: REFERENCIAS.....</i>		49
<i>ANEXOS.....</i>		51
<i>ANEXO A. BALANCE MASICO DE LAS CORRIENTES PRESENTES EN EL PROCESAMIENTO DE MINERALES (FAENA AÑO 2011)</i>		51
<i>ANEXO B. BALANCE MASICO DE LAS CORRIENTES PRESENTES EN EL PROCESAMIENTO DE MINERALES (FAENA AÑO 2017 CON ACONDICIONAMIENTO)</i>		52
<i>ANEXO C. SIMULACIONES EN PHREEQC FAENA AÑO 2011</i>		53
1.1	C.1 Código de simulación en Phreeqc para especiación química del agua fresca de la Faena Minera año 2011 (Corriente 1):	53
1.2	C.2 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química del agua fresca de la Faena Minera año 2011 (Corriente 2):	60
1.3	C.3 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 3, Faena Minera año 2011:	64
1.4	C.4 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química del agua fresca de la Faena Minera año 2011 (Corriente 4):	71

1.5	C.5 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 5, Faena Minera año 2011:	75
1.6	C.6 Resultados de simulación en Phreeqc para especiación química de la corriente 5, Faena Minera año 2011.	82
ANEXO D. SIMULACIONES EN PHREEQC FAENA AÑO 2017.....		85
1.1	D.1 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 5, Faena minera año 2017:	85
1.2	D.2 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 5, Faena minera año 2017:.....	85
1.3	D.3 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 3, Faena minera año 2017:	89
1.4	D.4 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 3, Faena minera año 2017:.....	90
1.5	D.5 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 4, Faena minera año 2017:	93
1.6	D.6 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 4, Faena minera año 2017:.....	94
ANEXO E. SIMULACIONES EN PHREEQC FAENA AÑO 2017 ACONDICIONADO CON CAL.....		98
1.1	E.1 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 5', Faena minera año 2017 con acondicionamiento de cal:	98
1.2	E.2 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 5', Faena minera año 2017 con acondicionamiento de cal:	98
1.3	E.3 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 3, Faena minera año 2017 con acondicionamiento de cal:.....	102
1.4	E.4 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 3, Faena minera año 2017 con acondicionamiento de cal:	102
1.5	E.5 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 4, Faena minera año 2017 con acondicionamiento de cal:.....	106

1.6	E.6 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 4, Faena minera año 2017 con acondicionamiento de cal:	106
<i>ANEXO F. CARACTERIZACIÓN DE LA FAENA AÑO 2011, AÑO 2017 Y AÑO 2017 CON ACONDICIONAMIENTO DE CAL</i>		
<i>110</i>		
1.1	F.1 Caracterización de las corrientes principales en Faena Taltal año 2011	110
1.2	F.2 Caracterización de las corrientes principales en Faena Taltal año 2017	110
1.3	F.3 Caracterización de las corrientes principales en Faena Taltal año 2017 con acondicionamiento de cal (caso propuesto).....	111
<i>ANEXO G. PROYECCIONES DE LA CORRIENTE 3 PARA EL AÑO 2030 Y AÑO 2060.</i>		
<i>111</i>		
1.1	G.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CORRIENTE 3 PARA LOS AÑOS 2011, 2017, 2030 Y 2060	111
1.2	G.2 PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN DE BRUCITA EN PLANTA CONCENTRADORA EN LOS AÑOS 2011, 2017, 2030 Y 2060.....	112
1.3	G.3 PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN DE BRUCITA EN PLANTA CONCENTRADORA EN LOS AÑOS 2011, 2017, 2030 Y 2060.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de generación de datos de las redes de calidad de agua de la DGA.....	9
Figura 2: Diagrama de Moody.....	15
Figura 3: Ecuación de balance de masa, utilizada por el programa Phreeqc.....	18
Figura 4: Ecuación de actividad de los iones y moles en solución, utilizada por el programa Phreeqc.....	18
Figura 5: Ecuación de Debye-Hückel, utilizada por el programa Phreeqc.	18
Figura 6: Sulfato de calcio disuelto en función de la concentración de cloruro de sodio ...	19
Figura 7: Solubilidad de sulfato de calcio en función de la temperatura.....	20
Figura 8: Índice de saturación del yeso y carbonato de calcio versus concentración de sulfato	21
Figura 9: Ejemplo de código de Phreeqc para evaporar agua de mar	23
Figura 10: Composición Solución 1 (Agua de Mar)	23
Figura 11: Composición Solución 2 (Agua de Mar Evaporada)	24
Figura 12: Índices de saturación en corriente 1 versus pH	25
Figura 13: : Índices de saturación en corriente 3 versus pH	25
Figura 14: Diagrama de Bloques del proceso obtenido a partir de SIM Chemistry	28
Figura 15: Piscinas de abastecimiento hídrico de la Faena Taltal	29
Figura 16: Ejemplo de balance iónico del Ca obtenido con Phreeqc.....	31
Figura 17: Índices de saturación obtenidos con Phreeqc de la corriente 1	34
Figura 18: Diagrama de Bloques del proceso (tercer caso de estudio) obtenido a partir de SIM Chemistry	36
Figura 19: Estanque de Acondicionamiento con Cal (Tercer Caso de Estudio).....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de las corrientes principales en Planta Las Luces	12
Tabla 2: Análisis del agua de mar y alimentación a planta concentradora Las Luces (valores en g/L).....	12
Tabla 3: Análisis del agua de mar, agua de proceso y agua del depósito de relaves de la Planta Las Luces, Minera Las Cenizas, año 2011	13
Tabla 4: Descripción del valor que toma el índice de saturación	17
Tabla 5: Comparación de parámetros entre soluciones al evaporar agua de mar (valores a 25°C).....	24
Tabla 6: Índices de saturación en corriente 1 y corriente 3 al adicionar hidróxido de calcio en el programa Phreeqc.....	26
Tabla 7: Caracterización de corrientes 1 y 3 de la Faena Taltal año 2011.....	30
Tabla 8: Caudales de las principales corrientes que se distribuyen en el proceso, faena año 2011.....	39
Tabla 9: Concentraciones de las especies principales en las corrientes del procesamiento de minerales primer caso de estudio, Faena Taltal año 2011	40
Tabla 10: Índices de Saturación de las especies principales en las corrientes del procesamiento de minerales, primer caso de estudio Faena Taltal año 2011	41
Tabla 11: Concentraciones de las especies principales en las corrientes del procesamiento de minerales segundo caso de estudio, Faena Taltal año 2017.....	42
Tabla 12: Índices de Saturación de las especies principales en las corrientes del procesamiento de minerales, segundo caso de estudio Faena Taltal año 2017.....	43
Tabla 13: Caudales de las principales corrientes que se distribuyen en el proceso, faena 2017 con acondicionamiento de cal.....	44
Tabla 14: Concentraciones de las especies principales en las corrientes del procesamiento de minerales tercer caso de estudio, Faena Taltal año 2017 con acondicionamiento de cal	45
Tabla 15: Índices de Saturación de las especies principales en las corrientes del procesamiento de minerales, tercer caso de estudio Faena Taltal año 2017 con acondicionamiento de cal.....	45

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción general:

Actualmente Chile se enfrenta a una escasez hídrica que al pasar los años se hace cada vez más severa afectando a distintos sectores. Uno de estos sectores perjudicado es la minería, debido al aumento de nuevos proyectos mineros cuyos yacimientos son de sulfuros de cobre que se procesan a través de la vía de concentración de minerales, la cual presenta un consumo hídrico mucho más elevado que al procesarlo mediante lixiviación, cuyo proceso generalmente es utilizado en yacimientos de óxidos de cobre. Debido a esto es necesario buscar nuevas vías de sustento hídrico donde la solución es emplear agua de mar. Para el año 2032 se espera un 68% de utilización de agua de mar en la minería del cobre según proyecciones realizadas por Cochilco [1]. Cabe mencionar, que la utilización del agua de mar tiene dos posibles caminos para ser empleada en el proceso productivo de las mineras, los cuales son: a través de plantas desalinizadoras o bien utilizar el agua de mar en forma directa con muy bajo pretratamiento previo.

Debido a esta escasez hídrica es que cada empresa minera se enfoca en recircular al máximo el agua utilizada en el proceso, sin embargo, según datos publicados por Cochilco en el año 2020 hubo un consumo de 64,34 m³/s, donde el 73 % corresponde a aguas recirculadas, el 19 % de este consumo es de aguas continentales y el 8 % de agua de mar [2].

El caso de estudio se centra en una Faena Minera que procesan 95.000 t de sulfuros de cobre al mes, obteniendo una producción anual de cobre de 60.000 t. Se destaca por ser la operación que produce con menor ley de sulfuros de cobre, y además por realizar sus operaciones con agua de mar sin ningún tratamiento de desalinización. Para esto cuenta con sistemas de transporte de agua de mar hacia un reservorio de almacenaje que presenta una capacidad de 2200 m³, dicho flujo y el agua obtenida desde el depósito de relaves se distribuyen hacia la piscina de proceso de 4000 m³ de capacidad con la finalidad de abastecer hídricamente la planta concentradora, sin embargo, este abastecimiento hídrico está expuesto a un aumento de salinidad debido a la recirculación de agua de proceso, cuya salinidad trae consecuencias negativas para el procesamiento de minerales en la etapa de flotación y detenciones del proceso debido a las mantenciones que se deben realizar.

1.2 Definición del problema:

Las recirculaciones de agua obtenidas desde los depósitos de relaves se depositan en las piscinas de agua de proceso para continuar con el ciclo de utilización en la planta concentradora Cu, a medida que va pasando el tiempo la salinidad en estas piscinas aumenta, generando un cambio en la calidad de agua la cual puede afectar el proceso productivo de concentrado de cobre, y además, por este aumento en la concentración de sales se produce incrustación de yeso en las tuberías de la faena minera, afectando el proceso productivo debido a las detenciones operacionales.

1.3 Hipótesis:

Es posible generar un criterio para establecer la máxima recirculación de agua en un proceso industrial de concentración de cobre que utiliza agua de mar directa, el cual permite establecer las condiciones operacionales para minimizar la precipitación del yeso y la calcita en las cañerías del proceso, a través los flujos operacionales, la simulación de los balances iónicos de las aguas y la estimación de los índices de saturación de los potenciales precipitados en cada corriente de la planta.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

Proponer un criterio de recirculación del agua de procesos empleada en una planta concentradora de cobre utilizando agua de mar, basándose en la simulación de su calidad. Con la finalidad de prevenir las incrustaciones del yeso y la calcita en las cañerías de una faena minera.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar los flujos de agua que se distribuyen en el proceso, considerando las evaporaciones e infiltraciones en el depósito de relaves y la piscina agua de procesos, con la finalidad de obtener un balance general de agua y las sales totales disueltas.
- Simular los balances iónicos del agua de proceso para establecer su calidad medida como salinidad mediante el programa computacional Phreeqc.
- Determinar las condiciones de formación de los precipitados de yeso y calcita, utilizando el programa Phreeqc, con la finalidad de obtener los índices de saturación y el potencial de precipitación al interior de las cañerías
- Optimizar el balance de agua y la carga salina para prevenir los precipitados de yeso y calcita en las cañerías. A partir de la tasa de recirculación del agua recuperada desde el depósito de relaves.

CAPÍTULO II: ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Actualmente la importancia de la calidad del agua se ha incrementado debido a la alta contaminación ambiental existente. Hoy por hoy existe un organismo del estado que se encarga de gestionar, verificar y difundir información hídrica del país respecto a la cantidad y calidad. El cual se titula como dirección general de aguas (DGA), cuyo proceso de generación de datos de las redes de calidad se presenta a continuación:

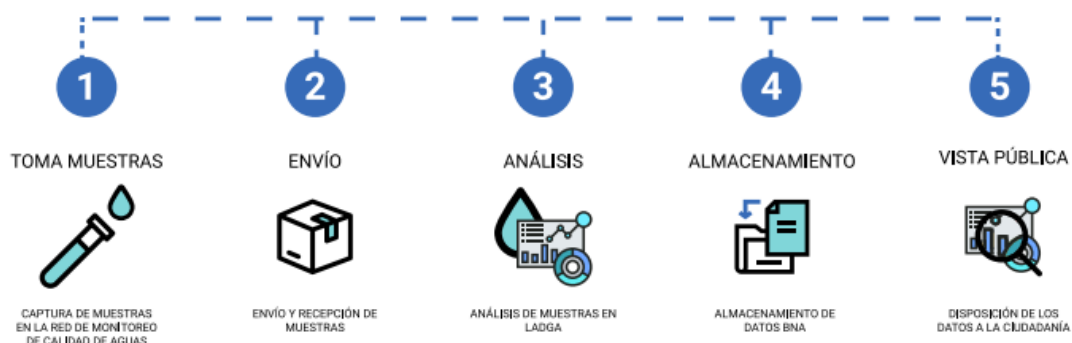


Figura 1: Proceso de generación de datos de las redes de calidad de agua de la DGA

En la Figura 1: Proceso de generación de datos de las redes de calidad de agua de la DGA, se observa una serie de procedimientos para obtener información acerca de la calidad hídrica de cada sector estudiado. Inicialmente se tiene la primera actividad que se denomina “muestreo”, la cual consta de una serie de sub-etapas, entre ellas; preparación de materiales, medición de parámetros in situ, operaciones en terreno y extracción de muestras. Una vez tomadas las muestras se procede al almacenamiento de estas en un refrigerante (cooler) con paquetes de hielo (ice pack), para luego realizar la preservación con ácido, con la finalidad de retrasar cambios físicos, químicos y/o biológicos que inevitablemente ocurren desde la obtención de las muestras hasta el análisis de éstas, y así asegurar la calidad de los resultados. Luego, se procede a la segunda actividad “envío y recepción de muestras” donde el refrigerante es transportado a la oficina regional, para luego enviar las muestras al laboratorio ambiental de la DGA a través de correo de Chile u otra empresa de transporte. Cabe destacar que todos estos transportes se realizan con condiciones establecidas, las cuales se encuentran en: el instructivo de envío y traslado de muestras.

Dicho procedimiento antes descrito lo realiza un hidromensor, el cual prepara los insumos antes de salir a terreno con la finalidad de asegurar un muestreo correcto, entre estos insumos están: envases utilizados para almacenar las muestras, asegurar el equipamiento, es decir, revisar el manual de uso del medidor, verificación del estado técnico y la calibración de dicho instrumento, además de velar por su propia seguridad, con el equipamiento correcto.

Las mediciones de algunos parámetros del agua se miden a través de medidores multiparamétrico portátiles compuestos de sondas paramétricas con registro autónomo, estos medidores incorporan una pantalla grafica que permite obtener 14 parámetros diferentes (siete son medidos y los otros son calculados a partir de los medidos), entre los parámetros medidos se tiene; el pH, el potencial redox, la turbidez, el oxígeno disuelto, la conductividad, los cloruros, los nitratos, el amonio y la temperatura. Donde dichos parámetros son indicativos de la calidad del agua. Es por lo que el hidromensor utiliza este medidor para la obtención de los parámetros in situ, los cuales son: temperatura, conductividad iónica, pH y oxígeno disuelto. Para la medición de estos tres últimos parámetros se requiere la calibración de las sondas, para ello se necesitan soluciones reguladoras de pH (*buffers*) en valores de pH = 4, 7 y 10, y el patrón de calibración de conductividad iónica con valores de: 85, 500 y $1.413 \frac{\mu S}{cm}$, además de agua desionizada y papel absorbente [3]. Con lo descrito anteriormente se logra el desarrollo de la cuarta y quinta actividad, ver Figura 1: Proceso de generación de datos de las redes de calidad de agua de la DGA, donde se proporciona a la comunidad información de la calidad hídrica del país, a través de distintos documentos en su página web, uno de ellos es “Atlas Calidad del Agua Chile 2020”, el cual indica los mapas promedios, las tendencias y la evolución temporal de parámetros como; temperatura, conductividad iónica, pH, oxígeno disuelto, litio disuelto, cobre, arsénico, nitrógeno, hierro, cloruro, sulfato, magnesio, bicarbonato, cianuro, boro, cadmio, cobalto, cromo, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio y zinc [4].

Ahora bien, en el área de la minería se realizan distintas mediciones a lo largo del proceso productivo que aportan datos importantes para el desarrollo de la obtención de minerales de interés. Una de estas mediciones corresponde a la calidad de agua que es utilizada en el proceso, cuya frecuencia de medición depende de cada empresa minera que por lo general se realiza semanalmente, en distintos puntos del proceso. Sin embargo, existen mediciones que se realizan en línea mediante medidores establecidos durante el proceso, como lo son el pH, la temperatura y conductividad iónica. Por otro lado hay otros parámetros

indicativos de la calidad del agua que se envían al laboratorio como lo son: la medición de cloruros a través del método de Mohr, la cuantificación de sulfatos y sólidos suspendidos a través del método gravimétrico, la medición de la alcalinidad total y parcial se mide por medios potenciométricos o por medio de indicadores ácido-base, la medición de la dureza total y dureza cálcica mediante el método complejo métrico, y por último, se realizan mediciones de metales como Cu, Fe y Mo mediante espectroscopia de absorción atómica [5].

Estas mediciones son importantes debido a que la calidad del recurso hídrico para una minera que opera su proceso con agua de mar sin desalinizar y con recirculaciones se ve afectada, debido a que la salinidad en la piscina de abastecimiento aumenta considerablemente a medida que transcurre el tiempo.

El porcentaje de recirculación en faenas mineras se calcula dividiendo la cantidad total de aguas que se recirculan en el proceso menos la cantidad de agua fresca que ingresa al procesamiento de minerales, en la cantidad neta de agua que se utiliza en la planta concentradora, cuya ecuación se presenta a continuación [1]:

$$\text{Tasa de Recirculación (\%)} = \frac{\text{total de agua} - \text{agua fresca}}{\text{total de agua}} \quad (1)$$

Este indicador permite a las faenas mineras generar ciertas decisiones con el objetivo de aumentar el valor de las recirculaciones, y como consecuencia se minimiza el consumo de aguas continentales o consumo de agua fresca.

Además, desde el punto de vista metalúrgico el ingresar agua de mar se ingresan iones, uno de ellos por ejemplo es el cloruro que puede oxidar estructuras metálicas, lo que alteraría químicamente las partículas y a consecuencia de eso afecta la hidrofobicidad de estas.

A modo de ejemplo, se presenta la Planta Concentradora Las Luces, propiedad del Grupo Minero Las Cenizas, ubicada en la ciudad de Taltal, Chile. Es una Planta de beneficios de Cobre que consta de instalaciones convencionales de chancado, molienda y flotación, utilizando para su procesamiento el agua de mar sin desalinizar por más de 15 años. Para el año 2011 esta planta proceso $60.000 \frac{\text{ton}}{\text{mes}}$, y a través de análisis y estudios se demostró que la sal disuelta en las corrientes del proceso aumenta en un factor de 0,7 g/L/año [6].

En Planta Las Luces, se extrae agua de mar desde la playa “Punta García” hacia la primera piscina de abastecimiento, desde ahí el caudal es bombeado hacia dos piscinas de agua de proceso donde es mezclada con las aguas recirculadas desde el depósito de relaves, esta corriente generada es utilizada en operaciones de chancado, molienda y flotación, para luego bombearla nuevamente hacia el depósito de relaves. A continuación, se presentan las corrientes principales de la Planta Las Luces que se describieron anteriormente.

Tabla 1: Descripción de las corrientes principales en Planta Las Luces

Descripción de las corrientes en Planta Las Luces	m ³ /h
Captación de agua de mar	119
Bombeo a piscinas de proceso	99
Alimentación a planta concentradora	260
Corriente recirculada desde el depósito de relaves	154

El análisis de la calidad del agua de mar y de la corriente que ingresa a la planta concentradora se determina a través de las sales totales disueltas (SDT), lo cual se presenta a continuación:

Tabla 2: Análisis del agua de mar y alimentación a planta concentradora Las Luces
(valores en g/L)

Corriente	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	SDT
Agua de mar	11,10	0,38	0,39	1,38	19,80	2,83	35,88
Alimentación a planta concentradora	13,30	0,40	1,40	1,79	24,6	4,88	46,37

Adicionalmente, para el año 2011 se publicó el análisis y caracterización de las aguas en la Planta Las Luces, para el agua del tranque, agua de proceso y agua de mar (alimentación fresca), lo cual se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3: Análisis del agua de mar, agua de proceso y agua del depósito de relaves de la Planta Las Luces, Minera Las Cenizas, año 2011

Parámetro	Expresado como	Unidad	Agua Depósito Relaves	Agua de Proceso	Agua de Mar
Cloruro	Cl	mg/L	27.000	25.000	20.000
Dureza total	CaCO ₃	mg/L	11.300	10.800	6.400
Sulfato	SO ₄	mg/L	5.640	4.900	4.740
Sólidos Suspendidos	SS	mg/L	19,50	18,00	2,85
Fósforo total	P	mg/L	0,52	0,31	<0,20
Cobre	Cu	mg/L	0,13	0,10	0,06
Arsénico	As	mg/L	0,05	0,04	0,03
Molibdeno	Mo	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01
Conductividad	-	mS/cm	76,30	71,90	57,5
pH	-	-	7,34	7,71	7,87
Temperatura	-	°C	25,70	25,50	25,60
Turbiedad		NTU	22,70	12,40	1,73

Donde la conductividad iónica se define como la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica a través de los iones disueltos, en Tabla 3: Análisis del agua de mar, agua de proceso y agua del depósito de relaves de la Planta Las Luces, Minera Las Cenizas, año 2011 se logra observar que la conductividad iónica del agua de proceso y del agua del depósito de relaves aumenta considerablemente al compararla con la alimentación fresca de la faena minera (agua de mar), esto es a consecuencia de las recirculaciones que ocurren durante el procesamiento de minerales.

A pesar de los análisis periódicos para obtener la información de la calidad del agua en el proceso, ocurren incrustaciones de sales en las cañerías de la planta concentradora, una de ellas es el yeso, lo cual genera una detención en el proceso para realizar los mantenimientos requeridos. Si bien, no se tiene la cifra exacta del espesor permisible de precipitados, pero se puede hacer una aproximación de como afecta la rugosidad de la cañería en la pérdida de carga de esta, es decir, debido a la rugosidad de la cañería es que se produce una pérdida de presión del fluido debido a la fricción que se produce con las

partículas del mismo fluido y contra las paredes de la tubería que lo conduce [7]. Lo descrito anteriormente se explica con la siguiente ecuación de Pérdida de carga de Darcy-Weisbach

$$\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho g} = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

Donde:

Δh : Pérdida de carga m

ΔP : Pérdida de presión debido a la fricción Pa

ρ : Densidad del fluido kg/m³

g : Constante gravitacional

f : Factor de fricción de Darcy -

L : Longitud de la tubería m

d : Diámetro de la tubería m

V : Velocidad media del flujo m/s

Como se indica en (2), la pérdida de carga en la tubería tiene relación con el factor de fricción de Darcy (f), cuyo valor se determina a partir del gráfico de Moody, que además relaciona la rugosidad relativa (k/d) y el número de Reynolds del fluido (Re), dicho gráfico que se presenta a continuación:

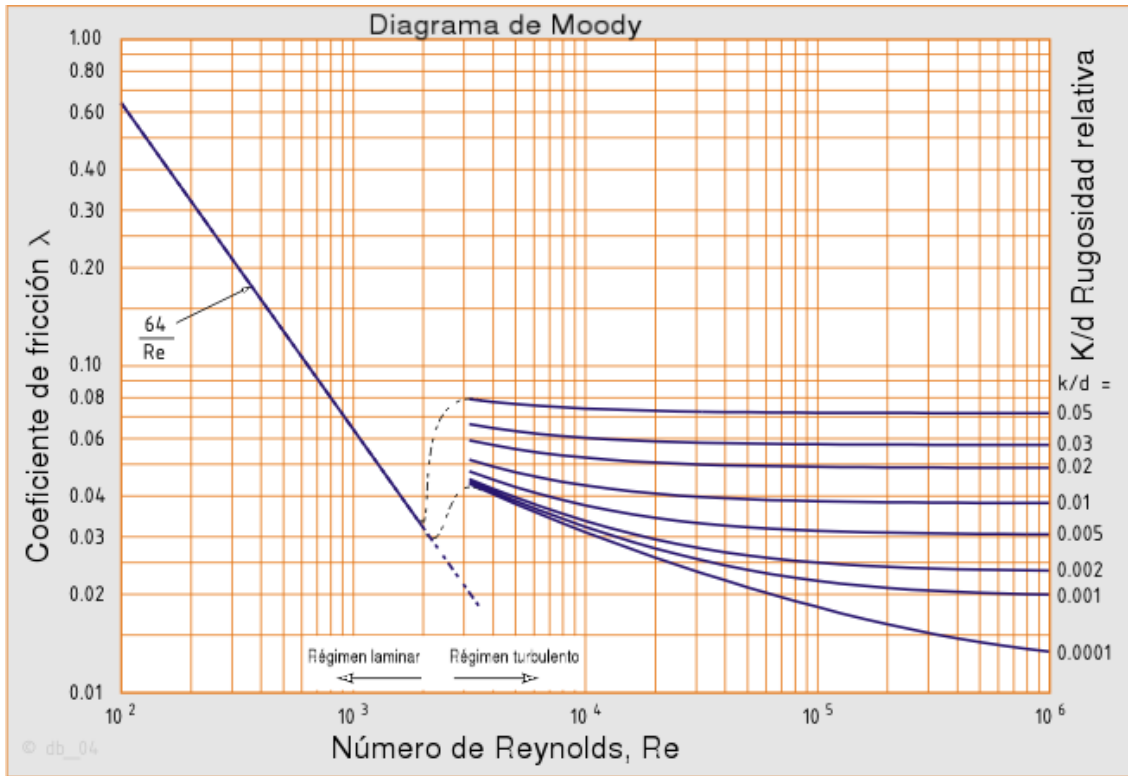


Figura 2: Diagrama de Moody

Para obtener el factor de fricción, se requiere inicialmente determinar el número de Reynolds, que viene dado por:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad (2)$$

Cuya nomenclatura se conserva de la ecuación de Darcy-Weisbach, mientras que ν corresponde a la viscosidad cinemática del fluido medida en m^2/s .

Una vez determinado el número de Reynolds se procede a interceptar dicho valor con la rugosidad relativa (indicada en el eje y, de la derecha) ver Figura 2: Diagrama de Moody, este parámetro es adimensional dado por la razón entre la rugosidad del material y el diámetro de la tubería, es decir, k/d . Una vez interceptado dichos valores se lee horizontalmente hacia la izquierda obteniendo el factor de fricción $\lambda=f$.

Con ello, es posible concluir que a medida que hay mayor precipitación de yeso en las tuberías del proceso la rugosidad aumenta, y a su vez aumenta el factor de fricción que tiene una relación directa con la pérdida de presión del fluido por las cañerías, según (2).

Si bien las precipitaciones de carbonatos y de yeso aumentan la pérdida de carga, sin embargo, podrían ser severas al punto de obstruir las tuberías debido a las recirculaciones del agua de proceso, es decir, a medida que aumentan las recirculaciones de agua y con ello la evaporación de los depósitos de almacenamiento, la salinidad aumenta cambiando parámetros en la corriente como; cambio de densidad, de conductividad iónica, índices de saturación de las diferentes especies presentes, aumento de la concentración de los iones disueltos (medida como salinidad), entre otros.

La salinidad antes mencionada es posible medirla a través de la totalidad de sales disueltas (SDT) presentes en la corriente que se desea estudiar, esto es posible realizarlo a través de balances iónicos que permiten determinar las diferentes asociaciones presentes entre cationes y aniones disueltos en la corriente de agua, donde cuya sumatoria de la concentración de las distintas asociaciones nos da como resultado la SDT, es decir, la calidad de la corriente de estudio. El programa Phreeqc proporciona las concentraciones de las distintas asociaciones de iones medidas como molalidad *m*. Adicionalmente, permite determinar el índice de saturación (SI) de cada especie lo cual da un indicativo sobre las posibles sales que cumplan con las condiciones para su precipitación. Este índice se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$SI = \log \left(\frac{IAP}{K_{ps}} \right) \quad (3)$$

Donde:

- K_{ps} : corresponde a la constante de equilibrio de solubilidad, es decir, que tan soluble es la sal que se estudia en el agua.
- IAP : Es el producto de actividad iónica que se calcula al igual que la constante de equilibrio de solubilidad, sin embargo, se consideran las actividades medidas reales.

Cuyos valores de índice de saturación y su significado se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 4: Descripción del valor que toma el índice de saturación

$IAP = K_{ps}$	SI = 0	Agua está en equilibrio con el mineral estudiado.
$IAP < K_{ps}$	SI < 0	Agua Insaturada con el mineral, es decir, la sal se encuentra disuelta en la corriente de agua.
$IAP > K_{ps}$	SI > 0	Agua Sobresaturada con el mineral, es decir, se reúnen las condiciones para que la sal precipite.

Cabe destacar que si el índice de saturación es positivo no indica que la sal estudiada precipita, sino que reúne las condiciones para hacerlo [8]. La precipitación de la sal va a depender de la cinética de esta.

Como se mencionó anteriormente el programa Phreeqc calcula los índices de saturación de las especies, lo cual utiliza distintos modelos para realizarlo. A continuación, se presentan las ecuaciones más relevantes utilizadas por el programa (obtenidas desde su manual).

En primer lugar, se presenta la ecuación de balance de masa que involucra la constante de equilibrio (que está en función de la temperatura) y de los coeficientes estequiométricos de las reacciones químicas involucradas. En segundo lugar, se presenta la fórmula de la actividad de los iones, que está en función del coeficiente de actividad y molalidad, donde este último término se calcula a partir de los moles en solución y la masa del agua. Y, en tercer lugar, se presenta la ecuación de Debye-Hückel que define el coeficiente de actividad de las especies acuosas. Todo lo descrito anteriormente se presentan en las siguientes figuras:

$$K_i = a_i \prod_m^{M_{aq}} a_m^{-c_{m,i}}$$

Figura 3: Ecuación de balance de masa, utilizada por el programa Phreeqc

$$a_i = \gamma_i m_i$$

$$n_i = m_i W_{aq}$$

Figura 4: Ecuación de actividad de los iones y moles en solución, utilizada por el programa Phreeqc

$$\log \gamma_i = - \frac{Az_i^2 \sqrt{\mu}}{1 + Ba_i^o \sqrt{\mu}} + b_i \mu$$

Figura 5: Ecuación de Debye-Hückel, utilizada por el programa Phreeqc.

Donde la constante de equilibrio de solubilidad utilizada para determinar el índice de saturación de las especies es calculada a partir de la actividad de los iones en solución.

Si bien las condiciones de precipitación de sales dependen de las características de la corriente y su cinética, no obstante, a continuación, se presenta la solubilidad del yeso en distintas condiciones de trabajo.

Inicialmente se observa en la siguiente ilustración la relación de la cantidad de yeso disuelto en función del cloruro de sodio disuelto en la corriente de estudio, a 25 °C y 1 atm [9].

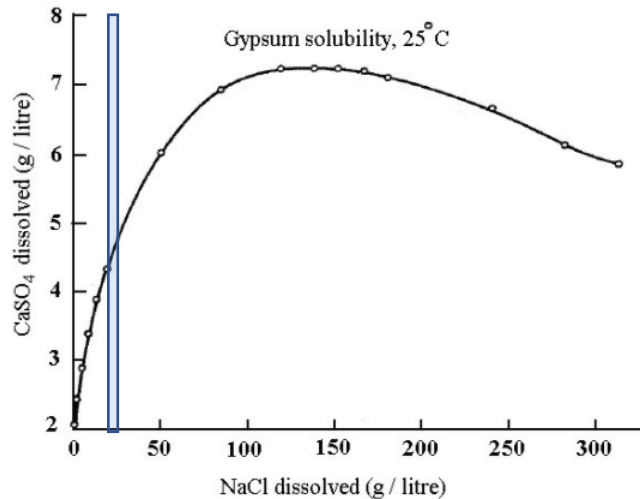


Figura 6: Sulfato de calcio disuelto en función de la concentración de cloruro de sodio

En Figura 6: Sulfato de calcio disuelto en función de la concentración de cloruro de sodio, se observa la condición inicial de la corriente de entrada que presenta una concentración de 31 g/L de NaCl disuelto (indicado con una banda azul en el gráfico). Además, a medida que el agua se va evaporando y al mismo tiempo recirculando, la concentración de sales aumenta, es decir, aumenta la concentración de sulfato, carbonatos, calcio, sodio, cloruros, entre otros. Y con ello van cambiando las condiciones de trabajo, por lo tanto, al tener más sulfato de calcio disuelto y otros parámetros de operación, permiten reunir las condiciones de precipitación de las sales que se busca evitar. Por lo tanto, es necesario tener una estimación de cómo se comporta la solubilidad de CaSO₄ a distintas concentraciones de NaCl disuelto en la corriente que se estudia.

Otro parámetro importante corresponde la relación de la solubilidad del sulfato de calcio con la temperatura [10], donde la mayoría de las faenas mineras se encuentran en el norte del país y el valor de las temperaturas varía bastante. La relación entre la solubilidad de CaSO₄ versus temperatura se presenta a continuación:

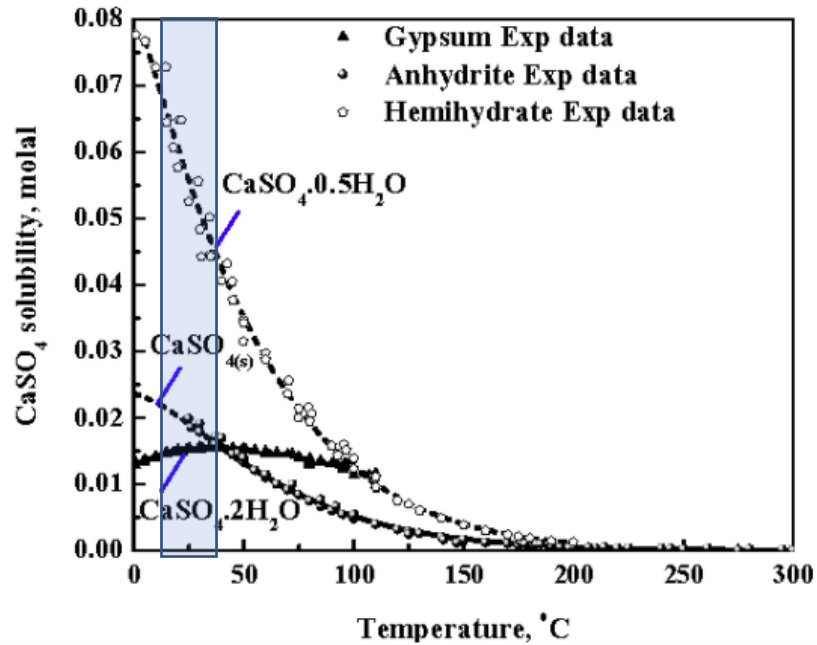


Figura 7: Solubilidad de sulfato de calcio en función de la temperatura

Considerando la región de Antofagasta, se presentan temperaturas mínimas de 5°C y temperaturas máximas de 30°C, rango acotado con una banda de color azul en el gráfico. En este rango la variación de la solubilidad de la anhidrita y el hemi-hidrato varían bastante, mientras que el yeso aumenta levemente. Por lo cual es importante considerar la dependencia de la solubilidad del sulfato de calcio versus la temperatura.

Y, por último, se considera la relación entre el índice de saturación (SI) del yeso y carbonato de calcio versus la concentración de sulfato (SO_4), cuya concentración inicial en el agua de mar es de 2,55 g/L, dando un SI del yeso de -0,8 y del carbonato de calcio de 0,53. Donde este último mineral presenta las condiciones para su precipitación, mientras que el yeso se encuentra disuelto en la corriente, debido a que no se reúnen las condiciones de precipitación.

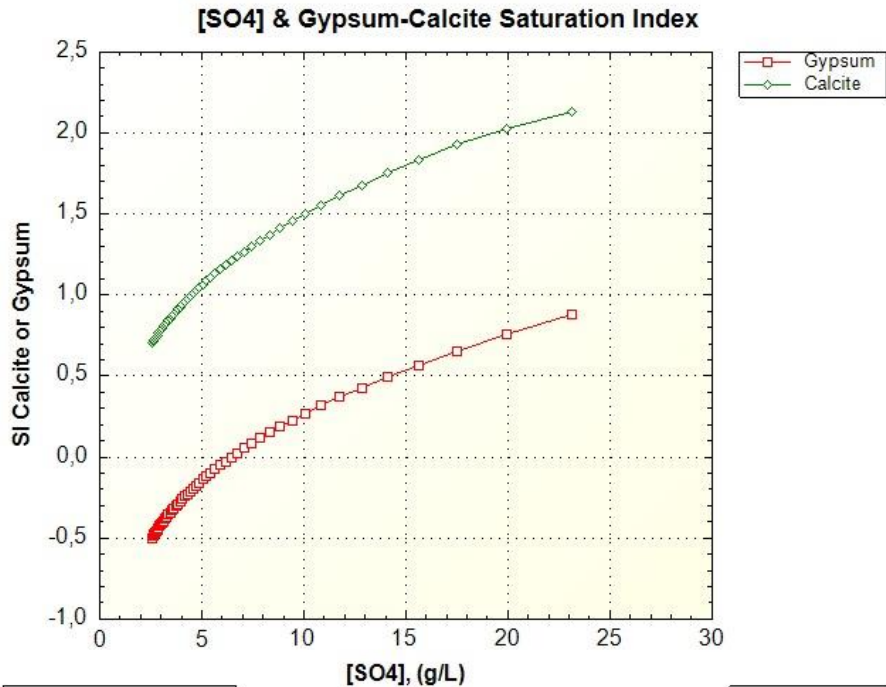


Figura 8: Índice de saturación del yeso y carbonato de calcio versus concentración de sulfato

La Figura 8: Índice de saturación del yeso y carbonato de calcio versus concentración de sulfato se realizó mediante el programa Phreeqc a 25,8°C a 1 atm.

Debido a todo lo mencionado anteriormente es que existe una oportunidad de estudio: la propuesta de un criterio de recirculación del agua de proceso desde el depósito de relaves al proceso productivo. Este criterio se crea a partir del estudio de la calidad de cada una de las corrientes presentes en una faena minera utilizando agua de mar, lo que permitiría a cada empresa tomar decisiones operacionales al respecto, como; disminuir la recirculación de aguas del proceso e introducir agua fresca, ya que se produce un aumento de salinidad a medida que las corrientes se recirculan y se producen evaporaciones, con la finalidad de reducir los distintos precipitados en las tuberías del proceso que obstruyen el correcto flujo.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO

1.1 Metodología a trabajo a través de simuladores

La metodología de trabajo para lograr obtener un criterio de recirculación del agua de procesos de una faena minera en base a la calidad se realizó a través de tres casos de estudios para los años 2011 y 2017, utilizando el simulador Phreeqc y el programa HSC Chemistry.

A continuación, se detalla brevemente en que consiste cada uno de estos programas para luego desarrollar la metodología de trabajo.

1.1.1 Breve descripción de Phreeqc:

Es un software que sirve para simular diferentes cálculos geoquímicos en medio acuoso, es decir, se basa en la interacción de gases o minerales que interactúan con el agua, ya sea con aguas naturales o contaminadas. Generando un equilibrio químico entre tres fases, donde la cantidad de información que se puede adquirir es bastante variada. Se pueden simular diferentes procesos como; evaporación de agua, reacciones redox, cinética de precipitación, disolución, lixiviación, electro-obtención, entre otros.

Se compone de elementos básicos como; input: es la entrada para comenzar la simulación, donde se debe ingresar la composición de la corriente a estudiar y el código de la actividad que se desee simular, por otro lado, se encuentra el output: que corresponde al archivo de salida una vez que el programa ejecuta la simulación, entregando: la composición y la descripción de la solución, balances iónicos e índices de saturación de las diferentes especies. Además, se compone de otro elemento database: es la base de datos que posee el programa para las diferentes especies.

Dichos elementos básicos se detallan con el siguiente ejemplo, el cual presenta la composición del agua de mar de la Región de Antofagasta nombrada como: solución 1 (solution1), para luego realizar la evaporación de 5 moles de agua generando la solución 2 (solution2), el código de lo descrito anteriormente se presenta a continuación:

```

SOLUTION 1 # COMPOSICIÓN AGUA DE MAR
  pH                7.87
  units mol/kgw
  C(4)              4.210e-03
  Ca                 1.009e-02
  Cl                 5.793e-01
  K                  1.008e-02
  Mg                 5.888e-02
  Na                 5.008e-01
  S(6)              3.056e-02

REACTION 1
  H2O   -1.0
  5 moles

SAVE solution 2
END

```

Figura 9: Ejemplo de código de Phreeqc para evaporar 5 moles de agua de mar

El código presentado en la figura anterior se introduce como archivo de entrada en input file del programa, luego para iniciar la simulación se debe correr el programa en la casilla de run, donde se obtiene el output, el cual entrega información tanto de la solución 1 como de la solución 2, cuyas composiciones se presentan a continuación:

```

Initial solution 1.

-----Solution composition

  Elements           Molality           Moles
  C(4)               4.210e-03       4.210e-03
  Ca                  1.009e-02       1.009e-02
  Cl                  5.793e-01       5.793e-01
  K                   1.008e-02       1.008e-02
  Mg                  5.888e-02       5.888e-02
  Na                  5.008e-01       5.008e-01
  S(6)               3.056e-02       3.056e-02

```

Figura 10: Composición Solución 1 (Agua de Mar)

```

-----Solution composition
Elements      Molality      Moles
C             4.627e-03    4.210e-03
Ca            1.109e-02    1.009e-02
Cl            6.366e-01    5.793e-01
K             1.108e-02    1.008e-02
Mg            6.471e-02    5.888e-02
Na            5.504e-01    5.008e-01
S             3.359e-02    3.056e-02

```

Figura 11: Composición Solución 2 (Agua de Mar Evaporada)

Al observar y comparar la composición de ambas soluciones es posible concluir que la concentración de los elementos aumenta al evaporar agua de mar. Además, el programa permite obtener otros parámetros para lograr caracterizar ambas soluciones. A continuación, se presenta la comparación de ambas soluciones, solo con algunos de los parámetros que entrega el programa.

Tabla 5: Comparación de parámetros entre soluciones al evaporar agua de mar (valores a 25°C)

Parámetro	Solución 1 Agua de Mar	Solución 2 Agua de Mar Evaporada
pH	7,87	7,88
Densidad	1,024 $\frac{g}{cm^3}$	1.026 $\frac{g}{cm^3}$
Conductividad iónica	50202 $\frac{\mu S}{cm}$	54067 $\frac{\mu S}{cm}$
Índice de saturación Yeso	-0,90	-0,85
Índice de saturación Calcita	-7,49	-7,45
Índice de saturación Dolomita	-13,74	-13,66

Una vez explicado este ejemplo, el programa Phreeqc en el desarrollo de esta memoria permitió simular los balances iónicos de cada una de las corrientes del proceso, y a su vez conocer las condiciones de precipitación de las diferentes especies involucradas a través de los índices de saturación.

A continuación, se presenta la variación de los índices de saturación al adicionar hidróxido de calcio en dos corrientes de estudio importantes; corriente 1 que corresponde a la alimentación fresca de la fauna, y la corriente 3 que corresponde a la alimentación de la planta concentradora.

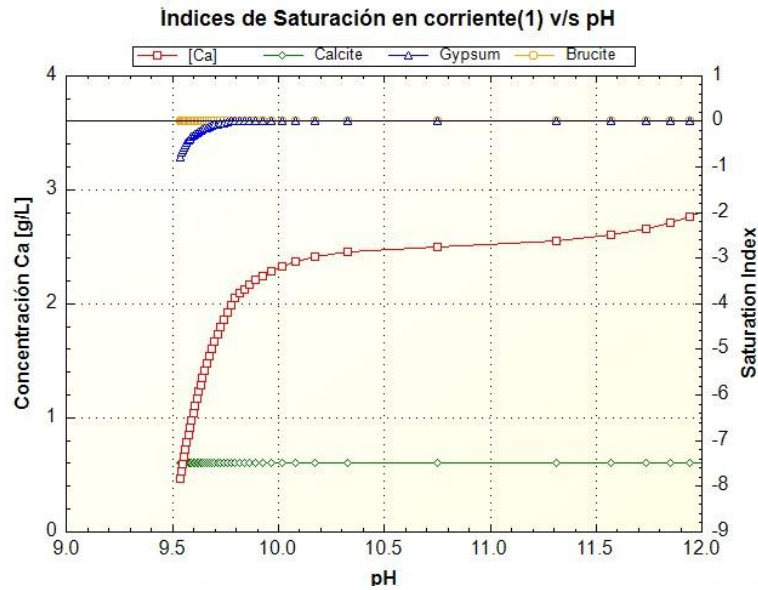


Figura 12: Índices de saturación en corriente 1 versus pH

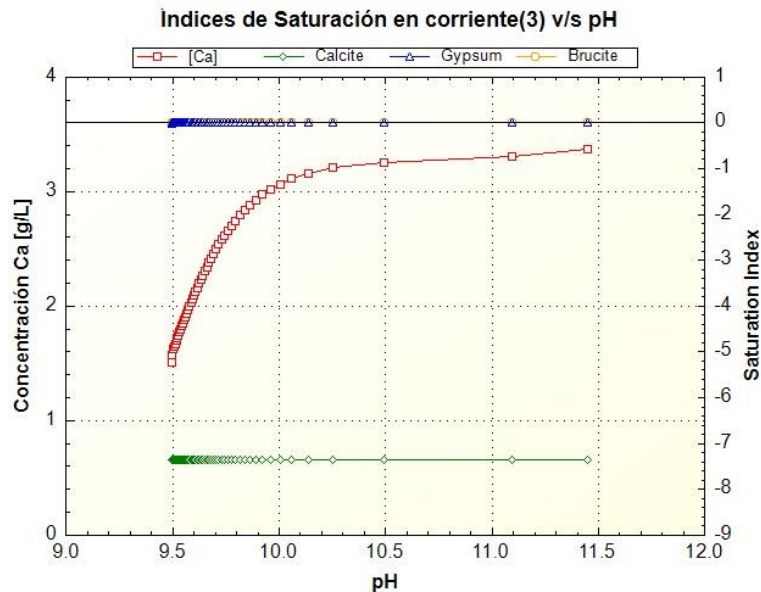


Figura 13: : Índices de saturación en corriente 3 versus pH

Se observa que al adicionar hidróxido de calcio en ambas corrientes la concentración de calcio aumenta (indicada en el eje y de la izquierda) y a su vez el pH, mientras que el índice de saturación de la calcita y brucita se mantienen constantes en ambas corrientes, donde la brucita reúne las condiciones de precipitación (observar los índices de saturación en el eje y de la derecha). Sin embargo, para que ocurra la precipitación del yeso en la corriente 1 se requiere adición del reactivo para ajustar el pH aproximadamente a 9,8, mientras que en la corriente 3 el yeso presenta las condiciones de precipitación a pH= 9,5 lo cual se debe a que la corriente 3 presenta recirculaciones del proceso, y como consecuencia presenta mayor cantidad de iones disueltos. Los índices de saturación de las especies más relevantes en ambas corrientes se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6: Índices de saturación de la corriente 1 y la corriente 3 al adicionar hidróxido de calcio en el programa Phreeqc

Phase	Corriente 1	Corriente 3
Anhydrite	-0.13	-0.13
Aragonite	-7.56	-7.44
Bischofite	-8.98	-8.67
Brucite	0.00	0.00
Calcite	-7.49	-7.38
Dolomite	-16.34	-16.06
Epsomite	-4.41	-4.38
Gypsum	0.00	0.00
Halite	-2.52	-2.35
Hexahydrite	-4.64	-4.61
Hydroxichloride(Ca)	-5.24	-5.12
Hydroxichloride(Ca:H2O)	-3.41	-3.29
Hydroxichloride(Mg:4H2O)	-2.64	-2.49
Lime	-13.96	-13.99
Magnesite	-9.49	-9.33
Mg ₃ Cl(OH) ₅ :4H ₂ O _(s)	-2.70	-2.55
MgOHCl _(s)	-9.59	-9.43
MgSO ₄ _(s)	-11.11	-11.06

Monohydrocalcite	-8.31	-8.19
Pentahydrate	-4.27	-4.24
Periclase	-4.47	-4.46
Portlandite	-4.08	-4.11
Sulfur	-20.22	-19.32
Sylvite	-3.60	-3.50

En resumen, la utilización del programa Phreeqc contribuye al desarrollo de los siguientes objetivos específicos: Simular los balances iónicos del agua de proceso para establecer su calidad medida como salinidad mediante Phreeqc, y determinar las condiciones de formación de precipitados de yeso y carbonato, utilizando el programa Phreeqc, para obtener los índices de saturación y la tasa de precipitación.

1.1.2 Breve descripción de HSC Chemistry:

Es un software que permite realizar distintos cálculos termodinámicos, diagramas de flujos (diagrama de bloque o bien con sus respectivos equipos), balances másicos y energéticos, entre otra información. Este software se compone de tres módulos; HSC Map, HSC Sim y HSC 6.0. Donde estos dos últimos fueron utilizados en la presente memoria, para realizar los diagramas de bloques con la finalidad de representar el proceso de estudio, y para realizar el balance másico de las corrientes presentes en el procesamiento de minerales.

A continuación, se presenta la descripción de los tres casos de estudio desarrollados, en cada uno de ellos se realizó el balance general de agua y el balance iónico de cada corriente. Todos los cálculos realizados se basaron en la Faena Taltal, Planta Las Luces que pertenece al grupo minero Las Cenizas.

1.2 Caso de Estudio 1: Faena Taltal año 2011

1.2.1 Balance general de agua en el primer caso de estudio

El primer caso de estudio se llevó a cabo a partir de las corrientes obtenidas en [6], donde se consideran las evaporaciones y pérdidas de agua que se producen durante el procesamiento de minerales.

Para términos de generalidad se consideran 4 unidades importantes que se distribuyen en el proceso; piscina agua de mar, piscina agua de procesos, planta concentradora y depósito de relaves. Cuyo diagrama de bloques se presenta a continuación:

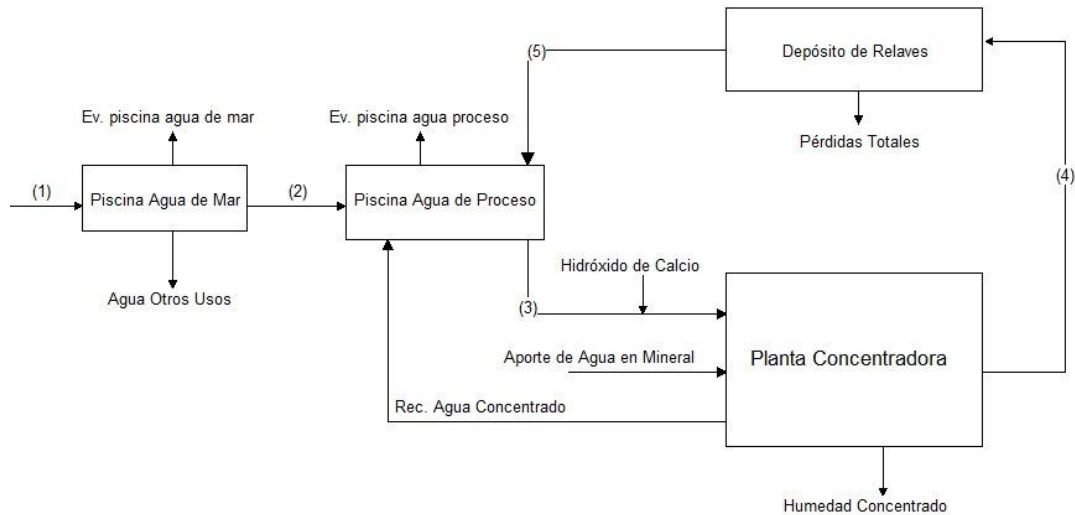


Figura 14: Diagrama de Bloques del proceso obtenido a partir de SIM Chemistry

El abastecimiento hídrico de la faena como se mencionó utiliza agua de mar sin desalar en su procesamiento, para ello desde el mar se bombea la corriente 1 que corresponde a $119,1 \text{ m}^3/\text{h}$ hacia el primer almacenamiento hídrico de la faena; piscina de agua de mar. Desde este punto de abastecimiento se distribuyen 3 corrientes; agua otros usos, que considera el lavado de algunos equipos, riego de caminos y supresión de polvos. Corriente 2 la cual abastece de agua fresca la piscina de agua de proceso, cuyo caudal es de $99,3 \text{ m}^3/\text{h}$. Y, por último, la evaporación que se produce en la piscina de agua de mar, la cual se determinó utilizando la tasa de evaporación reportada por la empresa de $0,00021 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ (equivalente a $5 \text{ L}/\text{d}/\text{m}^2$) [6], y el área de la piscina de 660 m^2 determinada por la herramienta de medición de google earth.

Luego la corriente 2 ingresa en la piscina de agua de procesos, donde interactúan cuatro corrientes, dos de ellas salen de la unidad y las otras dos se recirculan a la piscina de agua de procesos. La corriente que se denomina Rec. Agua Concentrado corresponde al agua recuperada de los espesadores y filtros del concentrado que se genera en la planta concentradora, e ingresa a la piscina de agua de proceso. La

otra corriente que ingresa a esta unidad es la corriente 5 que es recuperada desde el depósito de relaves con un caudal de $153,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Por otro lado, una de las corrientes que salen de la unidad corresponde al abastecimiento de la planta concentradora indicada como corriente 3 que proporciona un caudal de $260,4 \text{ m}^3/\text{h}$. Y la evaporación producida en la piscina de agua de procesos se determinó de la misma manera que en la piscina de agua de mar, con un área de abastecimiento hídrico de $1.500 \text{ [m}^2\text{]}$, la cual se calculó a partir de las dimensiones de la piscina obtenida a través de google earth. Ambas piscinas de almacenamiento hídrico se presentan a continuación:



Figura 15: Piscinas de abastecimiento hídrico de la Faena Taltal

En cuanto a la planta concentradora se consideró el aporte de agua que ingresa con el mineral de entrada, es decir, la humedad de este más el caudal que ingresa a la etapa de chancado para la supresión de polvos, lo cual genera un caudal total de $7,3 \text{ m}^3/\text{h}$. Y, por otro lado, el concentrado de cobre obtenido en la planta es espesado y filtrado, sin embargo, tiene asociado un flujo de $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Por último, en esta unidad se genera una corriente 4 la cual es bombeada hacia el depósito de relaves. En esta última unidad de estudio se consideró una corriente nombrada como pérdidas totales que incluye las evaporaciones e infiltraciones generadas allí.

La ecuación general que se empleó para realizar los balances másicos en cada una de las unidades del diagrama; piscina agua de mar, piscina agua de proceso, planta concentradora y depósito de relaves, se presenta a continuación:

$$Q_{entrada} = Q_{recuperada} + Q_{agua\ evaporada} + Q_{retenida} + Q_{agua\ infiltrada} \quad (4)$$

Adicionalmente, en la planta concentradora se consideró el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) que es utilizado como reactivo en la etapa de flotación, cuya función es ajustar al pH de flotación de cobre, en un rango de operación de 10,3 a 10,5. Y colaborar como depresante de la pirita en dicha etapa.

1.2.2 Balance iónico de las corrientes principales en el primer caso de estudio

Primero que todo para realizar los balances iónicos se ajustan las corrientes que ingresa a la piscina de agua de mar y la corriente que ingresa a la planta concentradora, las que son representadas en el diagrama por 1 y por 3 respectivamente. Ambas composiciones están descritas en [6], donde indican la cantidad de sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), cloruro (Cl) y sulfato (SO_4). No obstante, estas corrientes fueron balanceadas en el programa Phreeqc para calcular la cantidad de carbonato (CO_3) presente. Cuya caracterización de ambas corrientes se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7: Caracterización de corrientes 1 y 3 de la Faena Taltal año 2011

Parámetro	Corriente 1	Corriente 3
CO_3 , g/L *	0,25	0,32
Ca, g/L	0,39	1,44
Cl, g/L	19,80	25,39
K, g/L	0,38	0,41
Mg, g/L	1,38	1,85
Na, g/L	11,10	13,73
SO_4 , g/L	2,83	5,04
pH	7,87	7,71
Densidad, g/cm ³	1,02	1,03
Conductividad, $\frac{\mu S}{cm}$	50.202	60.297
SDT, g/L	36,13	38,18

* La concentración del carbonato es una estimación por simulación con Phreeqc

La corriente 2 se determinó con la tasa de evaporación que se produce en la piscina de agua de mar, donde se calcularon los moles evaporados los cuales se ingresaron al programa Phreeqc. La corriente 4 que corresponde a lo que se obtiene desde la planta concentradora hacia el depósito de relaves, se obtuvo adicionando hidróxido de calcio a la corriente 3 para ajustar el pH de flotación entre 10,3 a 10,5. Y, por último, la corriente 5 de la faena de Taltal del año 2011 se estimó por cada elemento; en el caso del carbonato, potasio, cloruro y sodio se ajustaron de acuerdo con lo indicado en [11]. El magnesio se obtuvo por balance según la concentración en cada uno de los caudales. El calcio se ajustó por solubilidad del yeso. Y, por último, el sulfato se calculó con Phreeqc por balance iónico.

Una vez obtenida cada una de las corrientes principales del proceso (corrientes: 1,2,3,4, y 5), ver Figura 14: Diagrama de Bloques del proceso obtenido a partir de SIM Chemistry, se realizaron los balances iónicos mediante Phreeqc para cada uno de los elementos presentes en las corrientes de interés.

Para ejemplificar este término se consideró el balance iónico del calcio en la corriente 1, donde el programa entrega las distintas asociaciones entre aniones y cationes, además de la concentración de la especie estudiada, tal como se observa a continuación:

Ca	1.009e-02
Ca+2	4.927e-03
CaCO3	4.210e-03
CaSO4	6.087e-04
CaCl+	3.148e-04
CaCl2	2.994e-05
CaOH+	2.194e-08
CaHSO4+	6.849e-11
CaHCO3+	6.745e-13
Ca(OH)2	8.914e-16

Figura 16: Ejemplo de balance iónico del Ca obtenido con Phreeqc

La sumatoria de las distintas asociaciones del calcio corresponde a la concentración total del calcio en dicha corriente medida como molalidad, representado con la siguiente ecuación:

$$[Ca]_{TOT} = [Ca^{+2}] + [CaCO_3] + [CaSO_4] + [CaCl^+] + [CaCl_2] + [CaOH^+] + [CaHSO_4^+] + [CaHCO_3^+] + [Ca(OH)]_2 \quad (5)$$

Como se mencionó anteriormente este balance iónico se realizó a todos los elementos presentes en las corrientes de estudio, lo que permitió obtener la totalidad de sales disueltas en cada corriente, y con ello caracterizarlas basándose en su calidad medida a través de la salinidad.

Para observar como cambia la calidad de las corrientes, se realizó la comparación de cada una de ellas en base a la corriente de entrada que corresponde a la composición de agua de mar de la Región de Antofagasta (Corriente 1), cuya caracterización se detalla en Tabla 7: Caracterización de corrientes 1 y 3 de la Faena Taltal año 2011.

A partir de lo anterior se obtuvo la concentración de las sales a medida que transcurre el tiempo, y además se compararon las corrientes entre sí con la finalidad de obtener como cambia la calidad del recurso hídrico con las recirculaciones del proceso. Cabe destacar que el análisis de la calidad del agua se enfocó directamente en la piscina de agua de proceso, debido a que en esta unidad se recircula el agua desde el depósito de relaves, generando un aumento en la salinidad del agua que ingresa a la planta concentradora.

Adicionalmente, con los resultados obtenidos del balance iónico se realizaron gráficos de calibración para ajustar los futuros balances. Estos gráficos están en función de la totalidad de sales disueltas y la concentración de sulfato y cloruro en corrientes frescas (agua de mar) y corrientes recirculadas (agua de mar más mineral), ambos gráficos se presentan a continuación:

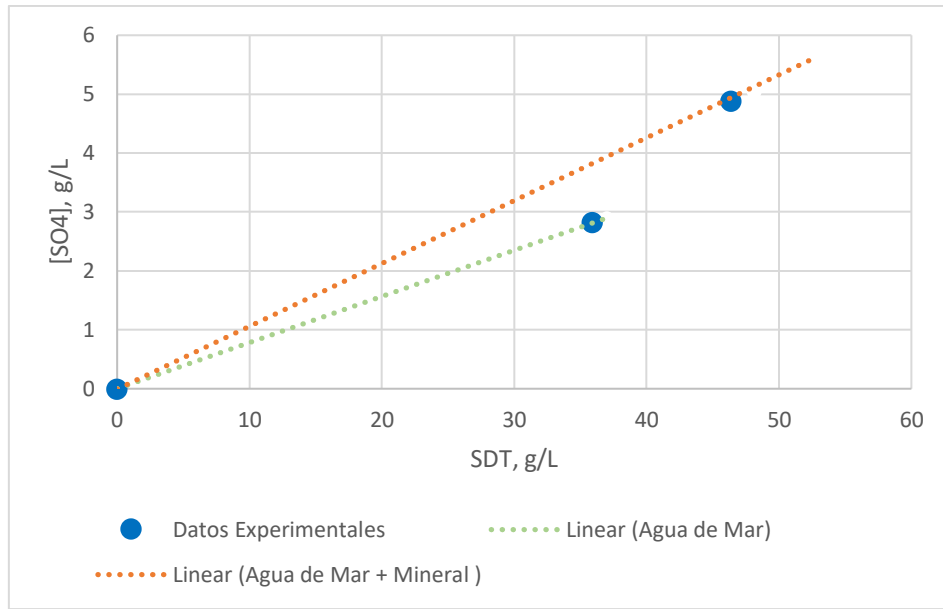


Gráfico 1: Concentración de sulfato versus totalidad de sales disueltas

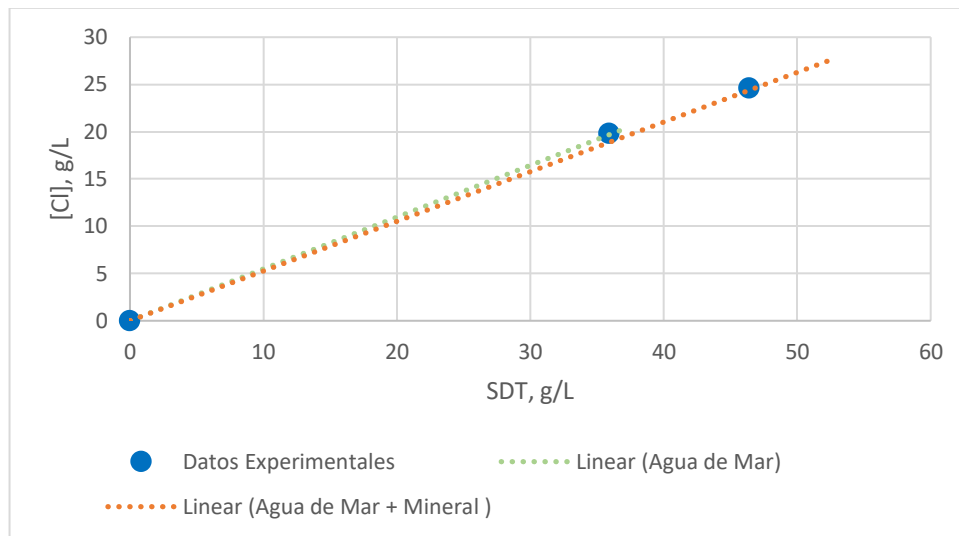


Gráfico 2: Concentración de cloruro versus totalidad de sales disueltas

La concentración de sulfato aumenta en las corrientes recirculadas a diferencia de la concentración del agua de mar, y esto se debe a la disolución de pirita que ocurre en el depósito de relaves.

Por otro lado, la variación en la concentración del cloruro es leve, ya que este elemento se concentra solo por evaporación de las aguas.

1.2.3 Condiciones de precipitación del Yeso, Carbonatos y Brucita en el primer caso de estudio

La precipitación de las especies fue asociada con los índices de saturación (SI) que entrega el programa Phreeqc. Donde los SI que toman valores entre cero y valores positivos indican que la especie en cuestión reúne las condiciones necesarias para precipitar, además el programa entrega la tasa de precipitación de cada especie.

Los SI más relevantes de la corriente 1 de estudio, que corresponde a la alimentación fresca de la faena, se presentan a continuación:

Phase	SI**
Anhydrite	-1.03
Antarctite	-7.85
Aragonite	-7.56
Artinite	-10.98
Bischofite	-7.40
Brucite	-3.32
CaCl ₂ :4H ₂ O	-9.25
Calcite	-7.49
CO ₂ (g)	-10.58
Dolomite	-13.74
Epsomite	-2.70
Gypsum	-0.90
H ₂ (g)	-23.79
H ₂ O (g)	-1.50
Halite	-2.53
Hexahydrate	-2.94
Hydromagnesite	-35.50

Figura 17: Índices de saturación obtenidos con Phreeqc de la corriente 1

Se observó que en la corriente 1 (agua de mar) no hay ninguna especie que reúna las condiciones para precipitar. Además, como corresponde a la alimentación fresca de la faena, es la corriente base para medir como cambia la calidad y los precipitados de las otras corrientes involucradas durante el procesamiento de minerales (corriente 2, 3, 4 y 5).

Por otro lado, mediante el programa se realizaron distintos códigos que permitieron relacionar la precipitación de ciertas sales con otros parámetros, como, por ejemplo; la densidad, el pH y concentraciones de iones como el Mg, y con ello reunir las

condiciones de precipitación del yeso, carbonatos y brucita que se generan durante el proceso minero.

1.3 Caso de Estudio 2: Faena Taltal año 2017

Para el año 2017 se consideró la misma distribución de las corrientes que en el primer caso de estudio, ver Figura 14: Diagrama de Bloques del proceso obtenido a partir de SIM Chemistry, y la misma composición de las corrientes 1 y 2. Sin embargo, se modificó la composición de las corrientes 3, 4 y 5, debido a que al pasar de los años las recirculaciones del recurso hídrico dentro de la planta tiene como consecuencia un aumento en la salinidad.

1.3.1 Balance iónico de las corrientes principales en el segundo caso de estudio

Para iniciar las simulaciones se generó una aproximación de la corriente 5 de la faena de Taltal año 2017 en base al pH y conductividad obtenidos de [12]. Y de la concentración de cloruro y de sulfatos obtenido de la correlación generada en: **Error! Reference source not found.** y en Grafico 2: Concentración de cloruro versus totalidad de sales disueltas.

Una vez que se obtuvo la corriente 5 estimada para el año 2017, con el programa Phreeqc se utilizó el código de mezclar aguas que tuvo por finalidad obtener la corriente 3 en base a la corriente 2 y 5, en las porciones adecuadas según el balance general de agua. Y finalmente, la corriente 4 se obtuvo a partir de la corriente 3 con la adición del reactivo hidróxido de calcio $[Ca(OH)_2]$ ajustando el pH de operación de flotación de cobre entre 10,3 a 10,5.

En cuanto al balance iónico de las corrientes de interés para el año 2017 se realizó de la misma manera que en el primer caso de estudio, con la finalidad de obtener la totalidad de sales disueltas (SDT) en cada una de las corrientes, y con ello se generó una comparación entre las calidades de cada una de las corrientes en el año 2017, y una comparación entre las calidades de las corrientes entre el año 2011 y el año 2017.

1.3.2 Condiciones de precipitación del Yeso, Carbonatos y Brucita en el segundo caso de estudio

En relación con las posibles especies que precipitan, el análisis es igual que para el año 2011, es decir, los SI fueron los encargados de indicar las especies que reúnen las condiciones de precipitación y en que cantidad precipita, ambos datos fueron obtenidos mediante el programa Phreeqc.

Adicionalmente en el programa se crearon códigos para relacionar parámetros como; densidad, pH, concentraciones iónicas e índices de saturación en función de la salinidad de las corrientes, lo que permitió obtener las condiciones de precipitación de las distintas sales.

1.4 Caso de Estudio 3: Acondicionamiento de cal para el caso de estudio 2

El tercer caso de estudio se realizó en base a la información de las calidades de agua de la faena en el año 2017, que, a diferencia de los otros casos de estudio, aquí se incorporó un equipo de acondicionamiento del agua recirculada (corriente 5) con hidróxido de calcio, el cual permite precipitar ciertas sales en un equipo neutralizante y evitar que dichas sales precipiten en las tuberías de la planta concentradora. Cabe destacar que este corresponde a un aporte propio y no ocurre en la actualidad en la Faena de Taltal. A continuación, se muestra el diagrama de bloques del tercer caso de estudio:

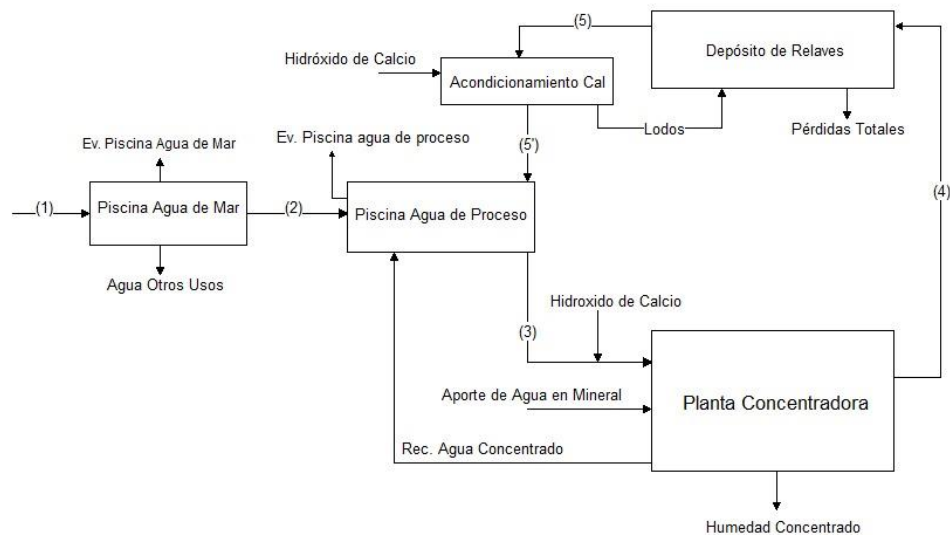


Figura 18: Diagrama de Bloques del proceso (tercer caso de estudio) obtenido a partir de SIM Chemistry

La modificación consistió en la incorporación de un equipo compuesto por un estanque agitador y un espesador. En el estanque agitador ingresa el reactivo ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sólido y la corriente recirculada desde el depósito de relaves (corriente 5) mediante un tiempo de residencia reducido, aquí se genera la neutralización de ciertas sales, para luego ingresar a un espesador donde se obtiene una separación entre el agua clara (corriente 5') y los lodos que son recirculados hacia el depósito de relaves (con un 50% de agua). El equipo descrito anteriormente se observa a continuación:

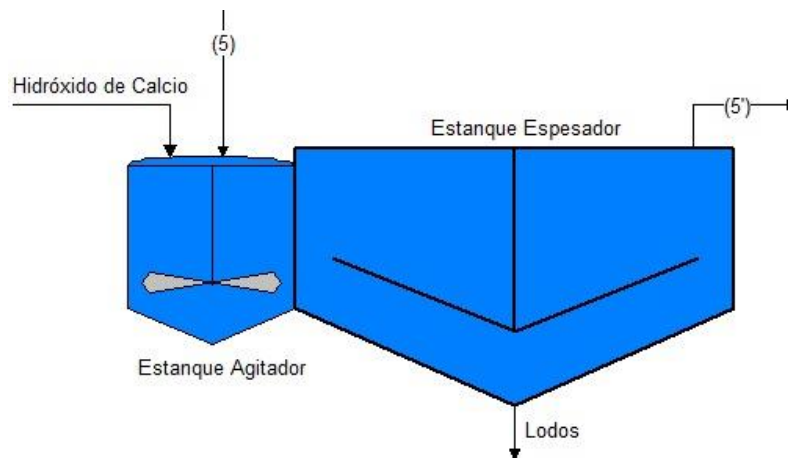


Figura 19: Estanque de Acondicionamiento con Cal (Tercer Caso de Estudio)

1.4.1 Balance iónico de las corrientes principales en el tercer caso de estudio

En este caso de estudio propuesto se mantuvieron las composiciones de las corrientes 1, 2 y 5 de la Faena Taltal año 2017. La corriente 5' se obtiene en el estanque de acondicionamiento, donde se adicionó a la corriente 5 hidróxido de calcio hasta alcanzar un pH de 10, para luego mezclar la corriente 5' obtenida, con la corriente 2 en las razones adecuadas según balance general de agua, obteniendo así la corriente 3. Finalmente, la corriente 4 de este caso de estudio se obtuvo ajustando el pH de operación de la corriente 3 a 10,3 respectivamente.

Adicionalmente, los lodos que se recirculan hacia el depósito de relave se componen por la cantidad de cal no disuelta más los precipitados de yeso y brucita, cuya humedad para el caso de estudio se consideró un 50%.

Una vez descritas todas las corrientes de interés (corriente 1, 2, 3, 4, 5 y 5') se realizó el balance iónico a cada una de ellas en el programa Phreeqc, para obtener la

calidad medida como salinidad. Donde cuyo análisis se enfocó en comparar la corriente 5 de la faena Taltal 2017 versus la calidad de la corriente 5' de la faena Taltal año 2017 con acondicionamiento de cal.

1.4.2 Condiciones de precipitación del Yeso, Carbonatos y Brucita en el tercer caso de estudio

Para validar la incorporación del estanque de acondicionamiento se estudiaron los índices de saturación de las sales que reúnen las condiciones de precipitación en el estanque, además de la cantidad de precipitados en cada una de las unidades del proceso.

Adicionalmente, se comparó el consumo de hidróxido de calcio durante todo el procesamiento y la tasa de precipitación de las sales, con la finalidad de realizar un análisis al caso de estudio propuesto, además de generar códigos en el programa Phreeqc asociado con variables como; concentraciones iónicas, índices de saturación en función de la calidad de cada una de las corrientes.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se presentan los resultados y discusiones obtenidos a partir de las simulaciones realizadas en HSC Chemistry y Phreeqc, para determinar los flujos de las corrientes principales y la calidad de cada una de ellas que operan en una faena minera.

1.1 Caso de estudio 1: Balance iónico en concentradora de Faena Taltal año 2011

A partir del balance másico realizado del recurso hídrico, se obtuvieron los caudales que se distribuyen en la faena minera, ver ANEXO A. BALANCE MASICO DE LAS CORRIENTES PRESENTES EN EL PROCESAMIENTO DE MINERALES (FAENA AÑO 2011), cuyas corrientes principales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8: Caudales de las principales corrientes que se distribuyen en el proceso, faena año 2011.

Corriente	m ³ /h
1	119,1
2	99,3
3	260,4
4	259,6
5	153,5

A partir de estos datos se obtuvo una tasa de recirculación de la faena para el año 2011 de un 54,3%, la cual se encuentra cercana a la tasa de recirculación que reporta Cochilco para el año 2011 en la mediana minería de un 51% [13], lo que significa que de la totalidad de agua que utiliza la planta concentradora para procesar el mineral de cobre, el 45,7% corresponde a consumo de agua fresca de la faena.

Por otro lado, las composiciones de las corrientes principales se obtuvieron mediante los balances iónicos calculados con el programa Phreeqc, Ver ANEXO C. SIMULACIONES EN PHREEQC FAENA AÑO 2011, donde se detallan los códigos utilizados. Las calidades de las corrientes se presentan a través de la totalidad de sales disueltas (SDT) en g/L, las cuales se presentan a continuación:

Tabla 9: Concentraciones de las especies principales en las corrientes del procesamiento de minerales primer caso de estudio, Faena Taltal año 2011

	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4	Corriente 5
Parámetro	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L
CO ₃	0,25	0,25	0,32	0,32	0,34
Ca	0,39	0,40	1,44	3,23	1,56
Cl	19,80	20,29	25,39	25,42	27,43
K	0,38	0,39	0,41	0,41	0,45
Mg	1,38	1,41	1,85	0,03	2,05
Na	11,10	11,37	13,73	13,74	14,83
SO ₄	2,83	2,90	5,04	2,12	5,66
SDT	36,13	37,02	48,18	45,27	52,32

Se logró observar que las calidades de las corrientes se ven afectadas a medida que transcurre el procesamiento de minerales, debido a que la SDT aumentan. Esto se ejemplifica de mejor manera con la corriente 5 que corresponde a la recirculación desde el depósito de relaves, donde la cantidad de sales disueltas aumenta en un 44,8% respecto a la alimentación fresca (corriente 1). Mientras que la SDT de las corrientes: 2, 3 y 4 aumentan en un: 2,5%, 33,4% y 25,3% respectivamente. La totalidad de sales disueltas de la corriente 2 aumenta debido a la evaporación del recurso hídrico que se produce en la piscina de agua de mar, cuya tasa de evaporación es de un 0,2%. Por otro lado, el aumento de las sales disueltas en las corrientes 3, 4 y 5 se debe en primera instancia a las recirculaciones que se producen, y en segundo lugar a las evaporaciones y pérdidas de agua que se producen en cada unidad del proceso.

Además, se observó que los iones que más varían al comparar las corrientes que se distribuyen durante el proceso fueron; el calcio, el magnesio y el sulfato. El aumento de calcio se debe a la adición del reactivo en la planta concentradora para ajustar el pH de flotación, y luego la disminución de este se debe a la formación de precipitado de yeso. Por otro lado, el magnesio presenta una disminución, ya que se crearon las condiciones necesarias de precipitación de brucita dentro de la planta concentradora. Y, por último, la variación en la concentración del sulfato se debe a dos motivos principalmente, la disminución es por la misma razón que el calcio, ya que se forman precipitados de yeso,

sin embargo, el aumento en la corriente 5 es a consecuencia de la disolución de la pirita que ocurre en el depósito de relaves.

En cuanto al cloruro y sodio se observó que estos actúan como trazadores durante el proceso, es decir, la concentración de ambos iones es a consecuencia de las evaporaciones que se producen. Finalmente, cabe destacar que la cantidad de carbonatos es compleja obtenerla a partir de mediciones, debido a lo anterior durante este estudio la concentración de los carbonatos se obtuvo mediante el programa Phreeqc considerando que las corrientes se mantuvieran balanceadas.

Una vez obtenidas las calidades de las corrientes de interés, se analizaron los índices de saturación de las especies más relevantes para las corrientes principales; el yeso y la brucita los cuales precipitaron en dos unidades durante el proceso; planta concentradora y depósito de relaves. Los índices de saturación de las especies mencionadas anteriormente se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10: Índices de Saturación de las especies principales en las corrientes del procesamiento de minerales, primer caso de estudio Faena Taltal año 2011

Fases	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4	Corriente 5
Yeso [CaSO ₄ ·2H ₂ O]	-0,90	-0,89	-0,05	0	0
Brucita [Mg(OH) ₂]	-3,32	-3,32	-3,56	0	-4,28

La tasa de precipitación en la planta concentradora es de 1134 kg/h de brucita y de 786 kg/h de yeso. Mientras que en el depósito de relaves precipitan 191 kg/h de yeso.

La precipitación de ambas especies en la planta concentradora es a consecuencia de la adición de hidróxido de calcio (Ca(OH)₂), el cual es utilizado para ajustar el pH de operación de flotación a 10,35 cuyo consumo fue de 8,7 kg de cal/t mineral. Este consumo de cal está dentro del rango, ya que con un 80% v/v de agua de mar el consumo de cal es de 8 kg/t mineral para ajustar el pH de operación a 10, como la faena de estudio opera en su totalidad con agua de mar se espera que el consumo del reactivo sea superior a 8 kg/t mineral.

Adicionalmente, es necesario destacar que el consumo del reactivo aumenta a medida que la calidad del agua disminuye, es decir, para un mismo pH de flotación de 10 al utilizar agua dulce el consumo de cal es de 1,5 kg/ t mineral, mientras que al operar con un 80% de agua de mar el consumo de cal aumenta a 8 kg/t mineral [14], este aumento de reactivo es proporcional a la cantidad de sales disueltas, ya que el hidróxido de calcio actúa como neutralizador de ciertas fases, en este caso por ejemplo, neutraliza la corriente logrando la precipitación de brucita, y con ello la disminución de magnesio (Mg) disuelto en la corriente.

Con todo el análisis descrito anteriormente se observó que a medida que la calidad de las corrientes disminuye debido a las recirculaciones, la totalidad de sales disueltas aumenta, y como consecuencia aumenta también el consumo de hidróxido de calcio dentro de la planta concentradora.

1.2 Caso de estudio 2: Balance iónico en concentradora de Faena Taltal año 2017

A partir de los códigos generados en el programa Phreeqc, ver ANEXO D. SIMULACIONES EN PHREEQC FAENA AÑO 2017 se obtuvieron las caracterizaciones de las corrientes de interés de la faena para el año 2017, a partir de los balances iónicos de cada una de ellas se obtuvieron las siguientes concentraciones:

Tabla 11: Concentraciones de las especies principales en las corrientes del procesamiento de minerales segundo caso de estudio, Faena Taltal año 2017

	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4	Corriente 5
Parámetro	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L
CO ₃	0,25	0,25	0,61	0,61	0,85
Ca	0,39	0,40	1,24	3,52	1,78
Cl	19,80	20,29	28,36	28,36	33,54
K	0,38	0,39	0,51	0,51	0,59
Mg	1,38	1,41	2,19	0,04	2,69
Na	11,10	11,37	15,52	15,53	18,19
SO ₄	2,83	2,90	5,28	2,23	6,81
SDT	36,13	37,02	53,71	50,79	64,45

A partir de lo anterior se observó que la totalidad de sales disueltas en las corrientes: 3, 4 y 5 aumentan en un 48,7%, 40,6% y 78,4% respectivamente, respecto a la alimentación fresca (agua de mar), a consecuencia de las recirculaciones se produce un aumento de salinidad en las corrientes.

Adicionalmente, durante un periodo de 6 años de procesamiento de minerales en una misma faena minera el factor de concentración es de 0,92 g/L/año. Por lo tanto, la totalidad de sales disueltas en las corrientes 3, 4 y 5 aumentan en un: 11,5% (5,53 g/L), 12,2% (5,52 g/L) y 23,2% (12,13 g/L), a consecuencia de las recirculaciones y evaporaciones que ocurren en el proceso.

Al igual que en el año 2011 se crearon las condiciones de precipitación tanto del yeso como de brucita dentro de la planta concentradora. Cuyos índices de saturación de las especies antes mencionadas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 12: Índices de Saturación de las especies principales en las corrientes del procesamiento de minerales, segundo caso de estudio Faena Taltal año 2017

Fases	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4	Corriente 5
Yeso (CaSO ₄ ·2H ₂ O)	-0,90	-0,89	-0,23	0	-0,02
Brucita (Mg(OH) ₂)	-3,32	-3,32	-9,98	0	-10,29

La tasa de precipitación de la brucita para el año 2017 es de 1341 kg/h, mientras que la del yeso es de 820 kg/h. Respecto al año 2011 hay un aumento en ambos precipitados, para el caso de la brucita es de 207 kg/h y del yeso de 33 kg/h, debido al aumento de concentración de magnesio, sulfato y calcio en la corriente 3.

Ambas precipitaciones se producen a consecuencia de la adición de Ca(OH)₂ cuyo consumo es de 10,3 kg de cal/t mineral, reactivo utilizado para ajustar el pH de operación de la planta a 10,31. En un periodo de 6 años el consumo de hidróxido de calcio aumenta en 1,6 kg/t mineral para mantener el pH de operación de flotación, este aumento de reactivo se debe a que la salinidad del agua aumenta, y como se mencionó anteriormente, neutraliza ciertas especies.

1.3 Caso de estudio 3: Balance iónico en concentradora con acondicionamiento de cal para el caso 2

Como se mencionó este caso de estudio no opera en la faena minera más bien es una propuesta de trabajo, ya que con la incorporación de un pre-acondicionamiento con hidróxido de calcio a la corriente recirculada desde el depósito de relaves se logra un mayor control de los precipitados y una reducción de estos en la planta concentradora.

Los lodos obtenidos en el equipo son recirculados hacia el depósito de relaves, ya que presentan una humedad de un 50%, cuya composición se esquematiza en la siguiente ecuación:

$$\text{Lodos} = \text{Cal no disuelta} + \text{pcpt yeso} + \text{pcpt brucita} + \text{agua} \quad (5)$$

Cabe destacar que al calcular el volumen de lodos este es despreciable respecto a la corriente 5 y corriente 5', cuyos valores son; 2,3 m³/h, 153,5 m³/h y 151,2 m³/h respectivamente. Dichos valores se incorporan al balance másico general, ver ANEXO B. BALANCE MASICO DE LAS CORRIENTES PRESENTES EN EL PROCESAMIENTO DE MINERALES (FAENA AÑO 2017 CON ACONDICIONAMIENTO) para obtener las corrientes principales del proceso, las cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13: Caudales de las principales corrientes que se distribuyen en el proceso, faena 2017 con acondicionamiento de cal

Corriente	m ³ /h
1	119,1
2	99,3
3	260,4
4	257,3
5	153,5
5'	151,2

Obtenidas las corrientes, se ingresaron los códigos de cada una al programa Phreeqc para obtener la caracterización de las corrientes de interés, ver ANEXO E. SIMULACIONES EN PHREEQC FAENA AÑO 2017 ACONDICIONADO CON CAL. Con lo anterior se realizaron los balances iónicos de cada elemento, donde se obtuvieron las calidades de las corrientes, las cuales se presentan a continuación:

Tabla 14: Concentraciones de las especies principales en las corrientes del procesamiento de minerales tercer caso de estudio, Faena Taltal año 2017 con acondicionamiento de cal

	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4	Corriente 5	Corriente 5'
Parámetro	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L
CO ₃	0,25	0,25	0,61	0,61	0,85	0,85
Ca	0,39	0,40	2,57	3,50	1,78	3,99
Cl	19,80	20,29	28,35	28,35	33,54	33,60
K	0,38	0,39	0,51	0,51	0,59	0,59
Mg	1,38	1,41	0,69	0,04	2,69	0,21
Na	11,10	11,37	15,52	15,52	18,19	18,22
SO ₄	2,83	2,90	2,52	2,21	6,81	2,27
SDT	36,13	37,02	50,57	50,76	64,45	59,73

Las calidades de las corrientes obtenidas en comparación con el año 2017 se mantiene en su mayoría, sin embargo, las corrientes 3 y 4 presentan mejor calidad debido a que la totalidad de sales disueltas disminuyen, la corriente 3 se reduce en un 17,9% mientras que la corriente 4 se reduce en un 0,2%. Este aumento de calidad en ambas corrientes se debe a la precipitación de yeso y brucita que se generan en el estanque de acondicionamiento con cal, ya que se reduce la cantidad de magnesio y sulfato disuelto en la corriente 3.

A continuación, se presentan los índices de saturación de las especies más relevantes, que son precisamente las que reúnen las condiciones de precipitación; brucita y yeso:

Tabla 15: Índices de Saturación de las especies principales en las corrientes del procesamiento de minerales, tercer caso de estudio Faena Taltal año 2017 con acondicionamiento de cal

Fases	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4	Corriente 5	Corriente 5'
Yeso (CaSO ₄ · 2H ₂ O)	-0,90	-0,89	-0,10	0	-0,31	0
Brucita (Mg(OH) ₂)	-3,32	-3,32	-0,16	0	-10,31	0

Con la tabla anterior se observa que la precipitación de yeso y brucita ocurre en dos unidades del proceso; estanque de acondicionamiento y planta concentradora. En esta última unidad se ajustó el pH de operación a 10,31 con la adición de Ca(OH)_2 que presenta un consumo de 3 kg/t mineral, y como consecuencia se crearon las condiciones de precipitación del yeso y brucita, no obstante, ambas tasas de precipitación dentro de la planta concentradora se reducen respecto al segundo caso de estudio a 84 kg/h y 402 kg/h respectivamente.

Estas tasas de precipitación disminuyeron como resultado de la incorporación del reactor de acondicionamiento de cal, cuyo consumo de Ca(OH)_2 fue de 7 kg/t mineral logrando una precipitación de brucita de 914 kg/h y de yeso de 719 kg/h.

Por lo tanto, al incorporar un estanque de acondicionamiento el consumo total de hidróxido de calcio en la faena minera es de 10,1 kg/t mineral, lo cual es mínimamente inferior al consumo del reactivo sin acondicionamiento que es de 10,3 kg/t mineral. Sin embargo, existe una disminución en la utilización del reactivo debido a que el flujo a tratar es menor. Además, otro beneficio de la incorporación del acondicionamiento es la reducción de precipitación que ocurre en la planta concentradora de un 70% de brucita y de un 89,8% de yeso, lo cual genera un alivio dentro de la planta concentradora, ya que se reduciría bastante la mantención de las tuberías y la obstrucción de estas. Adicionalmente, otro beneficio en la flotación de cobre al reducir estos precipitados disminuye la posibilidad de alterar químicamente las propiedades superficiales de los minerales de cobre.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.1 CONCLUSIONES

En base a los resultados que se obtuvieron en esta tesis, se generan las siguientes conclusiones:

En el año 2011 en la Faena de Taltal la calidad de las corrientes 3, 4 y 5 aumentan en 33,4%, 25,3% y 44,8% respecto a SDT, al compararlo a la alimentación fresca (corriente1). Adicionalmente, la corriente 4 se satura en yeso y brucita, mientras que la corriente 5 se satura solo en yeso. La tasa de precipitación en la planta concentradora es de 1134 kg/h de brucita y 786 kg/h de yeso. Mientras que en el depósito de relave precipita yeso en 191 kg/h. Y el consumo de hidróxido de calcio es de 8,7 kg/t de mineral para ajustar el pH de operación a un valor de 10,35. Dicho reactivo es el causante de crear las condiciones para que precipiten ambas especies.

Para el año 2017 de la Faena Taltal se observó que la SDT en las corrientes 3, 4 y 5 aumentan en 48,7%, 40,6% y 78,4%, respecto a la alimentación fresca. Asimismo, la corriente 4 se satura en brucita y yeso, cuyas tasas de precipitación son de 1341 kg/h y 820 kg/h, respectivamente. Con un consumo de hidróxido de calcio de 10,3 kg/t de mineral para ajustar el pH de operación a 10,31.

A consecuencia de lo anterior se postuló la utilización de un estanque de pre-acondicionamiento con cal para el agua recuperada desde los relaves, cuyo consumo de cal de 7 kg/t de mineral. Esta operación permite disminuir los precipitados de brucita y de yeso en la planta concentradora en un 70 y 90%, respectivamente. Con un consumo total 10,1 kg/t, que es bastante cercano a lo consumido en el año 2017. Sin embargo, la ventaja de aplicar el pre-acondicionamiento del agua es que disminuye considerablemente la formación de precipitados dentro de la planta concentradora.

El aumento de SDT y los precipitados entre el año 2011 y el año 2017 se produce por las evaporaciones y recirculaciones que ocurren en el proceso. Donde el factor de concentración es de 0,92 g/L/año. Adicionalmente, cabe mencionar que en ambos periodos los iones que más se concentran son el cloruro y el sodio.

El criterio de recirculación es en base SDT en la piscina de agua de procesos, la cual no debe superar los 50 g/L, y la concentración de calcio y sulfato debe ser inferior a 2,5 g/L, mientras que la concentración de magnesio debe ser menor a 0,7 g/L. Dicho criterio de recirculación está asociado a un porcentaje de recirculación del agua de un 54%.

1.2 RECOMENDACIONES

En primer lugar, se recomienda estudiar las corrientes 5 y 3, que corresponden al depósito de relaves y piscina de agua de procesos, con la finalidad de ajustar los valores de cada elemento presente. Además, ambas corrientes son relevantes, ya que se saturan en yeso y brucita. Conocer la calidad de la piscina de agua de proceso es crucial debido a que se genera evaporación y las recirculaciones de la faena se almacenan ahí, por ende, la salinidad aumenta considerablemente, y como consecuencia las calidades de las corrientes que se distribuyen en el proceso disminuyen.

Por otro lado, es importante estudiar como varían las calidades de las corrientes que se obtienen del estanque de acondicionamiento, considerando cal viva en distinta dosificación de lechada, además de floculantes. Ya que el estudio presente solo considera la utilización de cal apagada en este equipo.

Y, por último, para obtener el plan de mantención óptimo en la faena, se recomienda que utilicen los resultados de las calidades de las corrientes principales que se distribuyen en el proceso. Adicionalmente, se proyectaron las precipitaciones de yeso y brucita para el año 2030 y 2060 en la planta concentradora, (ver ANEXO G. PROYECCIONES DE LA CORRIENTE 3 PARA EL AÑO 2030 Y AÑO 2060.), donde se observó claramente el aumento de los precipitados, la brucita presenta una tasa de precipitación para el año 2030 de 1790 kg/h y el yeso una tasa de 892 kg/h, mientras que para el año 2060 las proyecciones estiman que la tasa de precipitación de la brucita es de 2826 kg/h y de yeso de 1058 kg/h, considerando que la planta opera bajo las mismas condiciones.

CAPITULO IV: REFERENCIAS

- [1] V. Ramírez Jiménez y J. Cantalloppts Araya, «Consumo de agua en la minería del cobre al 2020,» 2021.
- [2] V. Ramírez Jiménez y J. Cantalloppts Araya, «Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2021-2033,» Chile, 2021.
- [3] Laboratorio ambiental dirección general de aguas (LADGA), «Muestreo para aguas superficiales,» versión 2, pp. 1-12, 2018.
- [4] Montecinos, Cintya; Azócar, Marysol; Aburto, Fabian; Bustos, Alexandra,; «Atlas Calidad del Agua,» Santiago Chile,pp. 1-36, 2020.
- [5] C. Godoy, «Análisis de aguas de proceso,» revisión 7, Valparaíso, pp. 5-15, 2015.
- [6] P. Moreno, «The use of seawater as process water at Las Luces copper–molybdenum beneficiation plant in Taltal (Chile),» *Minerals Engineering*, vol. 24, pp. 852-858, 2011.
- [7] «Water Chemistry 3,» [En línea]. Available: https://inside.mines.edu/~epoeter/_GW/19WaterChem3/WaterChem3pdf.pdf.
- [8] N. Connor, «Thermal Engineering,» 30 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-ecuacion-de-darcy-weisbach-definicion/>.
- [9] Younes Ezlit, Smith and Steven Raine, «A Review of Salinity and Sodidity in Irrigation,» [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-de-jujuy/manejo-de-suelo-y-riego/a-review-of-salinity-and-sodicity-in-irr/28620237>, 2010, p. 41.
- [10] G. Azimi, V.G Papangelakis, «Chemical Modelling of Calcium Sulphate Phase Equilibria in Multicomponent Electrolyte Solutions,» Canada, p. 6, 2018.
- [11] A. M. Rozas, «Uso de agua de mar en las operaciones molienda-flotación y depositos de relaves. Minera las Cenizas S.A,» Puyehue, pp 1-17, 2011.

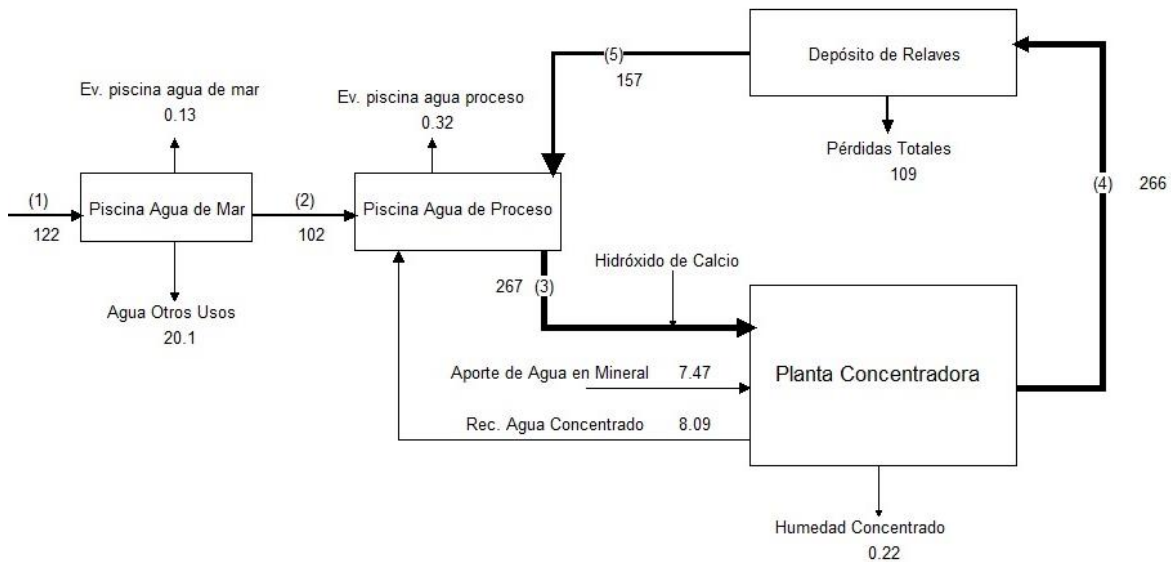
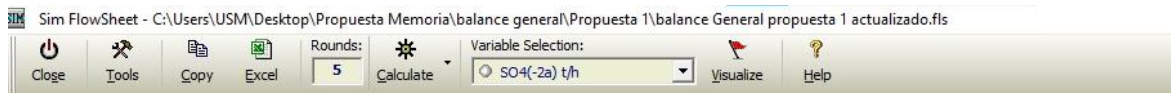
- [12] Superintendencia Operaciones, «Informe monitoreo semestral pozos tranque de relaves Las Luces II,» Tatal , 2017.
- [13] C. Montes , «Consumo de agua en la minería de cobre 2011,», Santiago, p 25, 2012.
- [14] L. M. Uribe, «Efecto del agua de mar en la recuperación de minerales de cobre-molibdeno por procesos de flotación,», tesis, Concepción, p. 48, 2017.

ANEXOS

ANEXO A. BALANCE MASICO DE LAS CORRIENTES PRESENTES EN EL PROCESAMIENTO DE MINERALES (FAENA AÑO 2011)

Dichos balances fueron realizados en HSC Sim en base a documentos de literatura. A continuación, se presenta las consideraciones iniciales del balance, y en segundo lugar se presentan el balance máscopicos para la faena año 2011.

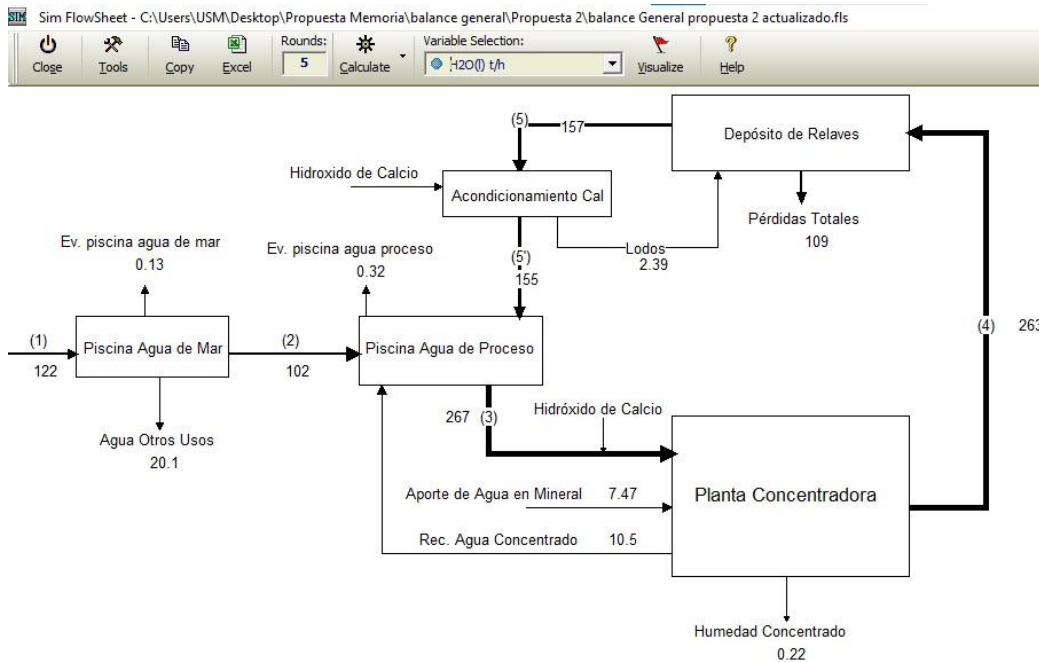
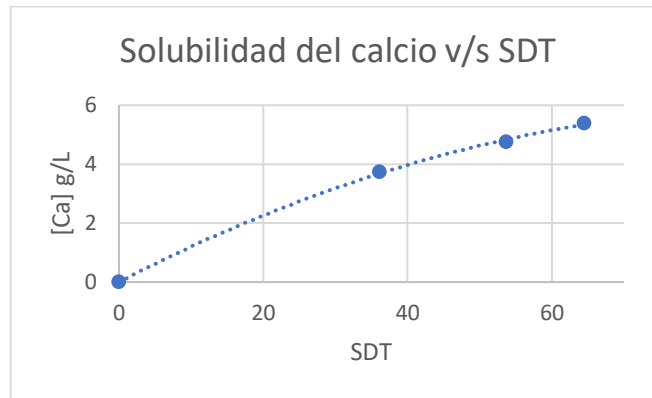
BALANCE POR HORA		2011	
Base de calculo para balances en horas		24	
Tonelaje procesado mensualmente		60000	paper
Tonelaje procesado por hora		83,3	
Tasa de recirculación		54,3	calculado por balance
Consumo de Cal kg/t		8,7	balance por ajuste
Tasa de evaporación L/d/m2		5	
	Paper		
	Supuesto		



ANEXO B. BALANCE MASICO DE LAS CORRIENTES PRESENTES EN EL PROCESAMIENTO DE MINERALES (FAENA AÑO 2017 CON ACONDICIONAMIENTO)

Los balances fueron realizados en HSC Sim en base a lo calculado en el balance másico de la faena en año 2011. Adicionalmente, para calcular la corriente 5' se calculo el volumen de agua presente en los lodos formados, el cual se obtuvo a partir de la solubilidad del calcio en función de la totalidad de sales disueltas (cuyos cálculos se realizaron con las corriente 1, 3 y 5), y considerando un 50% de humedad en el lodo.

Una vez obtenida la cantidad de agua presente en los lodos se calcula la corriente 5' por balance másico estacionario en el equipo de acondicionamiento.



ANEXO C. SIMULACIONES EN PHREEQC FAENA AÑO 2011

1.1 C.1 Código de simulación en Phreeqc para especiación química del agua fresca de la Faena Minera año 2011 (Corriente 1):

```
TITLE Composición corriente 1 Faena Taltal año 2011

#Antonia Montiel Soto

#Memoria: ''Modelo predictivo de la calidad del agua que se recircula al proceso
de concentracion de minerales utilizando agua de mar en faena minera''

SOLUTION_SPECIES

CO3-2 = CO3-2
  -gamma 5.4 0.045
  -dw 0.955e-9 0 1.12 2.84
  -Vm 5.95 0 0 -5.67 6.85 0 1.37 106 -0.0343

SO4-2 = SO4-2
  -gamma 5.0 -0.04
  -dw 1.07e-9 34 4.46 25.9
  -Vm -7.77 43.17 141.1 -42.45 3.794 0 4.97 26.5 -5.77e-2 0.45

H2O = OH- + H+
  -gamma 3.5 0.045
  -dw 5.27e-9 548 0.52 1e-10
  -Vm -9.66 28.5 80.0 -22.9 1.89 0 1.09 0 0 1
log_k -13.9951

CO3-2 + H+ = HCO3-
  -gamma 4.2 0.045
  -dw 1.18e-9 0 1.43 1e-10
  -Vm 8.54 0 -11.7 0 1.6 0 0 116 0 1
log_k 10.3288

Mg+2 + H2O = MgOH+ + H+
  -gamma 4.1 0.045
  -dw 6.37e-10
  -Vm 2.3105 -2.1365 6.5827 2.6906 0.8449
log_k -11.68

Mg+2 + 2H2O = Mg(OH)2 + 2H+
  -gamma 4.5 0.045
```

```

# -dw
# -Vm
log_k -11.62

4Mg+2 + 4H2O = Mg4(OH)4+4 + 4H+
-gamma 11.6 0.045
# -dw
# -Vm
log_k -39.754

Mg+2 + 1.0000 Cl- = MgCl+
-gamma 4.1 0.045
-Vm 2.223 -2.3505 6.6669 -2.6818 0.84490
## # -dw
log_k 0.35

Mg+2 + 2Cl- = MgCl2
-gamma 4.5 0.045
# -Vm
log_k -0.069

Mg+2 + CO3-2 = MgCO3
-gamma 3.4 0.045
-Vm -0.7355 -9.5745 9.5062 -2.3831 -0.038
log_k 2.98

Mg+2 + H+ + CO3-2 = MgHCO3+
-gamma 4.1 0.045
-dw 4.78e-10
-Vm 2.7171 -1.1469 6.2008 -2.7316 0.5985 4
log_k 11.399

Mg+2 + SO4-2 = MgSO4
-gamma 3.4 0.045
-Vm 2.4 -0.97 6.1 -2.74
log_k 2.23

Ca+2 + H2O = CaOH+ + H+

-gamma 4.1 0.045
-dw 7.14e-10 # OLI
-Vm 5.866
log_k -12.781

Ca+2 + 2H2O = Ca(OH)2 + 2H+
-gamma 4.0 0.045
# -Vm
log_k = -27.838

```

```

Ca+2 + 1.0000 Cl- = CaCl+
  -gamma 4.1 0.045
  -dw 1.39e-9
  -Vm 2.7148 -1.1497 6.1949 -2.7314 0.48620
  log_k -0.29

Ca+2 + 2Cl- = CaCl2
  -gamma 3.4 0.045
  -Vm 6.2187 7.4058 2.8322 -3.0851 -0.038
  log_k -0.6436

Ca+2 + HCO3- = CaCO3 + H+
  -gamma 3.4 0.045
  -dw 4.46e-10
  -Vm -0.3907 -8.7325 9.1753 -2.4179 -0.038
  log_k 3.224

Ca+2 + HCO3- = CaHCO3+
  -gamma 4.1 0.045
  -dw 5.06e-10
  -Vm 3.1911 0.0104 5.7459 -2.7794 0.3084 5.4
  log_k 1.103

Ca+2 + SO4-2 = CaSO4
  -gamma 3.4 0.045
  -dw 4.71e-10
  -Vm 2.7910 -0.9666 6.1300 -2.7390 -0.0010
  log_k 2.31

1.0000 Na+ + 1.0000 H2O = NaOH + 1.0000 H+
  -gamma 4.0 0.045
  -Vm 2.2338 -2.3287 6.6683 -2.6826 -0.03
  log_k -14.751

1.0000 Na+ + 1.0000 Cl- = NaCl
  -gamma 3.4 0.045
  -Vm 5.0364 4.5189 3.9669 -2.9658 -0.038
  log_k -0.5

Na+ + CO3-2 = NaCO3-
  -gamma 3.6 0.045
  -dw 1.2e-9 0 1e-10 1e-10
  -Vm 3.89 -8.23e-4 20 -9.44 3.02 9.05e-3 3.07 0 0.0233 1
  log_k 1.27

```

```

2.0000 Na+ + CO3-2 = Na2CO3
    -gamma 3.5 0.045
    # -Vm
    log_k -0.007

1.0000 Na+ + 1.0000 CO3-2 + H+ = NaHCO3
    -gamma 3.4 0.045
    -dw 6.73e-10
    -Vm 0.431
    log_k 10.079

1.0000 Na+ + 1.0000 SO4-2 = NaSO4-
    -gamma 3.6 0.045
    -dw 1.33e-9 0 0.57 1e-10
    -Vm 1e-5 16.4 -0.0678 -1.05 4.14 0 6.86 0 0.0242 0.53
    log_k 0.936

2.0000 Na+ + 1.0000 SO4-2 = Na2SO4
    -gamma 4.0 0.045
    -Vm 18.98
    log_k 0.0911

1.0000 K+ + 1.0000 H2O = KOH + 1.0000 H+

    -gamma 3.4 0.045
    -Vm 14.13
    log_k -14.461

2.0000 K+ + 1.0000 H2O = K2O + 2.0000 H+
    -gamma 4.0 0.045
    # -Vm
    log_k -84.041

1.0000 K+ + 1.0000 Cl- = KCl
    -gamma 3.4 0.045
    -Vm 6.9932 9.297 2.0889 -3.1633 -0.038
    -dw 1.51e-9
    log_k -0.5

1.0000 K+ + 1.0000 CO3-2 = KCO3-
    -gamma 3.0 0.045
    # -dw
    # -Vm
    log_k 0.133

2.0000 K+ + 1.0000 CO3-2 = K2CO3
    -gamma 3.5 0.045
    # -Vm
    log_k 0.221

```

1.0000 K+ +1.0000 H+ + CO3-2 = KHCO3
 -gamma 5.0 0.045
 # -Vm
 log_k 10.447

1.0000 K+ +1.0000 SO4-2 = KSO4-
 -gamma 3.6 0.045
 -dw 1.5e-9 0 1e-10 1e10
 -Vm 6.8 7.06 3.0 -2.07 1.1 0 0 0 0 1
 log_k 0.8796

2.0000 K+ +1.0000 SO4-2 = K2SO4
 -gamma 4.0 0.045
 # -Vm
 log_k 0.39

PHASES

Brucite

Mg(OH)2 + 2H+ = Mg+2 + 2H2O
 log_k 17.11

Periclase

MgO + 2.0000 H+ = 1.0000 H2O + 1.0000 Mg+2
 log_k 21.585

Bischofite

MgCl2:6H2O = 1.0000 Mg+2 + 2.0000 Cl- + 6.0000 H2O
 log_k 4.466

MgOHCl(s)

MgOHCl + 1.0000 H+ = 1.0000 Cl- + 1.0000 H2O + 1.0000 Mg+2
 log_k 15.914

Hydroxichloride (Mg:4H2O)

Mg2Cl(OH)3:4H2O + 3H+ = 2Mg+2 + Cl- + 7H2O
 log_k 26.04

Mg3Cl(OH)5:4H2O(s)

Mg3Cl(OH)5:4H2O + 5.0000 H+ = 3.0000 Mg+2 + 1.0000 Cl- + 9.0000 H2O
 log_k 43.21

Mg2(OH)3Cl:4H2O(cr)

Artinite

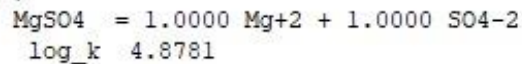
Mg2(OH)2(CO3):3H2O + 3H+ = HCO3- + 2Mg+2 + 5H2O
 log_k 20.143

Hydromagnesite

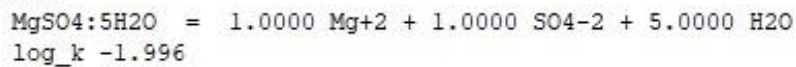
Mg5(OH)2(CO3)4:4H2O + 6.000H+ = 4.000HCO3- + 5.000Mg+2 + 6.000H2O

log_k 30.854

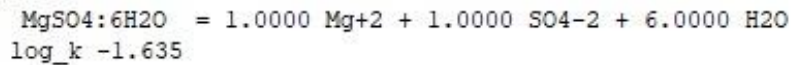
MgSO4(s)



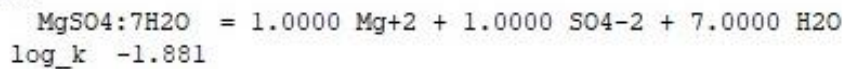
Pentahydrate



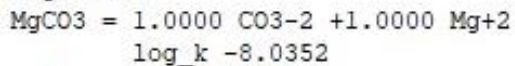
Hexahydrate



Epsomite

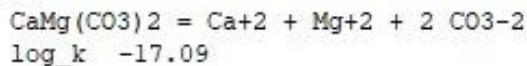


Magnesite

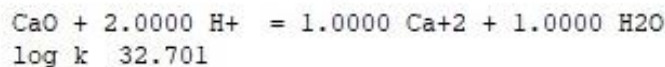


-Vm 28.018

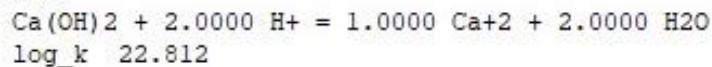
Dolomite



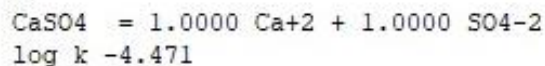
Lime



Portlandite



Anhydrite

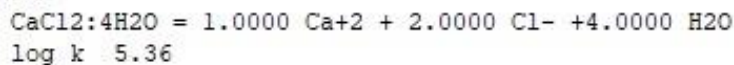


Gypsum

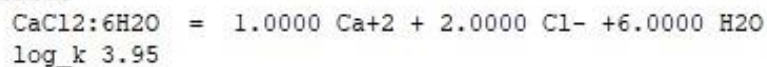


log_k -4.619

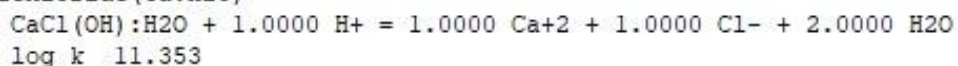
CaCl2:4H2O



Antarcticite



Hydroxichloride (Ca:H2O)



```

Hydroxichloride (Ca)
  CaOHCl + 1.0000 H+ = 1.0000 Ca+2 + 1.0000 Cl- + 1.0000 H2O
  log_k 13.195

Calcite
  CaCO3 = CO3-2 + Ca+2
  log_k -8.406

Monohydrocalcite
  CaCO3:H2O = 1.0000 Ca+2 + 1.0000 H2O + 1.0000 CO3-2
  log_k -7.6

Quartz
  SiO2 + 2 H2O = H4SiO4
  log_k -3.98
# -delta_h 5.990 kcal
# -analytic 0.41 0.0 -1309.0
# -Vm 22.67

Kaolinite
  Al2Si2O5(OH)4 + 6 H+ = H2O + 2 H4SiO4 + 2 Al+3
  -log_k 7.435
  -delta_h -35.300 kcal
  -Vm 99.35

K-feldspar
  KAlSi3O8 + 8 H2O = K+ + Al(OH)4- + 3 H4SiO4

  -log_k -20.573
  -delta_h 30.820 kcal
  -Vm 108.15

SOLUTION 1 # COMPOSICIÓN AGUA DE MAR (según paper)
  pH 7.87 #TABLA CENIZAS
  temp 25.6 #TABLA CENIZAS
  units mol/kgw
  C(4) 4.210e-03 charge #AJUSTE POR BALANCE IÓNICO
  Ca 1.009e-02 #DATO DE PAPER
  Cl 5.793e-01 #DATO DE PAPER
  K 1.008e-02 #DATO DE PAPER
  Mg 5.888e-02 #DATO DE PAPER
  Na 5.008e-01 #DATO DE PAPER
  S(6) 3.056e-02 #DATO DE PAPER

REACTION 1 #EVAPORACION SEGUN EL CAUDAL DE EVAPORACION
  H2O -1.0
  0.06645 moles #CALCULADO CON TASA DE EVAPORACIÓN

SAVE SOLUTION 2 #CORRIENTE 2
END

```

1.2 C.2 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química del agua fresca de la Faena Minera año 2011 (Corriente 2):

Reaction step 1.

Using solution 1.

Using reaction 1.

Reaction 1.

6.645e-02 moles of the following reaction have been added:

Reactant	Relative moles
H2O	-1.00000

Element	Relative moles
H	-2.00000
O	-1.00000

-----Solution composition-----

Elements	Molality	Moles
C	4.203e-03	4.198e-03
Ca	1.010e-02	1.009e-02
Cl	5.800e-01	5.793e-01
K	1.009e-02	1.008e-02
Mg	5.895e-02	5.888e-02
Na	5.014e-01	5.008e-01
S	3.060e-02	3.056e-02

-----Description of solution-----

	pH =	7.870	Charge balance
	pe =	-1.944	Adjusted to redox equilibrium
Specific Conductance ($\mu\text{S}/\text{cm}$, 26°C)	=	50250	
Density (g/cm^3)	=	1.02382	
Volume (L)	=	1.01216	
Activity of water	=	0.981	
Ionic strength (mol/kgw)	=	6.289e-01	
Mass of water (kg)	=	9.988e-01	
Total alkalinity (eq/kg)	=	8.410e-03	
Total CO2 (mol/kg)	=	4.203e-03	
Temperature (°C)	=	25.60	
Electrical balance (eq)	=	7.947e-12	
Percent error, $100 * (\text{Cat} - \text{An}) / (\text{Cat} + \text{An})$	=	0.00	
Iterations	=	8	
Total H	=	1.108795e+02	
Total O	=	5.557460e+01	

-----Distribution of species-----

Species	Molality	Activity	Log Molality	Log Activity	Log Gamma	mole V cm ³ /mol
OH-	1.122e-06	7.356e-07	-5.950	-6.133	-0.183	-2.68
H+	1.782e-08	1.349e-08	-7.749	-7.870	-0.121	0.00
H2O	5.551e+01	9.809e-01	1.744	-0.008	0.000	18.07
C(-4)	6.252e-36					
CH4	6.252e-36	7.226e-36	-35.204	-35.141	0.063	35.51
C(4)	4.203e-03					
CaCO3	4.203e-03	4.486e-03	-2.376	-2.348	0.028	-15.66
HCO3-	4.249e-11	2.906e-11	-10.372	-10.537	-0.165	26.54
MgHCO3+	5.833e-12	3.967e-12	-11.234	-11.402	-0.167	5.83
NaHCO3	5.017e-12	5.355e-12	-11.300	-11.271	0.028	1.80
MgCO3	1.050e-12	1.121e-12	-11.979	-11.950	0.028	-18.18
NaCO3-	9.343e-13	6.164e-13	-12.030	-12.210	-0.181	2.71
CO2	7.624e-13	8.811e-13	-12.118	-12.055	0.063	34.46
CaHCO3+	6.732e-13	4.578e-13	-12.172	-12.339	-0.167	9.98
CO3-2	4.458e-13	1.011e-13	-12.351	-12.995	-0.645	-2.06
KHCO3	2.094e-13	2.235e-13	-12.679	-12.651	0.028	(0)
Na2CO3	9.997e-15	1.067e-14	-14.000	-13.972	0.028	(0)
KCO3-	1.271e-15	8.042e-16	-14.896	-15.095	-0.199	(0)
K2CO3	5.405e-18	5.768e-18	-17.267	-17.239	0.028	(0)
(CO2)2	1.258e-26	1.454e-26	-25.900	-25.838	0.063	68.92
Ca	1.010e-02					
Ca+2	4.942e-03	1.243e-03	-2.306	-2.906	-0.599	-16.72
CaCO3	4.203e-03	4.486e-03	-2.376	-2.348	0.028	-15.66
CaSO4	6.107e-04	6.518e-04	-3.214	-3.186	0.028	7.52
CaCl+	3.161e-04	2.150e-04	-3.500	-3.668	-0.167	6.48
CaCl2	3.009e-05	3.212e-05	-4.522	-4.493	0.028	32.69
CaOH+	2.201e-08	1.497e-08	-7.657	-7.825	-0.167	25.30
CaHSO4+	6.870e-11	5.099e-11	-10.163	-10.293	-0.129	(0)
CaHCO3+	6.732e-13	4.578e-13	-12.172	-12.339	-0.167	9.98
Ca(OH)2	8.947e-16	9.549e-16	-15.048	-15.020	0.028	(0)
Cl	5.800e-01					
Cl-	5.313e-01	3.373e-01	-0.275	-0.472	-0.197	18.78
NaCl	3.273e-02	3.493e-02	-1.485	-1.457	0.028	24.04
MgCl+	1.289e-02	8.768e-03	-1.890	-2.057	-0.167	1.98
MgCl2	1.056e-03	1.127e-03	-2.976	-2.948	0.028	(0)
KCl	5.853e-04	6.247e-04	-3.233	-3.204	0.028	38.35
CaCl+	3.161e-04	2.150e-04	-3.500	-3.668	-0.167	6.48
CaCl2	3.009e-05	3.212e-05	-4.522	-4.493	0.028	32.69
H(0)	1.709e-15					
H2	8.543e-16	9.874e-16	-15.068	-15.006	0.063	28.61

K	1.009e-02						
K+	9.334e-03	5.858e-03	-2.030	-2.232	-0.202	9.66	
KCl	5.853e-04	6.247e-04	-3.233	-3.204	0.028	38.35	
KSO4-	1.728e-04	1.140e-04	-3.762	-3.943	-0.181	34.84	
K2SO4	2.027e-07	2.163e-07	-6.693	-6.665	0.028	(0)	
KOH	1.381e-09	1.474e-09	-8.860	-8.832	0.028	59.12	
KHCO3	2.094e-13	2.235e-13	-12.679	-12.651	0.028	(0)	
KCO3-	1.271e-15	8.042e-16	-14.896	-15.095	-0.199	(0)	
K2CO3	5.405e-18	5.768e-18	-17.267	-17.239	0.028	(0)	
K2O	0.000e+00	0.000e+00	-72.802	-72.774	0.028	(0)	
Mg	5.895e-02						
Mg+2	4.025e-02	1.161e-02	-1.395	-1.935	-0.540	-20.46	
MgCl+	1.289e-02	8.768e-03	-1.890	-2.057	-0.167	1.98	
MgSO4	4.746e-03	5.066e-03	-2.324	-2.295	0.028	5.86	
MgCl2	1.056e-03	1.127e-03	-2.976	-2.948	0.028	(0)	
MgOH+	2.595e-06	1.765e-06	-5.586	-5.753	-0.167	14.85	
Mg2OH+3	4.967e-07	2.353e-08	-6.304	-7.628	-1.324	(0)	
MgHCO3+	5.833e-12	3.967e-12	-11.234	-11.402	-0.167	5.83	
MgCO3	1.050e-12	1.121e-12	-11.979	-11.950	0.028	-18.18	
Mg(OH)2	5.131e-15	5.476e-15	-14.290	-14.262	0.028	(0)	
Mg4(OH)4+4	3.427e-15	8.972e-17	-14.465	-16.047	-1.582	(0)	
Na	5.014e-01						
Na+	4.570e-01	3.275e-01	-0.340	-0.485	-0.145	-0.51	
NaCl	3.273e-02	3.493e-02	-1.485	-1.457	0.028	24.04	
NaSO4-	1.100e-02	7.260e-03	-1.958	-2.139	-0.181	20.92	
Na2SO4	3.184e-04	3.399e-04	-3.497	-3.469	0.028	79.41	
NaOH	3.960e-08	4.227e-08	-7.402	-7.374	0.028	3.52	
NaHCO3	5.017e-12	5.355e-12	-11.300	-11.271	0.028	1.80	
NaCO3-	9.343e-13	6.164e-13	-12.030	-12.210	-0.181	2.71	
Na2CO3	9.997e-15	1.067e-14	-14.000	-13.972	0.028	(0)	
O(0)	0.000e+00						
O2	0.000e+00	0.000e+00	-62.255	-62.192	0.063	30.45	
S(-2)	9.132e-25						
HS-	8.602e-25	5.283e-25	-24.065	-24.277	-0.212	21.35	
H2S	5.293e-26	6.118e-26	-25.276	-25.213	0.063	36.42	
S-2	2.489e-29	4.929e-30	-28.604	-29.307	-0.703	(0)	
(H2S)2	0.000e+00	0.000e+00	-51.761	-51.699	0.063	30.06	
S(6)	3.060e-02						
SO4-2	1.374e-02	2.569e-03	-1.862	-2.590	-0.728	18.28	
NaSO4-	1.100e-02	7.260e-03	-1.958	-2.139	-0.181	20.92	
MgSO4	4.746e-03	5.066e-03	-2.324	-2.295	0.028	5.86	
CaSO4	6.107e-04	6.518e-04	-3.214	-3.186	0.028	7.52	
Na2SO4	3.184e-04	3.399e-04	-3.497	-3.469	0.028	79.41	
KSO4-	1.728e-04	1.140e-04	-3.762	-3.943	-0.181	34.84	
K2SO4	2.027e-07	2.163e-07	-6.693	-6.665	0.028	(0)	
HSO4-	4.597e-09	3.412e-09	-8.338	-8.467	-0.129	40.98	
CaHSO4+	6.870e-11	5.099e-11	-10.163	-10.293	-0.129	(0)	

-----Saturation indices-----

Phase	SI**	log IAP	log K(298 K,	1 atm)	
Anhydrite	-1.02	-5.50	-4.47	CaSO4	
Antarcticite	-7.85	-3.90	3.95	CaCl2:6H2O	
Aragonite	-7.56	-15.90	-8.34	CaCO3	
Artinite	-10.98	9.16	20.14	Mg2(OH)2(CO3):3H2O	
Bischofite	-7.40	-2.93	4.47	MgCl2:6H2O	
Brucite	-3.32	13.79	17.11	Mg(OH)2	
CaCl2:4H2O	-9.24	-3.88	5.36	CaCl2:4H2O	
Calcite	-7.49	-15.90	-8.41	CaCO3	
CH4(g)	-32.33	-35.14	-2.81	CH4	
CO2(g)	-10.58	-12.05	-1.48	CO2	
Dolomite	-13.74	-30.83	-17.09	CaMg(CO3)2	
Epsomite	-2.70	-4.58	-1.88	MgSO4:7H2O	
Gypsum	-0.89	-5.51	-4.62	CaSO4:2H2O	
H2(g)	-11.90	-15.01	-3.10	H2	
H2O(g)	-1.50	-0.01	1.49	H2O	
H2S(g)	-24.21	-32.15	-7.94	H2S	
Halite	-2.53	-0.96	1.57	NaCl	
Hexahydrite	-2.94	-4.58	-1.64	MgSO4:6H2O	
Hydromagnesite	-35.51	-4.65	30.85	Mg5(OH)2(CO3)4:4H2O	
Hydroxichloride(Ca)	-8.71		4.48	13.20	CaOHCl
Hydroxichloride(Ca:H2O)	-6.88		4.48	11.35	CaCl(OH):H2O
Hydroxichloride(Mg:4H2O)	-6.83		19.21	26.04	Mg2Cl(OH)3:4H2O
Lime	-19.87	12.83	32.70	CaO	
Magnesite	-6.90	-14.93	-8.04	MgCO3	
Mg3Cl(OH)5:4H2O(s)	-10.21	33.00	43.21	Mg3Cl(OH)5:4H2O	
MgOHCl(s)	-10.46	5.45	15.91	MgOHCl	
MgSO4(s)	-9.40	-4.53	4.88	MgSO4	
Monohydrocalcite	-8.31	-15.91	-7.60	CaCO3:H2O	
O2(g)	-59.30	-62.19	-2.90	O2	
Pentahydrite	-2.57	-4.57	-2.00	MgSO4:5H2O	
Periclase	-7.79	13.80	21.59	MgO	
Portlandite	-9.99	12.82	22.81	Ca(OH)2	
Sulfur	-18.23	-13.36	4.87	S	
Sylvite	-3.61	-2.70	0.90	KCl	

**For a gas, SI = log10(fugacity). Fugacity = pressure * phi / 1 atm.
For ideal gases, phi = 1.

End of simulation.

Reading input data for simulation 2.

End of Run after 0.22 Seconds.

1.3 C.3 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 3, Faena Minera año 2011:

TITLE Composición corriente 3 Faena Taltal año 2011

#Antonia Montiel Soto

#Memoria: 'Modelo predictivo de la calidad del agua que se recircula al proceso de concentración de minerales utilizando agua de mar en faena minera'

SOLUTION_SPECIES

CO3-2 = CO3-2

-gamma 5.4 0.045
-dw 0.955e-9 0 1.12 2.84
-Vm 5.95 0 0 -5.67 6.85 0 1.37 106 -0.0343

SO4-2 = SO4-2

-gamma 5.0 -0.04
-dw 1.07e-9 34 4.46 25.9
-Vm -7.77 43.17 141.1 -42.45 3.794 0 4.97 26.5 -5.77e-2 0.45

H2O = OH- + H+

-gamma 3.5 0.045
-dw 5.27e-9 548 0.52 1e-10
-Vm -9.66 28.5 80.0 -22.9 1.89 0 1.09 0 0 1

log_k -13.9951

CO3-2 + H+ = HCO3-

-gamma 4.2 0.045
-dw 1.18e-9 0 1.43 1e-10
-Vm 8.54 0 -11.7 0 1.6 0 0 116 0 1
log_k 10.3288

Mg+2 + H2O = MgOH+ + H+

-gamma 4.1 0.045
-dw 6.37e-10
-Vm 2.3105 -2.1365 6.5827 2.6906 0.8449
log_k -11.68

Mg+2 + 2H2O = Mg(OH)2 + 2H+

-gamma 4.5 0.045
-Vm
log_k = -28.05

2Mg+2 + H2O = Mg2OH+3 + H+

-gamma 6.5 0.045
-dw
-Vm
log_k -11.62

```

4Mg+2 + 4H2O = Mg4(OH)4+4 + 4H+
  -gamma 11.6 0.045
  # -dw
  # -Vm
  log_k -39.754

Mg+2 + 1.0000 Cl- = MgCl+
  -gamma 4.1 0.045
  -Vm 2.223 -2.3505 6.6669 -2.6818 0.84490
## # -dw
  log_k 0.35

Mg+2 + 2Cl- = MgCl2
  -gamma 4.5 0.045
  # -Vm
  log_k -0.069

Mg+2 + CO3-2 = MgCO3
  -gamma 3.4 0.045
  -Vm -0.7355 -9.5745 9.5062 -2.3831 -0.038
  log_k 2.98

Mg+2 + H+ + CO3-2 = MgHCO3+
  -gamma 4.1 0.045
  -dw 4.78e-10
  -Vm 2.7171 -1.1469 6.2008 -2.7316 0.5985 4
  log_k 11.399

Mg+2 + SO4-2 = MgSO4
  -gamma 3.4 0.045
  -Vm 2.4 -0.97 6.1 -2.74
  log_k 2.23

Ca+2 + H2O = CaOH+ + H+
  -gamma 4.1 0.045
  -dw 7.14e-10 # OLI
  -Vm 5.866
  log_k -12.781

Ca+2 + 2H2O = Ca(OH)2 + 2H+
  -gamma 4.0 0.045
  # -Vm
  log_k = -27.838

```

```

Ca+2 + 1.0000 Cl- = CaCl+
  -gamma 4.1 0.045
  -dw 1.39e-9
  -Vm 2.7148 -1.1497 6.1949 -2.7314 0.48620
  log_k -0.29

Ca+2 + 2Cl- = CaCl2
  -gamma 3.4 0.045
  -Vm 6.2187 7.4058 2.8322 -3.0851 -0.038
  log_k -0.6436

Ca+2 + HCO3- = CaCO3 + H+
  -gamma 3.4 0.045
  -dw 4.46e-10
  -Vm -0.3907 -8.7325 9.1753 -2.4179 -0.038
  log_k 3.224

Ca+2 + HCO3- = CaHCO3+
  -gamma 4.1 0.045
  -dw 5.06e-10
  -Vm 3.1911 0.0104 5.7459 -2.7794 0.3084 5.4
  log_k 1.103

Ca+2 + SO4-2 = CaSO4
  -gamma 3.4 0.045
  -dw 4.71e-10
  -Vm 2.7910 -0.9666 6.1300 -2.7390 -0.0010
  log_k 2.31

1.0000 Na+ + 1.0000 H2O = NaOH + 1.0000 H+
  -gamma 4.0 0.045
  -Vm 2.2338 -2.3287 6.6683 -2.6826 -0.03
  log_k -14.751

1.0000 Na+ + 1.0000 Cl- = NaCl
  -gamma 3.4 0.045
  -Vm 5.0364 4.5189 3.9669 -2.9658 -0.038
  log_k -0.5

Na+ + CO3-2 = NaCO3-
  -gamma 3.6 0.045
  -dw 1.2e-9 0 1e-10 1e-10
  -Vm 3.89 -8.23e-4 20 -9.44 3.02 9.05e-3 3.07 0 0.0233 1
  log_k 1.27

2.0000 Na+ + CO3-2 = Na2CO3
  -gamma 3.5 0.045
  # -Vm
  log_k -0.007

```

```

1.0000 Na+ + 1.0000 CO3-2 + H+ = NaHCO3
  -gamma 3.4 0.045
  -dw 6.73e-10
  -Vm 0.431
  log_k 10.079


---


1.0000 Na+ + 1.0000 SO4-2 = NaSO4-
  -gamma 3.6 0.045
  -dw 1.33e-9 0 0.57 1e-10
  -Vm 1e-5 16.4 -0.0678 -1.05 4.14 0 6.86 0 0.0242 0.53
  log_k 0.936
2.0000 Na+ + 1.0000 SO4-2 = Na2SO4
  -gamma 4.0 0.045
  -Vm 18.98
  log_k 0.0911
1.0000 K+ + 1.0000 H2O = KOH + 1.0000 H+
  -gamma 3.4 0.045
  -Vm 14.13
  log_k -14.461
2.0000 K+ + 1.0000 H2O = K2O + 2.0000 H+
  -gamma 4.0 0.045
  # -Vm
  log_k -84.041
1.0000 K+ + 1.0000 Cl- = KCl
  -gamma 3.4 0.045
  -Vm 6.9932 9.297 2.0889 -3.1633 -0.038
  -dw 1.51e-9
  log_k -0.5
1.0000 K+ + 1.0000 CO3-2 = KCO3-
  -gamma 3.0 0.045
  # -dw
  # -Vm
  log_k 0.133
2.0000 K+ + 1.0000 CO3-2 = K2CO3
  -gamma 3.5 0.045
  # -Vm
  log_k 0.221


---


1.0000 K+ + 1.0000 H+ + CO3-2 = KHCO3
  -gamma 5.0 0.045
  # -Vm
  log_k 10.447
1.0000 K+ + 1.0000 SO4-2 = KSO4-
  -gamma 3.6 0.045

```

-dw 1.5e-9 0 1e-10 1e10
-Vm 6.8 7.06 3.0 -2.07 1.1 0 0 0 0 1
log_k 0.8796

2.0000 K+ +1.0000 SO4-2 = K2SO4
-gamma 4.0 0.045
-Vm
log_k 0.39

PHASES

Brucite

Mg(OH)2 + 2H+ = Mg+2 + 2H2O
log_k 17.11

Periclase

MgO + 2.0000 H+ = 1.0000 H2O + 1.0000 Mg+2
log_k 21.585

Bischofite

MgCl2:6H2O = 1.0000 Mg+2 + 2.0000 Cl- + 6.0000 H2O
log_k 4.466

MgOHCl(s)

MgOHCl + 1.0000 H+ = 1.0000 Cl- + 1.0000 H2O + 1.0000 Mg+2
log_k 15.914

Hydroxichloride (Mg:4H2O)

Mg2Cl(OH)3:4H2O + 3H+ = 2Mg+2 + Cl- + 7H2O
log_k 26.04

Mg3Cl(OH)5:4H2O(s)

Mg3Cl(OH)5:4H2O + 5.0000 H+ = 3.0000 Mg+2 + 1.0000 Cl- + 9.0000 H2O
log_k 43.21

Mg2(OH)3Cl:4H2O(cr)

Artinite

Mg2(OH)2(CO3):3H2O + 3H+ = HCO3- + 2Mg+2 + 5H2O
log_k 20.143

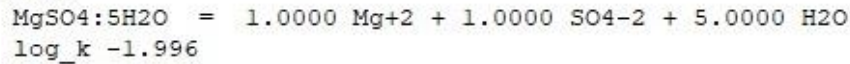
Hydromagnesite

Mg5(OH)2(CO3)4:4H2O + 6.000H+ = 4.000HCO3- + 5.000Mg+2 + 6.000H2O
log_k 30.854

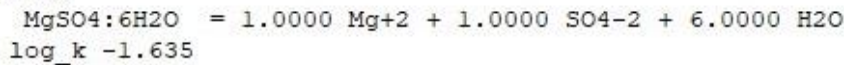
MgSO4(s)

MgSO4 = 1.0000 Mg+2 + 1.0000 SO4-2
log_k 4.8781

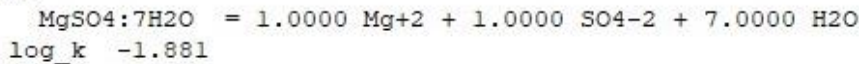
Pentahydrate



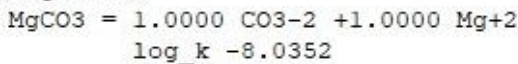
Hexahydrate



Epsomite

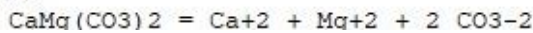


Magnesite



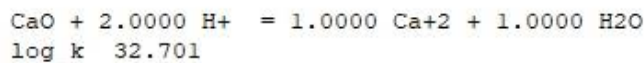
-Vm 28.018

Dolomite

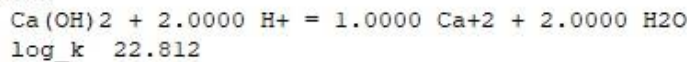


log_k -17.09

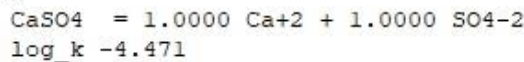
Lime



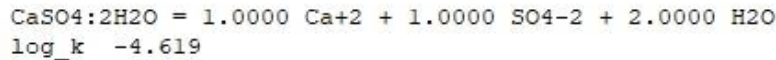
Portlandite



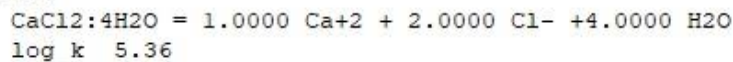
Anhydrite



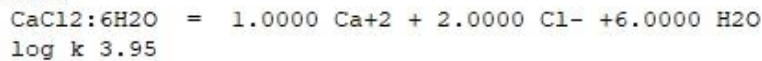
Gypsum



CaCl₂·4H₂O



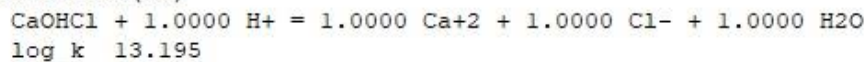
Antarcticite



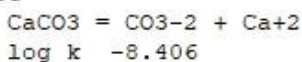
Hydroxichloride (Ca:H₂O)



Hydroxichloride (Ca)



Calcite



```

Monohydrocalcite
  CaCO3:H2O = 1.0000 Ca+2 + 1.0000 H2O + 1.0000 CO3-2
  log_k -7.6
Quartz
  SiO2 + 2 H2O = H4SiO4
  log_k -3.98
# -delta_h 5.990 kcal
# -analytic 0.41 0.0 -1309.0
# -Vm 22.67

Kaolinite
  Al2Si2O5(OH)4 + 6 H+ = H2O + 2 H4SiO4 + 2 Al+3
  -log_k 7.435
  -delta_h -35.300 kcal
  -Vm 99.35

K-feldspar
  KAlSi3O8 + 8 H2O = K+ + Al(OH)4- + 3 H4SiO4
  -log_k -20.573
  -delta_h 30.820 kcal
  -Vm 108.15

SOLUTION 3 # COMPOSICIÓN corriente 3 (según paper)
pH 7.71 #TABLA CENIZAS
temp 25.5 #TABLA CENIZAS
units mol/kgw
C(4) 5.443e-03 charge #AJUSTE POR BALANCE IÓNICO
Ca 3.663e-02 #DATO DE PAPER
Cl 7.277e-01 #DATO DE PAPER
K 1.073e-02 #DATO DE PAPER
Mg 7.721e-02 #DATO DE PAPER
Na 6.067e-01 #DATO DE PAPER
S(6) 5.328e-02 #DATO DE PAPER

EQUILIBRIUM_PHASES 1
Gypsum 0 0
Brucite 0 0

SAVE SOLUTION 3 #CORRIENTE 3

USER SOLUTION 3

REACTION 1 #AJUSTE A PH DE LA PLANTA CONCENTRADORA 10,35
Portlandite 2.0 #AGREGAR CAL APAGADA
0.05 moles in 50 step

SAVE solution 4 #CORRIENTE 4
END

```

1.4 C.4 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química del agua fresca de la Faena Minera año 2011 (Corriente 4):

Using solution 3.

Using pure phase assemblage 1.

Using reaction 1.

Reaction 1.

3.800e-02 moles of the following reaction have been added:

Reactant	Relative moles
Portlandite	2.00000

Element	Relative moles
Ca	2.00000
H	4.00000
O	4.00000

-----Phase assemblage-----

Phase	SI	log IAP	log K(T, P)	Moles in assemblage		
				Initial	Final	Delta
Brucite	0.00	17.11	17.11	0.000e+00	7.577e-02	7.577e-02
Gypsum	0.00	-4.62	-4.62	0.000e+00	3.092e-02	3.092e-02

-----Solution composition-----

Elements	Molality	Moles
C	5.449e-03	5.443e-03
Ca	8.180e-02	8.171e-02
Cl	7.285e-01	7.277e-01
K	1.074e-02	1.073e-02
Mg	1.439e-03	1.438e-03
Na	6.074e-01	6.067e-01
S	2.238e-02	2.236e-02

-----Description of solution-----

	pH	= 10.348	Charge balance
	pe	= -4.978	Adjusted to redox equilibrium
Specific Conductance (µS/cm, 26°C)		= 60898	
Density (g/cm³)		= 1.02943	
Volume (L)		= 1.01497	
Activity of water		= 0.976	
Ionic strength (mol/kgw)		= 7.749e-01	
Mass of water (kg)		= 9.989e-01	
Total alkalinity (eq/kg)		= 1.136e-02	
Total CO2 (mol/kg)		= 5.449e-03	
Temperature (°C)		= 25.50	
Electrical balance (eq)		= -3.960e-05	
Percent error, 100*(Cat- An)/(Cat+ An)		= -0.00	
	Iterations	= 16	
	Total H	= 1.108892e+02	
	Total O	= 5.555057e+01	

-----Distribution of species-----

Species	Molality	Activity	Log Molality	Log Activity	Log Gamma	mole V cm ³ /mol
OH-	3.398e-04	2.202e-04	-3.469	-3.657	-0.188	-2.44
H+	5.978e-11	4.486e-11	-10.223	-10.348	-0.125	0.00
H2O	5.551e+01	9.765e-01	1.744	-0.010	0.000	18.07
C(-4)	2.004e-37					
CH4	2.004e-37	2.395e-37	-36.698	-36.621	0.077	35.50
C(4)	5.449e-03					
CaCO3	5.449e-03	5.905e-03	-2.264	-2.229	0.035	-15.66
NaCO3-	1.150e-13	7.507e-14	-12.939	-13.125	-0.185	3.46
CO3-2	4.723e-14	1.017e-14	-13.326	-13.993	-0.667	-1.67
HCO3-	1.433e-14	9.729e-15	-13.844	-14.012	-0.168	26.86
CaHCO3+	2.970e-15	2.005e-15	-14.527	-14.698	-0.171	9.99
MgCO3	2.437e-15	2.641e-15	-14.613	-14.578	0.035	-18.18
NaHCO3	2.002e-15	2.169e-15	-14.699	-14.664	0.035	1.80
Na2CO3	1.451e-15	1.572e-15	-14.838	-14.804	0.035	(0)
KCO3-	1.348e-16	8.394e-17	-15.870	-16.076	-0.206	(0)
KHCO3	7.160e-17	7.759e-17	-16.145	-16.110	0.035	(0)
MgHCO3+	4.606e-17	3.109e-17	-16.337	-16.507	-0.171	5.85
CO2	8.273e-19	9.889e-19	-18.082	-18.005	0.077	34.46
K2CO3	5.763e-19	6.244e-19	-18.239	-18.205	0.035	(0)
(CO2)2	1.527e-38	1.825e-38	-37.816	-37.739	0.077	68.91
Ca	8.180e-02					
Ca+2	6.574e-02	1.625e-02	-1.182	-1.789	-0.607	-16.61
CaCO3	5.449e-03	5.905e-03	-2.264	-2.229	0.035	-15.66
CaCl+	5.168e-03	3.488e-03	-2.287	-2.457	-0.171	6.56
CaSO4	4.751e-03	5.148e-03	-2.323	-2.288	0.035	7.52
CaCl2	5.968e-04	6.467e-04	-3.224	-3.189	0.035	32.68
CaOH+	8.679e-05	5.858e-05	-4.062	-4.232	-0.171	25.38
Ca(OH)2	1.032e-09	1.118e-09	-8.986	-8.951	0.035	(0)
CaHSO4+	1.763e-12	1.337e-12	-11.754	-11.874	-0.120	(0)
CaHCO3+	2.970e-15	2.005e-15	-14.527	-14.698	-0.171	9.99
Cl	7.285e-01					
Cl-	6.726e-01	4.185e-01	-0.172	-0.378	-0.206	18.86
NaCl	4.840e-02	5.245e-02	-1.315	-1.280	0.035	24.03
CaCl+	5.168e-03	3.488e-03	-2.287	-2.457	-0.171	6.56
KCl	7.419e-04	8.039e-04	-3.130	-3.095	0.035	38.35
CaCl2	5.968e-04	6.467e-04	-3.224	-3.189	0.035	32.68
MgCl+	3.773e-04	2.547e-04	-3.423	-3.594	-0.171	2.06
MgCl2	3.748e-05	4.062e-05	-4.426	-4.391	0.035	(0)
H(0)	2.146e-14					
H2	1.073e-14	1.283e-14	-13.969	-13.892	0.077	28.61
K	1.074e-02					
K+	9.890e-03	6.075e-03	-2.005	-2.216	-0.212	9.74
KCl	7.419e-04	8.039e-04	-3.130	-3.095	0.035	38.35
KSO4-	1.094e-04	7.142e-05	-3.961	-4.146	-0.185	34.92
KOH	4.222e-07	4.575e-07	-6.375	-6.340	0.035	59.12
K2SO4	1.297e-07	1.405e-07	-6.887	-6.852	0.035	(0)
KCO3-	1.348e-16	8.394e-17	-15.870	-16.076	-0.206	(0)
KHCO3	7.160e-17	7.759e-17	-16.145	-16.110	0.035	(0)
K2CO3	5.763e-19	6.244e-19	-18.239	-18.205	0.035	(0)
K2O	0.000e+00	0.000e+00	-67.823	-67.788	0.035	(0)
Mg	1.439e-03					
Mg+2	9.399e-04	2.718e-04	-3.027	-3.566	-0.539	-20.35
MgCl+	3.773e-04	2.547e-04	-3.423	-3.594	-0.171	2.06
MgSO4	6.609e-05	7.162e-05	-4.180	-4.145	0.035	5.86

MgCl2	3.748e-05	4.062e-05	-4.426	-4.391	0.035	(0)
MgOH+	1.832e-05	1.236e-05	-4.737	-4.908	-0.171	14.95
Mg2OH+3	9.032e-08	3.859e-09	-7.044	-8.414	-1.369	(0)
Mg(OH)2	1.060e-11	1.148e-11	-10.975	-10.940	0.035	(0)
Mg4(OH)4+4	8.925e-12	2.161e-13	-11.049	-12.665	-1.616	(0)
MgCO3	2.437e-15	2.641e-15	-14.613	-14.578	0.035	-18.18
MgHCO3+	4.606e-17	3.109e-17	-16.337	-16.507	-0.171	5.85
Na	6.074e-01					
Na+	5.503e-01	3.963e-01	-0.259	-0.402	-0.143	-0.42
NaCl	4.840e-02	5.245e-02	-1.315	-1.280	0.035	24.03
NaSO4-	8.129e-03	5.306e-03	-2.090	-2.275	-0.185	21.79
Na2SO4	2.773e-04	3.005e-04	-3.557	-3.522	0.035	79.41
NaOH	1.412e-05	1.531e-05	-4.850	-4.815	0.035	3.52
NaCO3-	1.150e-13	7.507e-14	-12.939	-13.125	-0.185	3.46
NaHCO3	2.002e-15	2.169e-15	-14.699	-14.664	0.035	1.80
Na2CO3	1.451e-15	1.572e-15	-14.838	-14.804	0.035	(0)
O(0)	0.000e+00					
O2	0.000e+00	0.000e+00	-64.533	-64.456	0.077	30.44
S(-2)	5.352e-23					
HS-	5.303e-23	3.171e-23	-22.276	-22.499	-0.223	21.43
S-2	4.797e-25	8.835e-26	-24.319	-25.054	-0.735	(0)
H2S	1.025e-26	1.225e-26	-25.989	-25.912	0.077	36.39
(H2S)2	0.000e+00	0.000e+00	-53.174	-53.096	0.077	30.07
S(6)	2.238e-02					
SO4-2	9.047e-03	1.551e-03	-2.043	-2.809	-0.766	18.71
NaSO4-	8.129e-03	5.306e-03	-2.090	-2.275	-0.185	21.79
CaSO4	4.751e-03	5.148e-03	-2.323	-2.288	0.035	7.52
Na2SO4	2.773e-04	3.005e-04	-3.557	-3.522	0.035	79.41
KSO4-	1.094e-04	7.142e-05	-3.961	-4.146	-0.185	34.92
MgSO4	6.609e-05	7.162e-05	-4.180	-4.145	0.035	5.86
K2SO4	1.297e-07	1.405e-07	-6.887	-6.852	0.035	(0)
HSO4-	9.024e-12	6.840e-12	-11.045	-11.165	-0.120	41.05
CaHSO4+	1.763e-12	1.337e-12	-11.754	-11.874	-0.120	(0)

-----Saturation indices-----

Phase	SI**	log IAP	log K(298 K, 1 atm)	
Anhydrite	-0.13	-4.60	-4.47	CaSO4
Antarcticite	-6.56	-2.61	3.95	CaCl2:6H2O
Aragonite	-7.44	-15.78	-8.34	CaCO3
Artinite	-10.29	9.85	20.14	Mg2(OH)2(CO3):3H2O
Bischofite	-8.85	-4.38	4.47	MgCl2:6H2O
Brucite	0.00	17.11	17.11	Mg(OH)2
CaCl2:4H2O	-7.95	-2.59	5.36	CaCl2:4H2O
Calcite	-7.38	-15.78	-8.41	CaCO3
CH4(g)	-33.81	-36.62	-2.81	CH4
CO2(g)	-16.53	-18.00	-1.47	CO2

Dolomite	-16.25	-33.34	-17.09	CaMg(CO3)2
Epsomite	-4.57	-6.45	-1.88	MgSO4:7H2O
Gypsum	0.00	-4.62	-4.62	CaSO4:2H2O
H2(g)	-10.79	-13.89	-3.10	H2
H2O(g)	-1.50	-0.01	1.49	H2O
H2S(g)	-24.91	-32.85	-7.94	H2S
Halite	-2.35	-0.78	1.57	NaCl
Hexahydrate	-4.80	-6.44	-1.64	MgSO4:6H2O
Hydromagnesite	-42.70	-11.85	30.85	Mg5(OH)2(CO3)4:4H2O
Hydroxichloride(Ca)	-5.02	8.17	13.20	CaOHCl
Hydroxichloride(Ca:H2O)	-3.19	8.16	11.35	CaCl(OH):H2O
Hydroxichloride(Mg:4H2O)	-2.58	23.46	26.04	Mg2Cl(OH)3:4H2O
Lime	-13.80	18.90	32.70	CaO
Magnesite	-9.52	-17.56	-8.04	MgCO3
Mg3Cl(OH)5:4H2O(s)	-2.64	40.57	43.21	Mg3Cl(OH)5:4H2O
MgOHCl(s)	-9.52	6.39	15.91	MgOHCl
MgSO4(s)	-11.25	-6.37	4.88	MgSO4
Monohydrocalcite	-8.19	-15.79	-7.60	CaCO3:H2O
O2(g)	-61.56	-64.46	-2.90	O2
Pentahydrate	-4.43	-6.43	-2.00	MgSO4:5H2O
Periclase	-4.46	17.12	21.59	MgO
Portlandite	-3.93	18.89	22.81	Ca(OH)2
Sulfur	-20.04	-15.17	4.87	S
Sylvite	-3.50	-2.59	0.90	KCl

**For a gas, $SI = \log_{10}(\text{fugacity})$. Fugacity = pressure * phi / 1 atm.
For ideal gases, phi = 1.

1.5 C.5 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 5, Faena Minera año 2011:

TITLE Composición corriente 5 Faena Taltal año 2011

#Antonia Montiel Soto

#Memoria: ''Modelo predictivo de la calidad del agua que se recircula al proceso de concentracion de minerales utilizando agua de mar en faena minera''

SOLUTION_SPECIES

CO3-2 = CO3-2

-gamma 5.4 0.045
-dw 0.955e-9 0 1.12 2.84
-Vm 5.95 0 0 -5.67 6.85 0 1.37 106 -0.0343

SO4-2 = SO4-2

-gamma 5.0 -0.04
-dw 1.07e-9 34 4.46 25.9
-Vm -7.77 43.17 141.1 -42.45 3.794 0 4.97 26.5 -5.77e-2 0.45

H2O = OH- + H+

-gamma 3.5 0.045
-dw 5.27e-9 548 0.52 1e-10
-Vm -9.66 28.5 80.0 -22.9 1.89 0 1.09 0 0 1

log_k -13.9951

CO3-2 + H+ = HCO3-

-gamma 4.2 0.045
-dw 1.18e-9 0 1.43 1e-10
-Vm 8.54 0 -11.7 0 1.6 0 0 116 0 1
log_k 10.3288

Mg+2 + H2O = MgOH+ + H+

-gamma 4.1 0.045
-dw 6.37e-10
-Vm 2.3105 -2.1365 6.5827 2.6906 0.8449
log_k -11.68

Mg+2 + 2H2O = Mg(OH)2 + 2H+

-gamma 4.5 0.045
-Vm
log_k = -28.05

2Mg+2 + H2O = Mg2OH+3 + H+

-gamma 6.5 0.045
-dw
-Vm
log_k -11.62

```

4Mg+2 + 4H2O = Mg4(OH)4+4 + 4H+
    -gamma 11.6 0.045
    # -dw
    # -Vm
    log_k -39.754

Mg+2 + 1.0000 Cl- = MgCl+
    -gamma 4.1 0.045
    -Vm 2.223 -2.3505 6.6669 -2.6818 0.84490
##    # -dw
    log_k 0.35

Mg+2 + 2Cl- = MgCl2
    -gamma 4.5 0.045
    # -Vm
    log_k -0.069

Mg+2 + CO3-2 = MgCO3
    -gamma 3.4 0.045
    -Vm -0.7355 -9.5745 9.5062 -2.3831 -0.038
    log_k 2.98

Mg+2 + H+ + CO3-2 = MgHCO3+
    -gamma 4.1 0.045
    -dw 4.78e-10
    -Vm 2.7171 -1.1469 6.2008 -2.7316 0.5985 4
    log_k 11.399

Mg+2 + SO4-2 = MgSO4
    -gamma 3.4 0.045
    -Vm 2.4 -0.97 6.1 -2.74
    log_k 2.23

Ca+2 + H2O = CaOH+ + H+
    -gamma 4.1 0.045
    -dw 7.14e-10 # OLI
    -Vm 5.866
    log_k -12.781

Ca+2 + 2H2O = Ca(OH)2 + 2H+
    -gamma 4.0 0.045
    # -Vm
    log_k = -27.838

```

```

Ca+2 + 1.0000 Cl- = CaCl+
  -gamma 4.1 0.045
  -dw 1.39e-9
  -Vm 2.7148 -1.1497 6.1949 -2.7314 0.48620
  log_k -0.29

Ca+2 + 2Cl- = CaCl2
  -gamma 3.4 0.045
  -Vm 6.2187 7.4058 2.8322 -3.0851 -0.038
  log_k -0.6436

Ca+2 + HCO3- = CaCO3 + H+
  -gamma 3.4 0.045
  -dw 4.46e-10
  -Vm -0.3907 -8.7325 9.1753 -2.4179 -0.038
  log_k 3.224

Ca+2 + HCO3- = CaHCO3+
  -gamma 4.1 0.045
  -dw 5.06e-10
  -Vm 3.1911 0.0104 5.7459 -2.7794 0.3084 5.4
  log_k 1.103

Ca+2 + SO4-2 = CaSO4
  -gamma 3.4 0.045
  -dw 4.71e-10
  -Vm 2.7910 -0.9666 6.1300 -2.7390 -0.0010
  log_k 2.31

1.0000 Na+ + 1.0000 H2O = NaOH + 1.0000 H+
  -gamma 4.0 0.045
  -Vm 2.2338 -2.3287 6.6683 -2.6826 -0.03
  log_k -14.751

1.0000 Na+ + 1.0000 Cl- = NaCl
  -gamma 3.4 0.045
  -Vm 5.0364 4.5189 3.9669 -2.9658 -0.038
  log_k -0.5

Na+ + CO3-2 = NaCO3-
  -gamma 3.6 0.045
  -dw 1.2e-9 0 1e-10 1e-10
  -Vm 3.89 -8.23e-4 20 -9.44 3.02 9.05e-3 3.07 0 0.0233 1
  log_k 1.27

2.0000 Na+ + CO3-2 = Na2CO3
  -gamma 3.5 0.045
  # -Vm
  log_k -0.007

```

```

1.0000 Na+ + 1.0000 CO3-2 + H+ = NaHCO3
  -gamma 3.4 0.045
  -dw 6.73e-10
  -Vm 0.431
  log_k 10.079


---


1.0000 Na+ + 1.0000 SO4-2 = NaSO4-
  -gamma 3.6 0.045
  -dw 1.33e-9 0 0.57 1e-10
  -Vm 1e-5 16.4 -0.0678 -1.05 4.14 0 6.86 0 0.0242 0.53
  log_k 0.936
2.0000 Na+ + 1.0000 SO4-2 = Na2SO4
  -gamma 4.0 0.045
  -Vm 18.98
  log_k 0.0911
1.0000 K+ + 1.0000 H2O = KOH + 1.0000 H+
  -gamma 3.4 0.045
  -Vm 14.13
  log_k -14.461
2.0000 K+ + 1.0000 H2O = K2O + 2.0000 H+
  -gamma 4.0 0.045
  # -Vm
  log_k -84.041
1.0000 K+ + 1.0000 Cl- = KCl
  -gamma 3.4 0.045
  -Vm 6.9932 9.297 2.0889 -3.1633 -0.038
  -dw 1.51e-9
  log_k -0.5
1.0000 K+ + 1.0000 CO3-2 = KCO3-
  -gamma 3.0 0.045
  # -dw
  # -Vm
  log_k 0.133
2.0000 K+ + 1.0000 CO3-2 = K2CO3
  -gamma 3.5 0.045
  # -Vm
  log_k 0.221


---


1.0000 K+ + 1.0000 H+ + CO3-2 = KHCO3
  -gamma 5.0 0.045
  # -Vm
  log_k 10.447
1.0000 K+ + 1.0000 SO4-2 = KSO4-
  -gamma 3.6 0.045

```

```

-dw 1.5e-9 0 1e-10 1e10
-Vm 6.8 7.06 3.0 -2.07 1.1 0 0 0 0 1
log_k 0.8796

2.0000 K+ +1.0000 SO4-2 = K2SO4
-gamma 4.0 0.045
# -Vm
log_k 0.39

PHASES

Brucite
Mg(OH)2 + 2H+ = Mg+2 + 2H2O
log_k 17.11

Periclase
MgO +2.0000 H+ = 1.0000 H2O + 1.0000 Mg+2
log_k 21.585

Bischofite
MgCl2:6H2O = 1.0000 Mg+2 + 2.0000 Cl- + 6.0000 H2O
log_k 4.466

MgOHCl(s)
MgOHCl + 1.0000 H+ = 1.0000 Cl- + 1.0000 H2O + 1.0000 Mg+2
log_k 15.914

Hydroxichloride (Mg:4H2O)
Mg2Cl(OH)3:4H2O + 3H+ = 2Mg+2 + Cl- + 7H2O
log_k 26.04

Mg3Cl(OH)5:4H2O(s)
Mg3Cl(OH)5:4H2O + 5.0000 H+ = 3.0000 Mg+2 + 1.0000 Cl- + 9.0000 H2O
log_k 43.21

# Mg2(OH)3Cl:4H2O(cr)

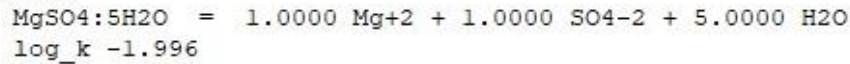
Artinite
Mg2(OH)2(CO3):3H2O + 3H+ = HCO3- + 2Mg+2 + 5H2O
log_k 20.143

Hydromagnesite
Mg5(OH)2(CO3)4:4H2O + 6.000H+ = 4.000HCO3- + 5.000Mg+2 + 6.000H2O
log_k 30.854

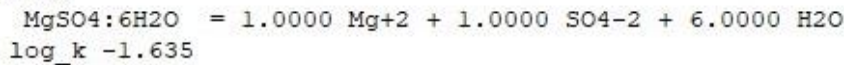
MgSO4(s)
MgSO4 = 1.0000 Mg+2 + 1.0000 SO4-2
log_k 4.8781

```

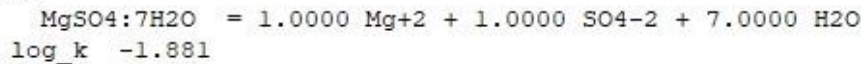
Pentahydrate



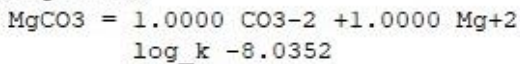
Hexahydrate



Epsomite

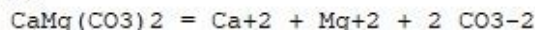


Magnesite



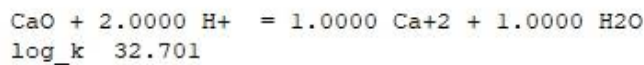
-Vm 28.018

Dolomite

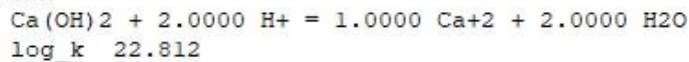


log_k -17.09

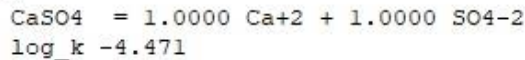
Lime



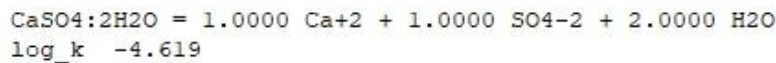
Portlandite



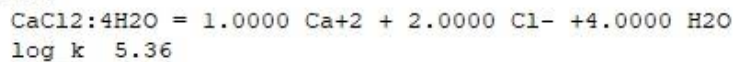
Anhydrite



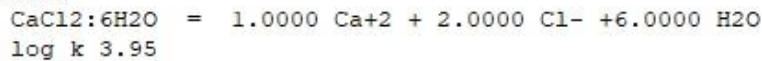
Gypsum



CaCl₂·4H₂O



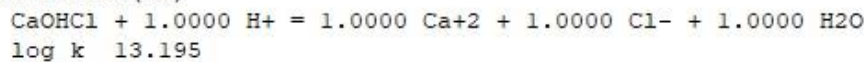
Antarcticite



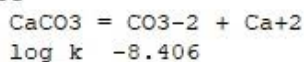
Hydroxichloride (Ca:H₂O)



Hydroxichloride (Ca)



Calcite



Monohydrocalcite

CaCO3:H2O = 1.0000 Ca+2 + 1.0000 H2O + 1.0000 CO3-2
log_k -7.6

Quartz

SiO2 + 2 H2O = H4SiO4
log_k -3.98
-delta_h 5.990 kcal
-analytic 0.41 0.0 -1309.0
-Vm 22.67

Kaolinite

Al2Si2O5(OH)4 + 6 H+ = H2O + 2 H4SiO4 + 2 Al+3
-log_k 7.435
-delta_h -35.300 kcal
-Vm 99.35

K-feldspar

KAlSi3O8 + 8 H2O = K+ + Al(OH)4- + 3 H4SiO4
-log_k -20.573
-delta_h 30.820 kcal
-Vm 108.15

SOLUTION 5

pH 7.34
temp 25.5
units mol/kgw
C(4) 0.0057013 #FACTOR DE DUREZA TOTAL TABLA CENIZAS
Ca 0.05235 #AJUSTADO POR SOLUBILIDAD DE YESO
Cl 0.78678 #FACTOR DE CLORO TABLA CENIZAS
K 0.0116 #FACTOR CLORO TABLA DE CENIZAS
Mg 0.0856578 #BALANCE POR ELEMENTO
Na 0.655992 #FACTOR DE CLORO TABLA CENIZAS
S(6) 0.0257598 charge

EQUILIBRIUM_PHASES 1

Gypsum 0 0
END

1.6 C.6 Resultados de simulación en Phreeqc para especiación química de la corriente 5, Faena Minera año 2011.

Reaction step 1.

Using solution 5.

Using pure phase assemblage 1.

-----Phase assemblage-----

Phase	SI	log IAP	log K(T, P)	Moles in assemblage		
				Initial	Final	Delta
Gypsum	0.00	-4.62	-4.62	0.000e+00	1.276e-02	1.276e-02

-----Solution composition-----

Elements	Molality	Moles
C	5.704e-03	5.701e-03
Ca	3.961e-02	3.959e-02
Cl	7.871e-01	7.868e-01
K	1.161e-02	1.160e-02
Mg	8.570e-02	8.566e-02
Na	6.563e-01	6.560e-01
S	5.998e-02	5.996e-02

-----Description of solution-----

pH	=	7.336	Charge balance
pe	=	-2.143	Adjusted to redox equilib
Specific Conductance (µS/cm, 26°C)	=	64018	
Density (g/cm³)	=	1.03544	
Volume (L)	=	1.01670	
Activity of water	=	0.974	
Ionic strength (mol/kgw)	=	8.762e-01	
Mass of water (kg)	=	9.995e-01	
Total alkalinity (eq/kg)	=	1.141e-02	
Total CO2 (mol/kg)	=	5.704e-03	
Temperature (°C)	=	25.50	
Electrical balance (eq)	=	5.482e-15	
Percent error, 100*(Cat- An)/(Cat+ An)	=	0.00	
Iterations	=	10	
Total H	=	1.109614e+02	
Total O	=	5.573763e+01	

-----Distribution of species-----

Species	Molality	Activity	Log Molality	Log Activity	Log Gamma	mole V cm³/mol
OH-	3.316e-07	2.138e-07	-6.479	-6.670	-0.191	-2.28
H+	6.171e-08	4.609e-08	-7.210	-7.336	-0.127	0.00
H2O	5.551e+01	9.742e-01	1.744	-0.011	0.000	18.07
C(-4)	1.399e-29					
CH4	1.399e-29	1.711e-29	-28.854	-28.767	0.088	35.50
C(4)	5.704e-03					
CaCO3	5.704e-03	6.246e-03	-2.244	-2.204	0.039	-15.66
HCO3-	3.850e-11	2.608e-11	-10.415	-10.584	-0.169	27.08
MgHCO3+	6.957e-12	4.683e-12	-11.158	-11.330	-0.172	5.86
NaHCO3	5.636e-12	6.172e-12	-11.249	-11.210	0.039	1.80
CaHCO3+	3.236e-12	2.179e-12	-11.490	-11.662	-0.172	10.00
CO2	2.232e-12	2.731e-12	-11.651	-11.564	0.088	34.46
MgCO3	3.536e-13	3.872e-13	-12.452	-12.412	0.039	-18.18

NaCO3-	3.200e-13	2.079e-13	-12.495	-12.682	-0.187	4.00
KHCO3	1.996e-13	2.186e-13	-12.700	-12.660	0.039	(0)
CO3-2	1.267e-13	2.655e-14	-12.897	-13.576	-0.679	-1.42
Na2CO3	4.220e-15	4.621e-15	-14.375	-14.335	0.039	(0)
KCO3-	3.725e-16	2.302e-16	-15.429	-15.638	-0.209	(0)
K2CO3	1.643e-18	1.799e-18	-17.784	-17.745	0.039	(0)
(CO2)2	1.137e-25	1.391e-25	-24.944	-24.857	0.088	68.91
Ca	3.961e-02					
Ca+2	2.675e-02	6.588e-03	-1.573	-2.181	-0.609	-16.54
CaCO3	5.704e-03	6.246e-03	-2.244	-2.204	0.039	-15.66
CaSO4	4.724e-03	5.173e-03	-2.326	-2.286	0.039	7.52
CaCl+	2.176e-03	1.465e-03	-2.662	-2.834	-0.172	6.62
CaCl2	2.569e-04	2.813e-04	-3.590	-3.551	0.039	32.68
CaOH+	3.426e-08	2.306e-08	-7.465	-7.637	-0.172	25.43
CaHSO4+	1.788e-09	1.380e-09	-8.748	-8.860	-0.113	(0)
CaHCO3+	3.236e-12	2.179e-12	-11.490	-11.662	-0.172	10.00
Ca(OH)2	3.904e-16	4.275e-16	-15.409	-15.369	0.039	(0)
Cl	7.871e-01					
Cl-	7.045e-01	4.335e-01	-0.152	-0.363	-0.211	18.91
NaCl	5.265e-02	5.766e-02	-1.279	-1.239	0.039	24.03
MgCl+	2.202e-02	1.482e-02	-1.657	-1.829	-0.172	2.11
MgCl2	2.236e-03	2.449e-03	-2.650	-2.611	0.039	(0)
CaCl+	2.176e-03	1.465e-03	-2.662	-2.834	-0.172	6.62
KCl	7.991e-04	8.750e-04	-3.097	-3.058	0.039	38.35
CaCl2	2.569e-04	2.813e-04	-3.590	-3.551	0.039	32.68
H(0)	4.723e-14					
H2	2.362e-14	2.889e-14	-13.627	-13.539	0.088	28.61
K	1.161e-02					
K+	1.052e-02	6.383e-03	-1.978	-2.195	-0.217	9.79
KCl	7.991e-04	8.750e-04	-3.097	-3.058	0.039	38.35
KSO4-	2.864e-04	1.860e-04	-3.543	-3.730	-0.187	34.97
K2SO4	3.512e-07	3.846e-07	-6.454	-6.415	0.039	(0)
KOH	4.262e-10	4.667e-10	-9.370	-9.331	0.039	59.12
KHCO3	1.996e-13	2.186e-13	-12.700	-12.660	0.039	(0)
KCO3-	3.725e-16	2.302e-16	-15.429	-15.638	-0.209	(0)
K2CO3	1.643e-18	1.799e-18	-17.784	-17.745	0.039	(0)
K2O	0.000e+00	0.000e+00	-73.809	-73.769	0.039	(0)
Mg	8.570e-02					
Mg+2	5.233e-02	1.527e-02	-1.281	-1.816	-0.535	-20.28
MgCl+	2.202e-02	1.482e-02	-1.657	-1.829	-0.172	2.11
MgSO4	9.108e-03	9.974e-03	-2.041	-2.001	0.039	5.86
MgCl2	2.236e-03	2.449e-03	-2.650	-2.611	0.039	(0)
MgOH+	1.002e-06	6.745e-07	-5.999	-6.171	-0.172	15.00
Mg2OH+3	2.933e-07	1.183e-08	-6.533	-7.927	-1.394	(0)
MgHCO3+	6.957e-12	4.683e-12	-11.158	-11.330	-0.172	5.86
MgCO3	3.536e-13	3.872e-13	-12.452	-12.412	0.039	-18.18
Mg(OH)2	5.554e-16	6.082e-16	-15.255	-15.216	0.039	(0)
Mg4(OH)4+4	8.245e-17	1.914e-18	-16.084	-17.718	-1.634	(0)
Na	6.563e-01					
Na+	5.806e-01	4.206e-01	-0.236	-0.376	-0.140	-0.36
NaCl	5.265e-02	5.766e-02	-1.279	-1.239	0.039	24.03
NaSO4-	2.148e-02	1.396e-02	-1.668	-1.855	-0.187	22.35
Na2SO4	7.661e-04	8.390e-04	-3.116	-3.076	0.039	79.41
NaOH	1.440e-08	1.577e-08	-7.842	-7.802	0.039	3.52
NaHCO3	5.636e-12	6.172e-12	-11.249	-11.210	0.039	1.80
NaCO3-	3.200e-13	2.079e-13	-12.495	-12.682	-0.187	4.00
Na2CO3	4.220e-15	4.621e-15	-14.375	-14.335	0.039	(0)
O(0)	0.000e+00					
O2	0.000e+00	0.000e+00	-65.251	-65.163	0.088	30.44
S(-2)	4.248e-18					
HS-	3.567e-18	2.100e-18	-17.448	-17.678	-0.230	21.48
H2S	6.812e-19	8.335e-19	-18.167	-18.079	0.088	36.39

S-2	3.225e-23	5.694e-24	-22.491	-23.245	-0.753	(0)
(H2S)2	3.030e-38	3.707e-38	-37.519	-37.431	0.088	30.07
S(6)	5.998e-02					
SO4-2	2.361e-02	3.846e-03	-1.627	-2.415	-0.788	18.98
NaSO4-	2.148e-02	1.396e-02	-1.668	-1.855	-0.187	22.35
MgSO4	9.108e-03	9.974e-03	-2.041	-2.001	0.039	5.86
CaSO4	4.724e-03	5.173e-03	-2.326	-2.286	0.039	7.52
Na2SO4	7.661e-04	8.390e-04	-3.116	-3.076	0.039	79.41
KSO4-	2.864e-04	1.860e-04	-3.543	-3.730	-0.187	34.97
K2SO4	3.512e-07	3.846e-07	-6.454	-6.415	0.039	(0)
HSO4-	2.258e-08	1.742e-08	-7.646	-7.759	-0.113	41.09
CaHSO4+	1.788e-09	1.380e-09	-8.748	-8.860	-0.113	(0)

-----Saturation indices-----

Phase	SI**	log IAP	log K(298 K,	1 atm)	
Anhydrite	-0.13	-4.60	-4.47	CaSO4	
Antarcticite	-6.93	-2.98	3.95	CaCl2:6H2O	
Aragonite	-7.42	-15.76	-8.34	CaCO3	
Artinite	-12.41	7.74	20.14	Mg2(OH)2(CO3):3H2O	
Bischofite	-7.08	-2.61	4.47	MgCl2:6H2O	
Brucite	-4.28	12.83	17.11	Mg(OH)2	
CaCl2:4H2O	-8.31	-2.95	5.36	CaCl2:4H2O	
Calcite	-7.35	-15.76	-8.41	CaCO3	
CH4(g)	-25.96	-28.77	-2.81	CH4	
CO2(g)	-10.09	-11.56	-1.47	CO2	
Dolomite	-14.06	-31.15	-17.09	CaMg(CO3)2	
Epsomite	-2.43	-4.31	-1.88	MgSO4:7H2O	
Gypsum	0.00	-4.62	-4.62	CaSO4:2H2O	
H2(g)	-10.44	-13.54	-3.10	H2	
H2O(g)	-1.50	-0.01	1.49	H2O	
H2S(g)	-17.08	-25.01	-7.94	H2S	
Halite	-2.31	-0.74	1.57	NaCl	
Hexahydrite	-2.66	-4.30	-1.64	MgSO4:6H2O	
Hydromagnesite	-38.32	-7.46	30.85	Mg5(OH)2(CO3)4:4H2O	
Hydroxichloride(Ca)	-8.41	4.78	13.20	CaOHCl	
Hydroxichloride(Ca:H2O)	-6.58	4.77	11.35	CaCl(OH):H2O	
Hydroxichloride(Mg:4H2O)	-8.11	17.93	26.04	Mg2Cl(OH)3:4H2O	
Lime	-20.22	12.48	32.70	CaO	
Magnesite	-7.36	-15.39	-8.04	MgCO3	
Mg3Cl(OH)5:4H2O(s)	-12.44	30.77	43.21	Mg3Cl(OH)5:4H2O	
MgOHCl(s)	-10.77	5.15	15.91	MgOHCl	
MgSO4(s)	-9.11	-4.23	4.88	MgSO4	
Monohydrocalcite	-8.17	-15.77	-7.60	CaCO3:H2O	
O2(g)	-62.27	-65.16	-2.90	O2	
Pentahydrite	-2.29	-4.29	-2.00	MgSO4:5H2O	
Periclase	-8.74	12.85	21.59	MgO	
Portlandite	-10.34	12.47	22.81	Ca(OH)2	
Sulfur	-12.56	-7.69	4.87	S	
Sylvite	-3.46	-2.56	0.90	KCl	

**For a gas, SI = log10(fugacity). Fugacity = pressure * phi / 1 atm.
For ideal gases, phi = 1.

End of simulation.

Reading input data for simulation 2.

End of Run after 0.043 Seconds.

ANEXO D. SIMULACIONES EN PHREEQC FAENA AÑO 2017

Para los cálculos se considera la misma solución de especies y fases que en los códigos del año 2011, los cuales son utilizados como base de datos para las simulaciones. Por ende, a continuación se simplifican los códigos de las corrientes del año 2017.

1.1 D.1 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 5, Faena minera año 2017:

```
SOLUTION 5 # COMPOSICIÓN Tranque 2017
  pH          4.28 #POZO CENIZAS
  temp       18.7 #POZO CENIZAS
  units g/L
  C(4)       0.518   CO2(g) -3.5
  Ca         1.700
  Cl        32.035 #GRAFICOS DE CORRELACIÓN
  K          0.559
  Mg        2.566
  Na        18.424 charge
  S(6)      6.501 #GRAFICOS DE CORRELACIÓN

EQUILIBRIUM_PHASES 5
  Gypsum     0.0     0.0 # SI y moles
  CO2(g)    -3.5

END
```

1.2 D.2 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 5, Faena minera año 2017:

Reaction step 1.

Using solution 5.

Using pure phase assemblage 5.

-----Phase assemblage-----

Phase	SI	log IAP	log K(T, P)	Moles in assemblage		
				Initial	Final	Delta
CO2(g)	-3.50	-4.89	-1.39	1.000e+01	1.000e+01	-1.776e-15
Gypsum	-0.02	-4.64	-4.62	0.000e+00	0	0.000e+00

-----Solution composition-----

Elements	Molality	Moles
C	1.441e-02	1.441e-02
Ca	4.523e-02	4.523e-02
Cl	9.636e-01	9.636e-01
K	1.525e-02	1.525e-02
Mg	1.126e-01	1.126e-01
Na	8.058e-01	8.058e-01
S	7.217e-02	7.217e-02

-----Description of solution-----

pH = 4.280 Charge balance
 pe = 5.300 Adjusted to redox equilibrium
 Specific Conductance ($\mu\text{S}/\text{cm}$, 19°C) = 64006
 Density (g/cm^3) = 1.04637
 Volume (L) = 1.01841
 Activity of water = 0.969
 Ionic strength (mol/kgw) = 1.038e+00
 Mass of water (kg) = 1.000e+00
 Total alkalinity (eq/kg) = 2.870e-02
 Total CO2 (mol/kg) = 1.441e-02
 Temperature ($^{\circ}\text{C}$) = 18.70
 Electrical balance (eq) = 5.941e-13
 Percent error, $100 \times (\text{Cat} - |\text{An}|) / (\text{Cat} + |\text{An}|)$ = 0.00
 Iterations = 1
 Total H = 1.110125e+02
 Total O = 5.583811e+01

-----Distribution of species-----

Species	Molality	Activity	Log Molality	Log Activity	Log Gamma	mole V cm^3/mol
H+	7.054e-05	5.248e-05	-4.152	-4.280	-0.128	0.00
OH-	2.894e-10	1.867e-10	-9.538	-9.729	-0.190	-2.39
H2O	5.551e+01	9.686e-01	1.744	-0.014	0.000	18.04
C(-4)	0.000e+00					
CH4	0.000e+00	0.000e+00	-56.349	-56.245	0.104	34.89
C(4)	1.441e-02					
CaCO3	1.440e-02	1.603e-02	-1.842	-1.795	0.047	-15.67
CO2	1.013e-05	1.287e-05	-4.994	-4.890	0.104	34.12
HCO3-	1.237e-07	8.415e-08	-6.908	-7.075	-0.167	26.98
MgHCO3+	2.832e-08	1.913e-08	-7.548	-7.718	-0.170	5.64
NaHCO3	2.194e-08	2.443e-08	-7.659	-7.612	0.047	1.80
CaHCO3+	9.428e-09	6.368e-09	-8.026	-8.196	-0.170	9.71
KHCO3	8.135e-10	9.059e-10	-9.090	-9.043	0.047	(0)
(CO2) 2	1.930e-12	2.451e-12	-11.715	-11.611	0.104	68.24
MgCO3	1.247e-12	1.389e-12	-11.904	-11.857	0.047	-18.16
NaCO3-	1.111e-12	7.226e-13	-11.954	-12.141	-0.187	3.91
CO3-2	3.661e-13	7.521e-14	-12.436	-13.124	-0.687	-1.51
Na2CO3	1.769e-14	1.970e-14	-13.752	-13.705	0.047	(0)
KCO3-	1.359e-15	8.376e-16	-14.867	-15.077	-0.210	(0)
K2CO3	7.554e-18	8.411e-18	-17.122	-17.075	0.047	(0)
Ca	4.523e-02					
Ca+2	2.374e-02	5.969e-03	-1.625	-2.224	-0.600	-16.65
CaCO3	1.440e-02	1.603e-02	-1.842	-1.795	0.047	-15.67
CaSO4	4.443e-03	4.947e-03	-2.352	-2.306	0.047	7.24
CaCl+	2.331e-03	1.574e-03	-2.633	-2.803	-0.170	6.42
CaCl2	3.220e-04	3.585e-04	-3.492	-3.445	0.047	32.11
CaHSO4+	1.628e-06	1.300e-06	-5.788	-5.886	-0.098	(0)
CaHCO3+	9.428e-09	6.368e-09	-8.026	-8.196	-0.170	9.71
CaOH+	2.701e-11	1.824e-11	-10.568	-10.739	-0.170	25.45
Ca (OH) 2	2.652e-22	2.953e-22	-21.576	-21.530	0.047	(0)
Cl	9.636e-01					
Cl-	8.433e-01	5.142e-01	-0.074	-0.289	-0.215	18.72
NaCl	7.534e-02	8.390e-02	-1.123	-1.076	0.047	23.56
MgCl+	3.296e-02	2.226e-02	-1.482	-1.653	-0.170	1.99

MgCl2	3.916e-03	4.361e-03	-2.407	-2.360	0.047	(0)
CaCl+	2.331e-03	1.574e-03	-2.633	-2.803	-0.170	6.42
KCl	1.197e-03	1.333e-03	-2.922	-2.875	0.047	37.71
CaCl2	3.220e-04	3.585e-04	-3.492	-3.445	0.047	32.11
H(0)	8.224e-23					
H2	4.112e-23	5.222e-23	-22.386	-22.282	0.104	28.61
K	1.525e-02					
K+	1.366e-02	8.200e-03	-1.865	-2.086	-0.222	9.66
KCl	1.197e-03	1.333e-03	-2.922	-2.875	0.047	37.71
KSO4-	3.879e-04	2.523e-04	-3.411	-3.598	-0.187	34.80
K2SO4	6.017e-07	6.700e-07	-6.221	-6.174	0.047	(0)
KHCO3	8.135e-10	9.059e-10	-9.090	-9.043	0.047	(0)
KOH	4.702e-13	5.235e-13	-12.328	-12.281	0.047	59.12
KCO3-	1.359e-15	8.376e-16	-14.867	-15.077	-0.210	(0)
K2CO3	7.554e-18	8.411e-18	-17.122	-17.075	0.047	(0)
K2O	0.000e+00	0.000e+00	-79.714	-79.667	0.047	(0)
Mg	1.126e-01					
Mg+2	6.371e-02	1.934e-02	-1.196	-1.714	-0.518	-20.00
MgCl+	3.296e-02	2.226e-02	-1.482	-1.653	-0.170	1.99
MgSO4	1.197e-02	1.333e-02	-1.922	-1.875	0.047	5.58
MgCl2	3.916e-03	4.361e-03	-2.407	-2.360	0.047	(0)
MgHCO3+	2.832e-08	1.913e-08	-7.548	-7.718	-0.170	5.64
MgOH+	1.104e-09	7.457e-10	-8.957	-9.127	-0.170	16.18
Mg2OH+3	4.292e-10	1.656e-11	-9.367	-10.781	-1.414	(0)
MgCO3	1.247e-12	1.389e-12	-11.904	-11.857	0.047	-18.16
Mg(OH)2	5.272e-22	5.871e-22	-21.278	-21.231	0.047	(0)
Mg4(OH)4+4	1.255e-28	2.859e-30	-27.901	-29.544	-1.642	(0)
Na	8.058e-01					
Na+	7.003e-01	5.160e-01	-0.155	-0.287	-0.133	-0.58
NaCl	7.534e-02	8.390e-02	-1.123	-1.076	0.047	23.56
NaSO4-	2.780e-02	1.808e-02	-1.556	-1.743	-0.187	23.13
Na2SO4	1.197e-03	1.333e-03	-2.922	-2.875	0.047	79.41
NaHCO3	2.194e-08	2.443e-08	-7.659	-7.612	0.047	1.80
NaOH	1.517e-11	1.690e-11	-10.819	-10.772	0.047	3.28
NaCO3-	1.111e-12	7.226e-13	-11.954	-12.141	-0.187	3.91
Na2CO3	1.769e-14	1.970e-14	-13.752	-13.705	0.047	(0)
O(0)	0.000e+00					
O2	0.000e+00	0.000e+00	-50.024	-49.920	0.104	29.87
S(-2)	0.000e+00					
H2S	0.000e+00	0.000e+00	-46.010	-45.906	0.104	34.58
HS-	0.000e+00	0.000e+00	-48.417	-48.655	-0.237	21.15
S-2	0.000e+00	0.000e+00	-56.713	-57.484	-0.771	(0)
(H2S)2	0.000e+00	0.000e+00	-93.266	-93.162	0.104	30.34
S(6)	7.217e-02					
NaSO4-	2.780e-02	1.808e-02	-1.556	-1.743	-0.187	23.13
SO4-2	2.635e-02	4.059e-03	-1.579	-2.392	-0.812	18.60
MgSO4	1.197e-02	1.333e-02	-1.922	-1.875	0.047	5.58
CaSO4	4.443e-03	4.947e-03	-2.352	-2.306	0.047	7.24
Na2SO4	1.197e-03	1.333e-03	-2.922	-2.875	0.047	79.41
KSO4-	3.879e-04	2.523e-04	-3.411	-3.598	-0.187	34.80
HSO4-	2.268e-05	1.812e-05	-4.644	-4.742	-0.098	40.61
CaHSO4+	1.628e-06	1.300e-06	-5.788	-5.886	-0.098	(0)
K2SO4	6.017e-07	6.700e-07	-6.221	-6.174	0.047	(0)

-----Saturation indices-----

Phase	SI**	log IAP	log K(291 K,	1 atm)	
Anhydrite	-0.14	-4.62	-4.47	CaSO4	
Antarcticite	-6.84	-2.89	3.95	CaCl2:6H2O	
Aragonite	-7.05	-15.35	-8.30	CaCO3	
Artinite	-17.87	2.27	20.14	Mg2(OH)2(CO3):3H2O	
Bischofite	-6.84	-2.37	4.47	MgCl2:6H2O	
Brucite	-10.29	6.82	17.11	Mg(OH)2	
CaCl2:4H2O	-8.22	-2.86	5.36	CaCl2:4H2O	
Calcite	-6.94	-15.35	-8.41	CaCO3	
CH4(g)	-53.51	-56.25	-2.74	CH4	
CO2(g)	-3.50	-4.89	-1.39	CO2 Pressure	0.0 atm, phi 1.000
Dolomite	-13.10	-30.19	-17.09	CaMg(CO3)2	
Epsomite	-2.32	-4.20	-1.88	MgSO4:7H2O	
Gypsum	-0.02	-4.64	-4.62	CaSO4:2H2O	
H2(g)	-19.20	-22.28	-3.08	H2	
H2O(g)	-1.68	-0.01	1.67	H2O	
H2S(g)	-44.98	-52.93	-7.95	H2S	
Halite	-2.14	-0.58	1.56	NaCl	
Hexahydrite	-2.55	-4.19	-1.64	MgSO4:6H2O	
Hydromagnesite	-42.12	-11.27	30.85	Mg5(OH)2(CO3)4:4H2O	
Hydroxichloride(Ca)	-11.44	1.75	13.20	CaOHCl	
Hydroxichloride(Ca:H2O)	-9.61	1.74	11.35	CaCl(OH):H2O	
Hydroxichloride(Mg:4H2O)	-17.01	9.03	26.04	Mg2Cl(OH)3:4H2O	
Lime	-26.38	6.32	32.70	CaO	
Magnesite	-6.80	-14.84	-8.04	MgCO3	
Mg3Cl(OH)5:4H2O(s)	-27.36	15.85	43.21	Mg3Cl(OH)5:4H2O	
MgOHCl(s)	-13.65	2.26	15.91	MgOHCl	
MgSO4(s)	-8.98	-4.11	4.88	MgSO4	
Monohydrocalcite	-7.76	-15.36	-7.60	CaCO3:H2O	
O2(g)	-47.08	-49.92	-2.84	O2	
Pentahydrite	-2.18	-4.17	-2.00	MgSO4:5H2O	
Periclase	-14.75	6.83	21.59	MgO	
Portlandite	-16.50	6.31	22.81	Ca(OH)2	
Sulfur	-31.78	-26.75	5.03	S	
Sylvite	-3.24	-2.38	0.87	KCl	

**For a gas, SI = log10(fugacity). Fugacity = pressure * phi / 1 atm.
For ideal gases, phi = 1.

End of simulation.

Reading input data for simulation 2.

End of Run after 0.115 Seconds.

**1.3 D.3 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 3,
Faena minera año 2017:**

```
SOLUTION 5 # COMPOSICIÓN DEPOSITO DE RELAVES 2017 CORRIENTE (5)
  pH          4.28 #Pozo CENIZAS
  temp        18.7 #Pozo CENIZAS
  density 1.04417
  units mol/kgw
  C(4)        1.441e-02
  Ca          4.523e-02
  Cl          9.636e-01
  K           1.525e-02
  Mg          1.126e-01
  Na          8.058e-01
  S(6)        7.217e-02
```

```
SAVE SOLUTION 5
END
```

```
SOLUTION 2 # COMPOSICIÓN CORRIENTE(2) FAENA AÑO 2011
  pH          7.87
  temp        25.6
  density 1.02386
  units mol/kgw
  C(4)        4.215e-03
  Ca          1.010e-02
  Cl          5.800e-01
  K           1.009e-02
  Mg          5.895e-02
  Na          5.014e-01
  S(6)        3.060e-02
```

```
SAVE SOLUTION 2
END
```

```
MIX 1
  2      0.3814
  5      0.5894
```

```
SAVE SOLUTION 3
END
```

**1.4 D.4 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente
3, Faena minera año 2017:**

Mixture 1.

3.814e-01 Solution 2
5.894e-01 Solution 5

-----Solution composition-----

Elements	Molality	Moles
C	1.040e-02	1.010e-02
Ca	3.143e-02	3.051e-02
Cl	8.129e-01	7.892e-01
K	1.322e-02	1.284e-02
Mg	9.152e-02	8.885e-02
Na	6.862e-01	6.662e-01
S	5.584e-02	5.421e-02

-----Description of solution-----

	pH =	4.470	Charge balance
	pe =	13.495	Adjusted to redox equilibrium
Specific Conductance (µS/cm, 21°C)	=	59947	
Density (g/cm³)	=	1.03758	
Volume (L)	=	0.98671	
Activity of water	=	0.973	
Ionic strength (mol/kgw)	=	8.832e-01	
Mass of water (kg)	=	9.708e-01	
Total alkalinity (eq/kg)	=	2.074e-02	
Total CO2 (mol/kg)	=	1.040e-02	
Temperature (°C)	=	21.41	
Electrical balance (eq)	=	2.161e-05	
Percent error, 100*(Cat- An)/(Cat+ An)	=	0.00	
	Iterations	=	14
	Total H	=	1.077709e+02
	Total O	=	5.413256e+01

-----Distribution of species-----

Species	Molality	Activity	Log Molality	Log Activity	Log Gamma	mole V cm³/mol
H+	4.533e-05	3.390e-05	-4.344	-4.470	-0.126	0.00
OH-	4.492e-10	2.904e-10	-9.348	-9.537	-0.189	-2.47
H2O	5.551e+01	9.734e-01	1.744	-0.012	0.000	18.05
C(-4)	0.000e+00					
CH4	0.000e+00	0.000e+00	-124.207	-124.119	0.088	35.14
C(4)	1.040e-02					
CaCO3	1.040e-02	1.140e-02	-1.983	-1.943	0.040	-15.66
CO2	4.022e-06	4.929e-06	-5.396	-5.307	0.088	34.26
HCO3-	8.185e-08	5.561e-08	-7.087	-7.255	-0.168	26.83
MgHCO3+	1.587e-08	1.071e-08	-7.799	-7.970	-0.171	5.73
NaHCO3	1.259e-08	1.380e-08	-7.900	-7.860	0.040	1.80

	CaHCO3+	4.332e-09	2.924e-09	-8.363	-8.534	-0.171	9.82
	KHCO3	4.854e-10	5.319e-10	-9.314	-9.274	0.040	(0)
	MgCO3	1.099e-12	1.204e-12	-11.959	-11.919	0.040	-18.17
	NaCO3-	9.700e-13	6.319e-13	-12.013	-12.199	-0.186	3.52
	CO3-2	3.645e-13	7.695e-14	-12.438	-13.114	-0.676	-1.67
	(CO2)2	3.224e-13	3.951e-13	-12.492	-12.403	0.088	68.51
	Na2CO3	1.344e-14	1.473e-14	-13.872	-13.832	0.040	(0)
	KCO3-	1.229e-15	7.615e-16	-14.911	-15.118	-0.208	(0)
	K2CO3	6.200e-18	6.794e-18	-17.208	-17.168	0.040	(0)
Ca		3.143e-02					
	Ca+2	1.668e-02	4.148e-03	-1.778	-2.382	-0.604	-16.65
	CaCO3	1.040e-02	1.140e-02	-1.983	-1.943	0.040	-15.66
	CaSO4	2.773e-03	3.039e-03	-2.557	-2.517	0.040	7.36
	CaCl+	1.407e-03	9.499e-04	-2.852	-3.022	-0.171	6.46
	CaCl2	1.715e-04	1.879e-04	-3.766	-3.726	0.040	32.35
	CaHSO4+	7.053e-07	5.458e-07	-6.152	-6.263	-0.111	(0)
	CaHCO3+	4.332e-09	2.924e-09	-8.363	-8.534	-0.171	9.82
	CaOH+	2.922e-11	1.972e-11	-10.534	-10.705	-0.171	25.40
	Ca(OH)2	4.532e-22	4.967e-22	-21.344	-21.304	0.040	(0)
Cl		8.129e-01					
	Cl-	7.240e-01	4.466e-01	-0.140	-0.350	-0.210	18.76
	NaCl	5.683e-02	6.228e-02	-1.245	-1.206	0.040	23.76
	MgCl+	2.427e-02	1.638e-02	-1.615	-1.786	-0.171	2.00
	MgCl2	2.544e-03	2.788e-03	-2.594	-2.555	0.040	(0)
	CaCl+	1.407e-03	9.499e-04	-2.852	-3.022	-0.171	6.46
	KCl	9.389e-04	1.029e-03	-3.027	-2.988	0.040	37.98
	CaCl2	1.715e-04	1.879e-04	-3.766	-3.726	0.040	32.35
H(0)		1.410e-39					
	H2	7.051e-40	8.641e-40	-39.152	-39.063	0.088	28.61
K		1.322e-02					
	K+	1.198e-02	7.286e-03	-1.922	-2.138	-0.216	9.67
	KCl	9.389e-04	1.029e-03	-3.027	-2.988	0.040	37.98
	KSO4-	3.041e-04	1.981e-04	-3.517	-3.703	-0.186	34.84
	K2SO4	4.266e-07	4.675e-07	-6.370	-6.330	0.040	(0)
	KHCO3	4.854e-10	5.319e-10	-9.314	-9.274	0.040	(0)
	KOH	6.605e-13	7.238e-13	-12.180	-12.140	0.040	59.12
	KCO3-	1.229e-15	7.615e-16	-14.911	-15.118	-0.208	(0)
	K2CO3	6.200e-18	6.794e-18	-17.208	-17.168	0.040	(0)
	K2O	0.000e+00	0.000e+00	-79.428	-79.388	0.040	(0)
Mg		9.152e-02					
	Mg+2	5.559e-02	1.639e-02	-1.255	-1.785	-0.530	-20.17
	MgCl+	2.427e-02	1.638e-02	-1.615	-1.786	-0.171	2.00
	MgSO4	9.113e-03	9.986e-03	-2.040	-2.001	0.040	5.69
	MgCl2	2.544e-03	2.788e-03	-2.594	-2.555	0.040	(0)
	MgHCO3+	1.587e-08	1.071e-08	-7.799	-7.970	-0.171	5.73
	MgOH+	1.457e-09	9.832e-10	-8.837	-9.007	-0.171	15.64
	Mg2OH+3	4.521e-10	1.850e-11	-9.345	-10.733	-1.388	(0)
	MgCO3	1.099e-12	1.204e-12	-11.959	-11.919	0.040	-18.17
	Mg(OH)2	1.099e-21	1.204e-21	-20.959	-20.919	0.040	(0)
	Mg4(OH)4+4	3.657e-28	8.642e-30	-27.437	-29.063	-1.626	(0)
Na		6.862e-01					
	Na+	6.068e-01	4.410e-01	-0.217	-0.356	-0.139	-0.54
	NaCl	5.683e-02	6.228e-02	-1.245	-1.206	0.040	23.76
	NaSO4-	2.096e-02	1.366e-02	-1.679	-1.865	-0.186	22.38
	Na2SO4	7.854e-04	8.607e-04	-3.105	-3.065	0.040	79.41
	NaHCO3	1.259e-08	1.380e-08	-7.900	-7.860	0.040	1.80

NaOH	2.050e-11	2.247e-11	-10.688	-10.648	0.040	3.38
NaCO3-	9.700e-13	6.319e-13	-12.013	-12.199	-0.186	3.52
Na2CO3	1.344e-14	1.473e-14	-13.872	-13.832	0.040	(0)
O(0)	5.804e-16					
O2	2.902e-16	3.556e-16	-15.537	-15.449	0.088	30.11
S(-2)	0.000e+00					
H2S	0.000e+00	0.000e+00	-113.966	-113.877	0.088	35.35
HS-	0.000e+00	0.000e+00	-116.168	-116.398	-0.229	21.26
S-2	0.000e+00	0.000e+00	-124.204	-124.954	-0.750	(0)
(H2S) 2	0.000e+00	0.000e+00	-229.162	-229.073	0.088	30.24
S(6)	5.584e-02					
SO4-2	2.189e-02	3.588e-03	-1.660	-2.445	-0.785	18.56
NaSO4-	2.096e-02	1.366e-02	-1.679	-1.865	-0.186	22.38
MgSO4	9.113e-03	9.986e-03	-2.040	-2.001	0.040	5.69
CaSO4	2.773e-03	3.039e-03	-2.557	-2.517	0.040	7.36
Na2SO4	7.854e-04	8.607e-04	-3.105	-3.065	0.040	79.41
KSO4-	3.041e-04	1.981e-04	-3.517	-3.703	-0.186	34.84
HSO4-	1.414e-05	1.095e-05	-4.849	-4.961	-0.111	40.78
CaHSO4+	7.053e-07	5.458e-07	-6.152	-6.263	-0.111	(0)
K2SO4	4.266e-07	4.675e-07	-6.370	-6.330	0.040	(0)

-----Saturation indices-----

Phase	SI**	log IAP	log K(294 K,	1 atm)	
Anhydrite	-0.36	-4.83	-4.47	CaSO4	
Antarcticite	-7.10	-3.15	3.95	CaCl2:6H2O	
Aragonite	-7.18	-15.50	-8.31	CaCO3	
Artinite	-17.62	2.53	20.14	Mg2(OH)2(CO3):3H2O	
Bischofite	-7.02	-2.56	4.47	MgCl2:6H2O	
Brucite	-9.98	7.13	17.11	Mg(OH)2	
CaCl2:4H2O	-8.49	-3.13	5.36	CaCl2:4H2O	
Calcite	-7.09	-15.50	-8.41	CaCO3	
CH4(g)	-121.35	-124.12	-2.77	CH4	
CO2(g)	-3.88	-5.31	-1.42	CO2	
Dolomite	-13.31	-30.40	-17.09	CaMg(CO3)2	
Epsomite	-2.43	-4.31	-1.88	MgSO4:7H2O	
Gypsum	-0.23	-4.85	-4.62	CaSO4:2H2O	
H2(g)	-35.97	-39.06	-3.09	H2	
H2O(g)	-1.61	-0.01	1.60	H2O	
H2S(g)	-112.92	-120.87	-7.94	H2S	
Halite	-2.27	-0.71	1.57	NaCl	
Hexahydrate	-2.67	-4.30	-1.64	MgSO4:6H2O	
Hydromagnesite	-42.05	-11.20	30.85	Mg5(OH)2(CO3)4:4H2O	
Hydroxichloride(Ca)	-11.47		1.73	13.20	CaOHCl
Hydroxichloride(Ca:H2O)	-9.64		1.71	11.35	CaCl(OH):H2O
Hydroxichloride(Mg:4H2O)	-16.63		9.41	26.04	Mg2Cl(OH)3:4H2O
Lime	-26.16	6.55	32.70	CaO	

Magnesite	-6.86	-14.90	-8.04	MgCO3
Mg3Cl(OH)5:4H2O(s)	-26.67	16.54	43.21	Mg3Cl(OH)5:4H2O
MgOHCl(s)	-13.59	2.32	15.91	MgOHCl
MgSO4(s)	-9.11	-4.23	4.88	MgSO4
Monohydrocalcite	-7.91	-15.51	-7.60	CaCO3:H2O
O2(g)	-12.58	-15.45	-2.87	O2
Pentahydrate	-2.29	-4.29	-2.00	MgSO4:5H2O
Periclase	-14.44	7.14	21.59	MgO
Portlandite	-16.28	6.53	22.81	Ca(OH)2
Sulfur	-82.92	-77.95	4.97	S
Sylvite	-3.37	-2.49	0.88	KCl

**For a gas, SI = log10(fugacity). Fugacity = pressure * phi / 1 atm.
For ideal gases, phi = 1.

End of simulation.

Reading input data for simulation 4.

End of Run after 0.118 Seconds.

1.5 D.5 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 4, Faena minera año 2017:

SOLUTION 3 # COMPOSICIÓN CORRIENTE (3)2017

pH	4.474
temp	25.41
density	1.03625
units	mol/kgw
C(4)	1.040e-02
Ca	3.143e-02
Cl	8.129e-01
K	1.322e-02
Mg	9.152e-02
Na	6.862e-01
S(6)	5.584e-02

EQUILIBRIUM_PHASES 3

Gypsum	0	0	#CaSO4*2H2O
Brucite	0	0	

REACTION 3 #AJUSTE A PH DE LA PLANTA CONCENTRADORA

Portlandite	2.0	#AGREGAR CAL APAGADA
0.05 moles in 70 step		

SAVE solution 4

1.6 D.6 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 4, Faena minera año 2017:

Using solution 3.
 Using pure phase assemblage 3.
 Using reaction 3.

Reaction 3.

4.500e-02 moles of the following reaction have been added:

Reactant	Relative moles
Portlandite	2.00000

Element	Relative moles
Ca	2.00000
H	4.00000
O	4.00000

-----Phase assemblage-----

Phase	SI	log IAP	log K(T, P)	Moles in assemblage		
				Initial	Final	Delta
Brucite	0.00	17.11	17.11	0.000e+00	8.975e-02	8.975e-02
Gypsum	0.00	-4.62	-4.62	0.000e+00	3.228e-02	3.228e-02

-----Solution composition-----

Elements	Molality	Moles
C	1.041e-02	1.040e-02
Ca	8.925e-02	8.915e-02
Cl	8.138e-01	8.129e-01
K	1.324e-02	1.322e-02
Mg	1.770e-03	1.768e-03
Na	6.870e-01	6.862e-01
S	2.359e-02	2.356e-02

-----Description of solution-----

pH	= 10.310	Charge balance
pe	= 7.791	Adjusted to redox equilibrium
Specific Conductance (µS/cm, 25°C)	= 66237	
Density (g/cm³)	= 1.03338	
Volume (L)	= 1.01653	
Activity of water	= 0.974	
Ionic strength (mol/kgw)	= 8.513e-01	
Mass of water (kg)	= 9.988e-01	
Total alkalinity (eq/kg)	= 2.125e-02	
Total CO2 (mol/kg)	= 1.041e-02	
Temperature (°C)	= 25.41	
Electrical balance (eq)	= 8.010e-06	
Percent error, 100*(Cat- An)/(Cat+ An)	= 0.00	
Iterations	= 21	
Total H	= 1.108839e+02	
Total O	= 5.556758e+01	

-----Distribution of species-----

Species	Molality	Activity	Log Molality	Log Activity	Log Gamma	mole V cm ³ /mol
OH-	3.115e-04	2.010e-04	-3.507	-3.697	-0.190	-2.32
H+	6.552e-11	4.898e-11	-10.184	-10.310	-0.126	0.00
H2O	5.551e+01	9.737e-01	1.744	-0.012	0.000	18.07
C(-4)	0.000e+00					
CH4	0.000e+00	0.000e+00	-138.187	-138.102	0.085	35.49
C(4)	1.041e-02					
CaCO3	1.041e-02	1.137e-02	-1.982	-1.944	0.038	-15.66
NaCO3-	2.450e-13	1.594e-13	-12.611	-12.798	-0.187	3.85
CO3-2	9.084e-14	1.915e-14	-13.042	-13.718	-0.676	-1.48
HCO3-	2.951e-14	2.000e-14	-13.530	-13.699	-0.169	27.02
CaHCO3+	6.259e-15	4.216e-15	-14.203	-14.375	-0.172	9.99
MgCO3	5.460e-15	5.963e-15	-14.263	-14.225	0.038	-18.18
NaHCO3	4.604e-15	5.028e-15	-14.337	-14.299	0.038	1.80
Na2CO3	3.445e-15	3.762e-15	-14.463	-14.425	0.038	(0)
KCO3-	3.100e-16	1.919e-16	-15.509	-15.717	-0.208	(0)
KHCO3	1.773e-16	1.937e-16	-15.751	-15.713	0.038	(0)
MgHCO3+	1.138e-16	7.665e-17	-15.944	-16.115	-0.172	5.85
CO2	1.835e-18	2.233e-18	-17.736	-17.651	0.085	34.45
K2CO3	1.587e-18	1.733e-18	-17.799	-17.761	0.038	(0)
(CO2)2	7.625e-38	9.277e-38	-37.118	-37.033	0.085	68.91
Ca	8.925e-02					
Ca+2	6.746e-02	1.663e-02	-1.171	-1.779	-0.608	-16.56
CaCO3	1.041e-02	1.137e-02	-1.982	-1.944	0.038	-15.66
CaCl+	5.823e-03	3.922e-03	-2.235	-2.407	-0.172	6.60
CaSO4	4.741e-03	5.178e-03	-2.324	-2.286	0.038	7.52
CaCl2	7.316e-04	7.991e-04	-3.136	-3.097	0.038	32.67
CaOH+	8.125e-05	5.472e-05	-4.090	-4.262	-0.172	25.42
Ca(OH)2	8.735e-10	9.541e-10	-9.059	-9.020	0.038	(0)
CaHSO4+	1.907e-12	1.465e-12	-11.720	-11.834	-0.115	(0)
CaHCO3+	6.259e-15	4.216e-15	-14.203	-14.375	-0.172	9.99
Cl	8.138e-01					
Cl-	7.455e-01	4.599e-01	-0.128	-0.337	-0.210	18.89
NaCl	5.950e-02	6.498e-02	-1.226	-1.187	0.038	24.03
CaCl+	5.823e-03	3.922e-03	-2.235	-2.407	-0.172	6.60
KCl	9.823e-04	1.073e-03	-3.008	-2.969	0.038	38.34
CaCl2	7.316e-04	7.991e-04	-3.136	-3.097	0.038	32.67
MgCl+	4.984e-04	3.357e-04	-3.302	-3.474	-0.172	2.10
MgCl2	5.387e-05	5.883e-05	-4.269	-4.230	0.038	(0)
H(0)	7.278e-40					
H2	3.639e-40	4.427e-40	-39.439	-39.354	0.085	28.61
K	1.324e-02					
K+	1.212e-02	7.376e-03	-1.916	-2.132	-0.216	9.77
KCl	9.823e-04	1.073e-03	-3.008	-2.969	0.038	38.34
KSO4-	1.311e-04	8.527e-05	-3.882	-4.069	-0.187	34.96
KOH	4.644e-07	5.072e-07	-6.333	-6.295	0.038	59.12
K2SO4	1.865e-07	2.037e-07	-6.729	-6.691	0.038	(0)
KCO3-	3.100e-16	1.919e-16	-15.509	-15.717	-0.208	(0)
KHCO3	1.773e-16	1.937e-16	-15.751	-15.713	0.038	(0)
K2CO3	1.587e-18	1.733e-18	-17.799	-17.761	0.038	(0)
K2O	0.000e+00	0.000e+00	-67.735	-67.697	0.038	(0)

Mg	1.770e-03						
Mg+2	1.120e-03	3.260e-04	-2.951	-3.487	-0.536	-20.29	
MgCl+	4.984e-04	3.357e-04	-3.302	-3.474	-0.172	2.10	
MgSO4	7.731e-05	8.444e-05	-4.112	-4.073	0.038	5.85	
MgCl2	5.387e-05	5.883e-05	-4.269	-4.230	0.038	(0)	
MgOH+	2.010e-05	1.354e-05	-4.697	-4.868	-0.172	15.00	
Mg2OH+3	1.240e-07	5.068e-09	-6.907	-8.295	-1.388	(0)	
Mg4 (OH) 4+4	1.325e-11	3.108e-13	-10.878	-12.508	-1.630	(0)	
Mg (OH) 2	1.051e-11	1.148e-11	-10.978	-10.940	0.038	(0)	
MgCO3	5.460e-15	5.963e-15	-14.263	-14.225	0.038	-18.18	
MgHCO3+	1.138e-16	7.665e-17	-15.944	-16.115	-0.172	5.85	
Na	6.870e-01						
Na+	6.178e-01	4.468e-01	-0.209	-0.350	-0.141	-0.37	
NaCl	5.950e-02	6.498e-02	-1.226	-1.187	0.038	24.03	
NaSO4-	9.043e-03	5.881e-03	-2.044	-2.231	-0.187	22.21	
Na2SO4	3.438e-04	3.755e-04	-3.464	-3.425	0.038	79.41	
NaOH	1.443e-05	1.576e-05	-4.841	-4.803	0.038	3.51	
NaCO3-	2.450e-13	1.594e-13	-12.611	-12.798	-0.187	3.85	
NaHCO3	4.604e-15	5.028e-15	-14.337	-14.299	0.038	1.80	
Na2CO3	3.445e-15	3.762e-15	-14.463	-14.425	0.038	(0)	
O(0)	4.494e-14						
O2	2.247e-14	2.734e-14	-13.648	-13.563	0.085	30.43	
S(-2)	0.000e+00						
HS-	0.000e+00	0.000e+00	-124.071	-124.299	-0.228	21.46	
S-2	0.000e+00	0.000e+00	-126.146	-126.895	-0.749	(0)	
H2S	0.000e+00	0.000e+00	-127.758	-127.673	0.085	36.37	
(H2S) 2	0.000e+00	0.000e+00	-256.705	-256.620	0.085	30.07	
S(6)	2.359e-02						
SO4-2	9.250e-03	1.525e-03	-2.034	-2.817	-0.783	18.91	
NaSO4-	9.043e-03	5.881e-03	-2.044	-2.231	-0.187	22.21	
CaSO4	4.741e-03	5.178e-03	-2.324	-2.286	0.038	7.52	
Na2SO4	3.438e-04	3.755e-04	-3.464	-3.425	0.038	79.41	
KSO4-	1.311e-04	8.527e-05	-3.882	-4.069	-0.187	34.96	
MgSO4	7.731e-05	8.444e-05	-4.112	-4.073	0.038	5.85	
K2SO4	1.865e-07	2.037e-07	-6.729	-6.691	0.038	(0)	
HSO4-	9.542e-12	7.329e-12	-11.020	-11.135	-0.115	41.07	
CaHSO4+	1.907e-12	1.465e-12	-11.720	-11.834	-0.115	(0)	

-----Saturation indices-----

Phase	SI**	log IAP	log K(298 K,	1 atm)
Anhydrite	-0.12	-4.60	-4.47	CaSO4
Antarcticite	-6.47	-2.52	3.95	CaCl2:6H2O
Aragonite	-7.16	-15.50	-8.34	CaCO3
Artinite	-9.94	10.20	20.14	Mg2 (OH) 2 (CO3) :3H2O
Bischofite	-8.70	-4.23	4.47	MgCl2:6H2O
Brucite	0.00	17.11	17.11	Mg (OH) 2
CaCl2:4H2O	-7.86	-2.50	5.36	CaCl2:4H2O
Calcite	-7.09	-15.50	-8.41	CaCO3
CH4 (g)	-135.30	-138.10	-2.81	CH4
CO2 (g)	-16.18	-17.65	-1.47	CO2
Dolomite	-15.61	-32.70	-17.09	CaMg (CO3) 2
Epsomite	-4.50	-6.38	-1.88	MgSO4:7H2O

Gypsum	0.00	-4.62	-4.62	CaSO4:2H2O
H2 (g)	-36.25	-39.35	-3.10	H2
H2O (g)	-1.50	-0.01	1.49	H2O
H2S (g)	-126.67	-134.61	-7.94	H2S
Halite	-2.26	-0.69	1.57	NaCl
Hexahydrate	-4.74	-6.37	-1.64	MgSO4:6H2O
Hydromagnesite	-41.29	-10.44	30.85	Mg5(OH)2(CO3)4:4H2O
Hydroxichloride (Ca)	-5.01	8.18	13.20	CaOHCl
Hydroxichloride (Ca:H2O)	-3.18		8.17	11.35 CaCl(OH):H2O
Hydroxichloride (Mg:4H2O)	-2.50		23.54	26.04 Mg2Cl(OH)3:4H2O
Lime	-13.87	18.83	32.70	CaO
Magnesite	-9.17	-17.20	-8.04	MgCO3
Mg3Cl(OH)5:4H2O(s)	-2.56	40.65	43.21	Mg3Cl(OH)5:4H2O
MgOHCl(s)	-9.44	6.47	15.91	MgOHCl
MgSO4(s)	-11.18	-6.30	4.88	MgSO4
Monohydrocalcite	-7.91	-15.51	-7.60	CaCO3:H2O
O2 (g)	-10.67	-13.56	-2.90	O2
Pentahydrate	-4.37	-6.36	-2.00	MgSO4:5H2O
Periclase	-4.46	17.12	21.59	MgO
Portlandite	-3.99	18.82	22.81	Ca(OH)2
Sulfur	-96.34	-91.47	4.87	S
Sylvite	-3.37	-2.47	0.90	KCl

**For a gas, $SI = \log_{10}(\text{fugacity})$. Fugacity = pressure * phi / 1 atm.
For ideal gases, phi = 1.

ANEXO E. SIMULACIONES EN PHREEQC FAENA AÑO 2017 ACONDICIONADO CON CAL

Para los cálculos se considera la misma solución de especies y fases que en los códigos del año 2011, los cuales son utilizados como base de datos para las simulaciones. Por ende, a continuación se simplifican los códigos de las corrientes del año 2017 con acondicionamiento de cal.

1.1 E.1 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 5', Faena minera año 2017 con acondicionamiento de cal:

```
SOLUTION 5 # COMPOSICIÓN Tranque 2017
  pH          4.28 #Pozo CENIZAS
  temp        18.7 #Pozo CENIZAS
  density 1.04417
  units mol/kgw
  C(4)        1.441e-02
  Ca          4.523e-02
  Cl          9.636e-01
  K           1.525e-02
  Mg          1.126e-01
  Na          8.058e-01
  S(6)        7.217e-02

EQUILIBRIUM_PHASES 5
  Gypsum      0      0      #CaSO4*2H2O
  Brucite     0      0

REACTION 3 #AJUSTE A PH DE LA PLANTA CONCENTRADORA
  Portlandite 2.0    #AGREGAR CAL APAGADA
  0.07 moles in 70 step

END
```

1.2 E.2 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 5', Faena minera año 2017 con acondicionamiento de cal:

```
Using solution 5.
Using pure phase assemblage 5.
Using reaction 3.
```

```
Reaction 3.
```

```
5.200e-02 moles of the following reaction have been added:
```

Reactant	Relative moles
Portlandite	2.00000

Element	Relative moles
Ca	2.00000
H	4.00000
O	4.00000

-----Phase assemblage-----

Phase	SI	log IAP	log K(T, P)	Moles in assemblage		
				Initial	Final	Delta
Brucite	0.00	17.11	17.11	0.000e+00	1.038e-01	1.038e-01
Gypsum	0.00	-4.62	-4.62	0.000e+00	4.811e-02	4.811e-02

-----Solution composition-----

Elements	Molality	Moles
C	1.443e-02	1.441e-02
Ca	1.013e-01	1.011e-01
Cl	9.653e-01	9.636e-01
K	1.528e-02	1.525e-02
Mg	8.790e-03	8.775e-03
Na	8.072e-01	8.058e-01
S	2.410e-02	2.406e-02

-----Description of solution-----

pH	=	9.969	Charge balance
pe	=	-4.263	Adjusted to redox equilibrium
Specific Conductance (µS/cm, 19°C)	=	64919	
Density (g/cm³)	=	1.04163	
Volume (L)	=	1.01668	
Activity of water	=	0.969	
Ionic strength (mol/kgw)	=	9.861e-01	
Mass of water (kg)	=	9.983e-01	
Total alkalinity (eq/kg)	=	2.911e-02	
Total CO2 (mol/kg)	=	1.443e-02	
Temperature (°C)	=	18.70	
Electrical balance (eq)	=	6.531e-05	
Percent error, 100*(Cat- An)/(Cat+ An)	=	0.00	
Iterations	=	15	
Total H	=	1.108204e+02	
Total O	=	5.554980e+01	

-----Distribution of species-----

Species	Molality	Activity	Log Molality	Log Activity	Log Gamma	mole V cm³/mol
OH-	1.413e-04	9.123e-05	-3.850	-4.040	-0.190	-2.47
H+	1.441e-10	1.074e-10	-9.841	-9.969	-0.128	0.00
H2O	5.551e+01	9.692e-01	1.744	-0.014	0.000	18.04
C(4)	1.443e-02					
CaCO3	1.443e-02	1.599e-02	-1.841	-1.796	0.044	-15.67
NaCO3-	3.650e-13	2.376e-13	-12.438	-12.624	-0.186	3.65
CO3-2	1.170e-13	2.427e-14	-12.932	-13.615	-0.683	-1.64
HCO3-	8.175e-14	5.559e-14	-13.088	-13.255	-0.167	26.86
MgCO3	3.313e-14	3.669e-14	-13.480	-13.435	0.044	-18.16
CaHCO3+	1.925e-14	1.300e-14	-13.716	-13.886	-0.170	9.70
NaHCO3	1.485e-14	1.644e-14	-13.828	-13.784	0.044	1.80
Na2CO3	5.960e-15	6.601e-15	-14.225	-14.180	0.044	(0)
MgHCO3+	1.532e-15	1.035e-15	-14.815	-14.985	-0.170	5.64
KHCO3	5.511e-16	6.104e-16	-15.259	-15.214	0.044	(0)
KCO3-	4.464e-16	2.757e-16	-15.350	-15.560	-0.209	(0)
CO2	1.386e-17	1.740e-17	-16.858	-16.760	0.099	34.12

	K2CO3	2.550e-18	2.824e-18	-17.594	-17.549	0.044	(0)
	(CO2) 2	3.568e-36	4.477e-36	-35.448	-35.349	0.099	68.24
Ca		1.013e-01					
	Ca+2	7.356e-02	1.845e-02	-1.133	-1.734	-0.601	-16.68
	CaCO3	1.443e-02	1.599e-02	-1.841	-1.796	0.044	-15.67
	CaCl+	7.468e-03	5.045e-03	-2.127	-2.297	-0.170	6.39
	CaSO4	4.718e-03	5.226e-03	-2.326	-2.282	0.044	7.24
	CaCl2	1.076e-03	1.192e-03	-2.968	-2.924	0.044	32.11
	CaOH+	4.079e-05	2.755e-05	-4.389	-4.560	-0.170	25.43
	Ca (OH) 2	1.968e-10	2.180e-10	-9.706	-9.662	0.044	(0)
	CaHSO4+	3.558e-12	2.812e-12	-11.449	-11.551	-0.102	(0)
	CaHCO3+	1.925e-14	1.300e-14	-13.716	-13.886	-0.170	9.70
Cl		9.653e-01					
	Cl-	8.709e-01	5.332e-01	-0.060	-0.273	-0.213	18.69
	NaCl	8.003e-02	8.864e-02	-1.097	-1.052	0.044	23.56
	CaCl+	7.468e-03	5.045e-03	-2.127	-2.297	-0.170	6.39
	MgCl+	2.798e-03	1.890e-03	-2.553	-2.724	-0.170	1.97
	KCl	1.273e-03	1.410e-03	-2.895	-2.851	0.044	37.71
	CaCl2	1.076e-03	1.192e-03	-2.968	-2.924	0.044	32.11
	MgCl2	3.467e-04	3.840e-04	-3.460	-3.416	0.044	(0)
H(0)		4.669e-15					
	H2	2.334e-15	2.930e-15	-14.632	-14.533	0.099	28.61
K		1.528e-02					
	K+	1.387e-02	8.364e-03	-1.858	-2.078	-0.220	9.63
	KCl	1.273e-03	1.410e-03	-2.895	-2.851	0.044	37.71
	KSO4-	1.351e-04	8.795e-05	-3.869	-4.056	-0.186	34.77
	KOH	2.356e-07	2.610e-07	-6.628	-6.583	0.044	59.12
	K2SO4	2.151e-07	2.383e-07	-6.667	-6.623	0.044	(0)
	KHCO3	5.511e-16	6.104e-16	-15.259	-15.214	0.044	(0)
	KCO3-	4.464e-16	2.757e-16	-15.350	-15.560	-0.209	(0)
	K2CO3	2.550e-18	2.824e-18	-17.594	-17.549	0.044	(0)
	K2O	0.000e+00	0.000e+00	-68.317	-68.272	0.044	(0)
Mg		8.790e-03					
	Mg+2	5.262e-03	1.583e-03	-2.279	-2.800	-0.522	-20.03
	MgCl+	2.798e-03	1.890e-03	-2.553	-2.724	-0.170	1.97
	MgCl2	3.467e-04	3.840e-04	-3.460	-3.416	0.044	(0)
	MgSO4	3.368e-04	3.730e-04	-3.473	-3.428	0.044	5.58
	MgOH+	4.417e-05	2.984e-05	-4.355	-4.525	-0.170	16.16
	Mg2OH+3	1.375e-06	5.424e-08	-5.862	-7.266	-1.404	(0)
	Mg4 (OH) 4+4	3.169e-10	7.329e-12	-9.499	-11.135	-1.636	(0)
	Mg (OH) 2	1.037e-11	1.148e-11	-10.984	-10.940	0.044	(0)
	MgCO3	3.313e-14	3.669e-14	-13.480	-13.435	0.044	-18.16
	MgHCO3+	1.532e-15	1.035e-15	-14.815	-14.985	-0.170	5.64
Na		8.072e-01					
	Na+	7.166e-01	5.257e-01	-0.145	-0.279	-0.135	-0.61
	NaCl	8.003e-02	8.864e-02	-1.097	-1.052	0.044	23.56
	NaSO4-	9.671e-03	6.295e-03	-2.015	-2.201	-0.186	22.88
	Na2SO4	4.271e-04	4.730e-04	-3.370	-3.325	0.044	79.41
	NaOH	7.597e-06	8.414e-06	-5.119	-5.075	0.044	3.28
	NaCO3-	3.650e-13	2.376e-13	-12.438	-12.624	-0.186	3.65
	NaHCO3	1.485e-14	1.644e-14	-13.828	-13.784	0.044	1.80
	Na2CO3	5.960e-15	6.601e-15	-14.225	-14.180	0.044	(0)
O(0)		0.000e+00					
	O2	0.000e+00	0.000e+00	-65.516	-65.418	0.099	29.87

S(-2)	2.636e-24						
HS-	2.628e-24	1.532e-24	-23.580	-23.815	-0.234	21.13	
S-2	6.426e-27	1.108e-27	-26.192	-26.955	-0.763	(0)	
H2S	1.401e-27	1.758e-27	-26.853	-26.755	0.099	34.58	
(H2S)2	0.000e+00	0.000e+00	-54.959	-54.860	0.099	30.34	
S(6)	2.410e-02						
NaSO4-	9.671e-03	6.295e-03	-2.015	-2.201	-0.186	22.88	
SO4-2	8.811e-03	1.387e-03	-2.055	-2.858	-0.803	18.47	
CaSO4	4.718e-03	5.226e-03	-2.326	-2.282	0.044	7.24	
Na2SO4	4.271e-04	4.730e-04	-3.370	-3.325	0.044	79.41	
MgSO4	3.368e-04	3.730e-04	-3.473	-3.428	0.044	5.58	
KSO4-	1.351e-04	8.795e-05	-3.869	-4.056	-0.186	34.77	
K2SO4	2.151e-07	2.383e-07	-6.667	-6.623	0.044	(0)	
HSO4-	1.604e-11	1.268e-11	-10.795	-10.897	-0.102	40.59	
CaHSO4+	3.558e-12	2.812e-12	-11.449	-11.551	-0.102	(0)	

-----Saturation indices-----

Phase	SI**	log IAP	log K(291 K,	1 atm)
Anhydrite	-0.12	-4.59	-4.47	CaSO4
Antarcticite	-6.31	-2.36	3.95	CaCl2:6H2O
Aragonite	-7.05	-15.35	-8.30	CaCO3
Artinite	-9.16	10.98	20.14	Mg2(OH)2(CO3):3H2O
Bischofite	-7.89	-3.43	4.47	MgCl2:6H2O
Brucite	0.00	17.11	17.11	Mg(OH)2
CaCl2:4H2O	-7.69	-2.33	5.36	CaCl2:4H2O
Calcite	-6.94	-15.35	-8.41	CaCO3
CH4(g)	-34.38	-37.12	-2.74	CH4
CO2(g)	-15.37	-16.76	-1.39	CO2
Dolomite	-14.67	-31.76	-17.09	CaMg(CO3)2
Epsomite	-3.87	-5.75	-1.88	MgSO4:7H2O
Gypsum	0.00	-4.62	-4.62	CaSO4:2H2O
H2(g)	-11.45	-14.53	-3.08	H2
H2O(g)	-1.68	-0.01	1.67	H2O
H2S(g)	-25.83	-33.78	-7.95	H2S
Halite	-2.12	-0.55	1.56	NaCl
Hexahydrate	-4.10	-5.74	-1.64	MgSO4:6H2O
Hydromagnesite	-38.14	-7.29	30.85	Mg5(OH)2(CO3)4:4H2O
Hydroxichloride(Ca)	-5.25	7.95	13.20	CaOHCl
Hydroxichloride(Ca:H2O)	-3.42	7.93	11.35	CaCl(OH):H2O
Hydroxichloride(Mg:4H2O)	-2.10	23.94	26.04	Mg2Cl(OH)3:4H2O
Lime	-14.51	18.19	32.70	CaO
Magnesite	-8.38	-16.42	-8.04	MgCO3
Mg3Cl(OH)5:4H2O(s)	-2.16	41.05	43.21	Mg3Cl(OH)5:4H2O
MgOHCl(s)	-9.03	6.88	15.91	MgOHCl
MgSO4(s)	-10.54	-5.66	4.88	MgSO4
Monohydrocalcite	-7.76	-15.36	-7.60	CaCO3:H2O
O2(g)	-62.57	-65.42	-2.84	O2
Pentahydrate	-3.73	-5.73	-2.00	MgSO4:5H2O
Periclase	-4.46	17.12	21.59	MgO
Portlandite	-4.64	18.18	22.81	Ca(OH)2
Sulfur	-20.38	-15.34	5.03	S
Sylvite	-3.22	-2.35	0.87	KCl

**For a gas, SI = log10(fugacity). Fugacity = pressure * phi / 1 atm.
For ideal gases, phi = 1.

1.3 E.3 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 3, Faena minera año 2017 con acondicionamiento de cal:

```
SOLUTION 5 # COMPOSICIÓN CORRIENTE (5')
pH          9.996 #Pozo CENIZAS
temp        18.7 #Pozo CENIZAS
units mol/kgw |
C(4)        1.443e-02
Ca          1.013e-01
Cl          9.653e-01
K           1.528e-02
Mg          8.790e-03
Na          8.072e-01
S(6)        2.410e-02
```

```
SAVE SOLUTION 5
END
```

```
SOLUTION 2 # COMPOSICIÓN CORRIENTE(2)
pH          7.87
temp        25.6
density     1.02386
units mol/kgw
C(4)        4.220e-03
Ca          1.011e-02
Cl          5.807e-01
K           1.010e-02
Mg          5.902e-02
Na          5.020e-01
S(6)        3.063e-02
```

```
SAVE SOLUTION 2
END
```

```
MIX 1
  2      0.3814
  5      0.5805
```

```
SAVE SOLUTION 3
END
```

1.4 E.4 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 3, Faena minera año 2017 con acondicionamiento de cal:

Using mix 1.

Mixture 1.

```
3.814e-01 Solution 2
5.805e-01 Solution 5
```

-----Solution composition-----

Elements	Molality	Moles
C	1.038e-02	9.986e-03
Ca	6.514e-02	6.266e-02
Cl	8.128e-01	7.818e-01
K	1.323e-02	1.272e-02
Mg	2.871e-02	2.761e-02
Na	6.862e-01	6.600e-01
S	2.669e-02	2.567e-02

-----Description of solution-----

pH = 9.624 Charge balance
 pe = 8.662 Adjusted to redox equilibrium
 Specific Conductance ($\mu\text{S}/\text{cm}$, 21°C) = 60271
 Density (g/cm^3) = 1.03463
 Volume (L) = 0.97768
 Activity of water = 0.974
 Ionic strength (mol/kgw) = 8.447e-01
 Mass of water (kg) = 9.619e-01
 Total alkalinity (eq/kg) = 2.092e-02
 Total CO2 (mol/kg) = 1.038e-02
 Temperature (°C) = 21.44
 Electrical balance (eq) = 1.176e-05
 Percent error, $100 \cdot (\text{Cat} - |\text{An}|) / (\text{Cat} + |\text{An}|)$ = 0.00
 Iterations = 10
 Total H = 1.067830e+02
 Total O = 5.352422e+01

-----Distribution of species-----

Species	Molality	Activity	Log Molality	Log Activity	Log Gamma	mole V cm^3/mol
OH-	6.393e-05	4.140e-05	-4.194	-4.383	-0.189	-2.53
H+	3.176e-10	2.379e-10	-9.498	-9.624	-0.126	0.00
H2O	5.551e+01	9.738e-01	1.744	-0.012	0.000	18.05
C(-4)	0.000e+00					
CH4	0.000e+00	0.000e+00	-137.532	-137.447	0.084	35.14
C(4)	1.038e-02					
CaCO3	1.038e-02	1.133e-02	-1.984	-1.946	0.038	-15.66
NaCO3-	3.499e-13	2.283e-13	-12.456	-12.642	-0.185	3.33
HCO3-	2.048e-13	1.393e-13	-12.689	-12.856	-0.168	26.74
CO3-2	1.288e-13	2.746e-14	-12.890	-13.561	-0.671	-1.77
MgCO3	1.284e-13	1.401e-13	-12.892	-12.854	0.038	-18.17
NaHCO3	3.205e-14	3.498e-14	-13.494	-13.456	0.038	1.80
CaHCO3+	3.020e-14	2.040e-14	-13.520	-13.690	-0.170	9.82
MgHCO3+	1.295e-14	8.746e-15	-13.888	-14.058	-0.170	5.72
Na2CO3	4.935e-15	5.386e-15	-14.307	-14.269	0.038	(0)
KHCO3	1.238e-15	1.351e-15	-14.907	-14.869	0.038	(0)
KCO3-	4.435e-16	2.756e-16	-15.353	-15.560	-0.207	(0)
CO2	7.122e-17	8.650e-17	-16.147	-16.063	0.084	34.26
K2CO3	2.285e-18	2.494e-18	-17.641	-17.603	0.038	(0)
(CO2)2	1.003e-34	1.218e-34	-33.999	-33.914	0.084	68.52
Ca	6.514e-02					
Ca+2	4.644e-02	1.156e-02	-1.333	-1.937	-0.604	-16.67
CaCO3	1.038e-02	1.133e-02	-1.984	-1.946	0.038	-15.66
CaCl+	4.009e-03	2.708e-03	-2.397	-2.567	-0.170	6.44
CaSO4	3.797e-03	4.144e-03	-2.421	-2.383	0.038	7.36
CaCl2	5.022e-04	5.482e-04	-3.299	-3.261	0.038	32.35
CaOH+	1.160e-05	7.833e-06	-4.936	-5.106	-0.170	25.38
Ca(OH)2	2.576e-11	2.812e-11	-10.589	-10.551	0.038	(0)
CaHSO4+	6.802e-12	5.227e-12	-11.167	-11.282	-0.114	(0)
CaHCO3+	3.020e-14	2.040e-14	-13.520	-13.690	-0.170	9.82
Cl	8.128e-01					
Cl-	7.379e-01	4.569e-01	-0.132	-0.340	-0.208	18.75
NaCl	5.911e-02	6.451e-02	-1.228	-1.190	0.038	23.76
MgCl+	8.091e-03	5.465e-03	-2.092	-2.262	-0.170	1.99
CaCl+	4.009e-03	2.708e-03	-2.397	-2.567	-0.170	6.44
KCl	9.782e-04	1.068e-03	-3.010	-2.972	0.038	37.98
MgCl2	8.719e-04	9.516e-04	-3.060	-3.022	0.038	(0)

CaCl2	5.022e-04	5.482e-04	-3.299	-3.261	0.038	32.35
H(0)	3.241e-40					
H2	1.621e-40	1.969e-40	-39.790	-39.706	0.084	28.61
K	1.323e-02					
K+	1.210e-02	7.389e-03	-1.917	-2.131	-0.214	9.65
KCl	9.782e-04	1.068e-03	-3.010	-2.972	0.038	37.98
KSO4-	1.507e-04	9.835e-05	-3.822	-4.007	-0.185	34.82
K2SO4	2.156e-07	2.354e-07	-6.666	-6.628	0.038	(0)
KOH	9.587e-08	1.046e-07	-7.018	-6.980	0.038	59.12
KHCO3	1.238e-15	1.351e-15	-14.907	-14.869	0.038	(0)
KCO3-	4.435e-16	2.756e-16	-15.353	-15.560	-0.207	(0)
K2CO3	2.285e-18	2.494e-18	-17.641	-17.603	0.038	(0)
K2O	0.000e+00	0.000e+00	-69.106	-69.068	0.038	(0)
Mg	2.871e-02					
Mg+2	1.820e-02	5.343e-03	-1.740	-2.272	-0.532	-20.19
MgCl+	8.091e-03	5.465e-03	-2.092	-2.262	-0.170	1.99
MgSO4	1.460e-03	1.594e-03	-2.836	-2.798	0.038	5.69
MgCl2	8.719e-04	9.516e-04	-3.060	-3.022	0.038	(0)
MgOH+	6.765e-05	4.570e-05	-4.170	-4.340	-0.170	15.62
Mg2OH+3	6.711e-06	2.803e-07	-5.173	-6.552	-1.379	(0)
Mg4(OH)4+4	1.681e-09	4.032e-11	-8.774	-10.394	-1.620	(0)
Mg(OH)2	7.311e-12	7.979e-12	-11.136	-11.098	0.038	(0)
MgCO3	1.284e-13	1.401e-13	-12.892	-12.854	0.038	-18.17
MgHCO3+	1.295e-14	8.746e-15	-13.888	-14.058	-0.170	5.72
Na	6.862e-01					
Na+	6.159e-01	4.465e-01	-0.210	-0.350	-0.140	-0.56
NaCl	5.911e-02	6.451e-02	-1.228	-1.190	0.038	23.76
NaSO4-	1.037e-02	6.767e-03	-1.984	-2.170	-0.185	22.17
Na2SO4	3.956e-04	4.318e-04	-3.403	-3.365	0.038	79.41
NaOH	2.971e-06	3.243e-06	-5.527	-5.489	0.038	3.38
NaCO3-	3.499e-13	2.283e-13	-12.456	-12.642	-0.185	3.33
NaHCO3	3.205e-14	3.498e-14	-13.494	-13.456	0.038	1.80
Na2CO3	4.935e-15	5.386e-15	-14.307	-14.269	0.038	(0)
O(0)	1.151e-14					
O2	5.754e-15	6.990e-15	-14.240	-14.156	0.084	30.11
S(-2)	0.000e+00					
HS-	0.000e+00	0.000e+00	-124.209	-124.435	-0.227	21.24
S-2	0.000e+00	0.000e+00	-127.094	-127.837	-0.743	(0)
H2S	0.000e+00	0.000e+00	-127.154	-127.069	0.084	35.35
(H2S)2	0.000e+00	0.000e+00	-255.541	-255.457	0.084	30.24
S(6)	2.669e-02					
SO4-2	1.051e-02	1.756e-03	-1.978	-2.755	-0.777	18.46
NaSO4-	1.037e-02	6.767e-03	-1.984	-2.170	-0.185	22.17
CaSO4	3.797e-03	4.144e-03	-2.421	-2.383	0.038	7.36
MgSO4	1.460e-03	1.594e-03	-2.836	-2.798	0.038	5.69
Na2SO4	3.956e-04	4.318e-04	-3.403	-3.365	0.038	79.41
KSO4-	1.507e-04	9.835e-05	-3.822	-4.007	-0.185	34.82
K2SO4	2.156e-07	2.354e-07	-6.666	-6.628	0.038	(0)
HSO4-	4.895e-11	3.762e-11	-10.310	-10.425	-0.114	40.77
CaHSO4+	6.802e-12	5.227e-12	-11.167	-11.282	-0.114	(0)

-----Saturation indices-----

Phase	SI**	log IAP	log K(294 K,	1 atm)
Anhydrite	-0.22	-4.69	-4.47	CaSO4

Antarcticite	-6.64	-2.69	3.95	CaCl2:6H2O
Aragonite	-7.18	-15.50	-8.31	CaCO3
Artinite	-8.73	11.41	20.14	Mg2(OH)2(CO3):3H2O
Bischofite	-7.49	-3.02	4.47	MgCl2:6H2O
Brucite	-0.16	16.95	17.11	Mg(OH)2
CaCl2:4H2O	-8.02	-2.66	5.36	CaCl2:4H2O
Calcite	-7.09	-15.50	-8.41	CaCO3
CH4(g)	-134.68	-137.45	-2.77	CH4
CO2(g)	-14.64	-16.06	-1.43	CO2
Dolomite	-14.24	-31.33	-17.09	CaMg(CO3)2
Epsomite	-3.23	-5.11	-1.88	MgSO4:7H2O
Gypsum	-0.10	-4.72	-4.62	CaSO4:2H2O
H2(g)	-36.61	-39.71	-3.09	H2
H2O(g)	-1.61	-0.01	1.60	H2O
H2S(g)	-126.12	-134.06	-7.94	H2S
Halite	-2.26	-0.69	1.57	NaCl
Hexahydrate	-3.46	-5.10	-1.64	MgSO4:6H2O
Hydromagnesite	-35.97	-5.11	30.85	Mg5(OH)2(CO3)4:4H2O
Hydroxichloride(Ca)	-5.86	7.33	13.20	CaOHCl
Hydroxichloride(Ca:H2O)	-4.03	7.32	11.35	CaCl(OH):H2O
Hydroxichloride(Mg:4H2O)	-2.13	23.91	26.04	Mg2Cl(OH)3:4H2O
Lime	-15.40	17.30	32.70	CaO
Magnesite	-7.80	-15.83	-8.04	MgCO3
Mg3Cl(OH)5:4H2O(s)	-2.35	40.86	43.21	Mg3Cl(OH)5:4H2O
MgOHCl(s)	-8.91	7.00	15.91	MgOHCl
MgSO4(s)	-9.91	-5.03	4.88	MgSO4
Monohydrocalcite	-7.91	-15.51	-7.60	CaCO3:H2O
O2(g)	-11.29	-14.16	-2.87	O2
Pentahydrate	-3.09	-5.09	-2.00	MgSO4:5H2O
Periclase	-4.62	16.96	21.59	MgO
Portlandite	-5.52	17.29	22.81	Ca(OH)2
Sulfur	-95.46	-90.50	4.97	S
Sylvite	-3.35	-2.47	0.88	KCl

**For a gas, SI = log10(fugacity). Fugacity = pressure * phi / 1 atm.
For ideal gases, phi = 1.

End of simulation.

Reading input data for simulation 4.

End of Run after 0.044 Seconds.

1.5 E.5 Código de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 4, Faena minera año 2017 con acondicionamiento de cal:

```

SOLUTION 3 # COMPOSICIÓN CORRIENTE (3)2017 acondicionamiento
  pH          9.621
  temp        21.41
  density      1.03463
  units mol/kgw
  C(4)         1.038e-02
  Ca           6.514e-02
  Cl           8.128e-01
  K            1.323e-02
  Mg           2.871e-02
  Na           6.862e-01
  S(6)         2.669e-02

EQUILIBRIUM_PHASES 3
  Gypsum      0      0      #CaSO4*2H2O
  Brucite     0      0

REACTION 3 #AJUSTE A PH DE LA PLANTA CONCENTRADORA
  Portlandite 2.0      #AGREGAR CAL APAGADA
  0.035 moles in 70 step

SAVE solution 4

```

1.6 E.6 Resultados de simulación en Phreeqc especiación química de la corriente 4, Faena minera año 2017 con acondicionamiento de cal:

Reaction 3.

1.350e-02 moles of the following reaction have been added:

Reactant	Relative moles
Portlandite	2.00000

Element	Relative moles
Ca	2.00000
H	4.00000
O	4.00000

-----Phase assemblage-----

Phase	SI	log IAP	log K(T, P)	Moles in assemblage		
				Initial	Final	Delta
Brucite	0.00	17.11	17.11	0.000e+00	2.687e-02	2.687e-02
Gypsum	0.00	-4.62	-4.62	0.000e+00	3.292e-03	3.292e-03

-----Solution composition-----

Elements	Molality	Moles
C	1.038e-02	1.038e-02
Ca	8.886e-02	8.885e-02
Cl	8.129e-01	8.128e-01
K	1.323e-02	1.323e-02
Mg	1.843e-03	1.843e-03
Na	6.863e-01	6.862e-01
S	2.340e-02	2.340e-02

-----Description of solution-----

pH	=	10.300	Charge balance
pe	=	7.864	Adjusted to redox equilibrium
Specific Conductance (µS/cm, 21°C)	=	60847	
Density (g/cm³)	=	1.03455	
Volume (L)	=	1.01636	
Activity of water	=	0.974	
Ionic strength (mol/kgw)	=	8.493e-01	
Mass of water (kg)	=	9.999e-01	
Total alkalinity (eq/kg)	=	2.118e-02	
Total CO2 (mol/kg)	=	1.038e-02	
Temperature (°C)	=	21.41	
Electrical balance (eq)	=	3.794e-05	
Percent error, 100*(Cat- An)/(Cat+ An)	=	0.00	
Iterations	=	12	
Total H	=	1.109997e+02	
Total O	=	5.562478e+01	

-----Distribution of species-----

Species	Molality	Activity	Log Molality	Log Activity	Log Gamma	mole V cm³/mol
OH-	3.033e-04	1.964e-04	-3.518	-3.707	-0.189	-2.52
H+	6.696e-11	5.015e-11	-10.174	-10.300	-0.126	0.00
H2O	5.551e+01	9.738e-01	1.744	-0.012	0.000	18.05
C(-4)	0.000e+00					
CH4	0.000e+00	0.000e+00	-138.063	-137.978	0.085	35.14
C(4)	1.038e-02					
CaCO3	1.038e-02	1.134e-02	-1.984	-1.946	0.038	-15.66
NaCO3-	2.428e-13	1.584e-13	-12.615	-12.800	-0.186	3.35
CO3-2	8.932e-14	1.902e-14	-13.049	-13.721	-0.672	-1.76
HCO3-	2.991e-14	2.033e-14	-13.524	-13.692	-0.168	26.75
CaHCO3+	6.370e-15	4.302e-15	-14.196	-14.366	-0.170	9.82
MgCO3	5.682e-15	6.205e-15	-14.245	-14.207	0.038	-18.17
NaHCO3	4.686e-15	5.117e-15	-14.329	-14.291	0.038	1.80
Na2CO3	3.429e-15	3.745e-15	-14.465	-14.427	0.038	(0)
KCO3-	3.076e-16	1.910e-16	-15.512	-15.719	-0.207	(0)
KHCO3	1.808e-16	1.974e-16	-15.743	-15.705	0.038	(0)
MgHCO3+	1.209e-16	8.166e-17	-15.918	-16.088	-0.170	5.72
CO2	2.192e-18	2.665e-18	-17.659	-17.574	0.085	34.26
K2CO3	1.584e-18	1.730e-18	-17.800	-17.762	0.038	(0)
(CO2)2	9.500e-38	1.155e-37	-37.022	-36.937	0.085	68.51
Ca	8.886e-02					

Ca	8.886e-02						
Ca+2	6.708e-02	1.669e-02	-1.173	-1.777	-0.604	-16.67	
CaCO3	1.038e-02	1.134e-02	-1.984	-1.946	0.038	-15.66	
CaCl+	5.839e-03	3.944e-03	-2.234	-2.404	-0.170	6.44	
CaSO4	4.741e-03	5.177e-03	-2.324	-2.286	0.038	7.36	
CaCl2	7.370e-04	8.048e-04	-3.133	-3.094	0.038	32.35	
CaOH+	7.946e-05	5.367e-05	-4.100	-4.270	-0.170	25.38	
Ca (OH) 2	8.370e-10	9.140e-10	-9.077	-9.039	0.038	(0)	
CaHSO4+	1.789e-12	1.376e-12	-11.747	-11.861	-0.114	(0)	
CaHCO3+	6.370e-15	4.302e-15	-14.196	-14.366	-0.170	9.82	
Cl	8.129e-01						
Cl-	7.443e-01	4.607e-01	-0.128	-0.337	-0.208	18.75	
NaCl	5.968e-02	6.517e-02	-1.224	-1.186	0.038	23.76	
CaCl+	5.839e-03	3.944e-03	-2.234	-2.404	-0.170	6.44	
KCl	9.866e-04	1.077e-03	-3.006	-2.968	0.038	37.98	
CaCl2	7.370e-04	8.048e-04	-3.133	-3.094	0.038	32.35	
MgCl+	5.217e-04	3.524e-04	-3.283	-3.453	-0.170	1.99	
MgCl2	5.664e-05	6.186e-05	-4.247	-4.209	0.038	(0)	
H(0)	5.685e-40						
H2	2.843e-40	3.457e-40	-39.546	-39.461	0.085	28.61	
K	1.323e-02						
K+	1.211e-02	7.396e-03	-1.917	-2.131	-0.214	9.65	
KCl	9.866e-04	1.077e-03	-3.006	-2.968	0.038	37.98	
KSO4-	1.305e-04	8.514e-05	-3.884	-4.070	-0.186	34.82	
KOH	4.549e-07	4.968e-07	-6.342	-6.304	0.038	59.12	
K2SO4	1.868e-07	2.039e-07	-6.729	-6.690	0.038	(0)	
KCO3-	3.076e-16	1.910e-16	-15.512	-15.719	-0.207	(0)	
KHCO3	1.808e-16	1.974e-16	-15.743	-15.705	0.038	(0)	
K2CO3	1.584e-18	1.730e-18	-17.800	-17.762	0.038	(0)	
K2O	0.000e+00	0.000e+00	-67.753	-67.715	0.038	(0)	
Mg	1.843e-03						
Mg+2	1.163e-03	3.417e-04	-2.934	-3.466	-0.532	-20.19	
MgCl+	5.217e-04	3.524e-04	-3.283	-3.453	-0.170	1.99	
MgSO4	8.071e-05	8.814e-05	-4.093	-4.055	0.038	5.69	
MgCl2	5.664e-05	6.186e-05	-4.247	-4.209	0.038	(0)	
MgOH+	2.052e-05	1.386e-05	-4.688	-4.858	-0.170	15.63	
Mg2OH+3	1.305e-07	5.437e-09	-6.884	-8.265	-1.380	(0)	
Mg4 (OH) 4+4	1.426e-11	3.413e-13	-10.846	-12.467	-1.621	(0)	
Mg (OH) 2	1.051e-11	1.148e-11	-10.978	-10.940	0.038	(0)	
MgCO3	5.682e-15	6.205e-15	-14.245	-14.207	0.038	-18.17	
MgHCO3+	1.209e-16	8.166e-17	-15.918	-16.088	-0.170	5.72	
Na	6.863e-01						
Na+	6.169e-01	4.474e-01	-0.210	-0.349	-0.140	-0.56	
NaCl	5.968e-02	6.517e-02	-1.224	-1.186	0.038	23.76	
NaSO4-	8.990e-03	5.864e-03	-2.046	-2.232	-0.186	22.20	
Na2SO4	3.434e-04	3.749e-04	-3.464	-3.426	0.038	79.41	
NaOH	1.411e-05	1.541e-05	-4.850	-4.812	0.038	3.38	
NaCO3-	2.428e-13	1.584e-13	-12.615	-12.800	-0.186	3.35	
NaHCO3	4.686e-15	5.117e-15	-14.329	-14.291	0.038	1.80	
Na2CO3	3.429e-15	3.745e-15	-14.465	-14.427	0.038	(0)	
O(0)	3.656e-15						
O2	1.828e-15	2.223e-15	-14.738	-14.653	0.085	30.11	
S(-2)	0.000e+00						
HS-	0.000e+00	0.000e+00	-123.966	-124.193	-0.227	21.24	
S-2	0.000e+00	0.000e+00	-126.175	-126.919	-0.744	(0)	
H2S	0.000e+00	0.000e+00	-127.588	-127.503	0.085	35.35	
(H2S) 2	0.000e+00	0.000e+00	-256.409	-256.324	0.085	30.24	

S(6)	2.340e-02						
SO4-2	9.115e-03	1.519e-03	-2.040	-2.818	-0.778	18.46	
NaSO4-	8.990e-03	5.864e-03	-2.046	-2.232	-0.186	22.20	
CaSO4	4.741e-03	5.177e-03	-2.324	-2.286	0.038	7.36	
Na2SO4	3.434e-04	3.749e-04	-3.464	-3.426	0.038	79.41	
KSO4-	1.305e-04	8.514e-05	-3.884	-4.070	-0.186	34.82	
MgSO4	8.071e-05	8.814e-05	-4.093	-4.055	0.038	5.69	
K2SO4	1.868e-07	2.039e-07	-6.729	-6.690	0.038	(0)	
HSO4-	8.913e-12	6.856e-12	-11.050	-11.164	-0.114	40.77	
CaHSO4+	1.789e-12	1.376e-12	-11.747	-11.861	-0.114	(0)	

-----Saturation indices-----

Phase	SI**	log IAP	log K(294 K,	1 atm)	
Anhydrite	-0.12	-4.60	-4.47	CaSO4	
Antarcticite	-6.47	-2.52	3.95	CaCl2:6H2O	
Aragonite	-7.18	-15.50	-8.31	CaCO3	
Artinite	-9.93	10.22	20.14	Mg2(OH)2(CO3):3H2O	
Bischofite	-8.67	-4.21	4.47	MgCl2:6H2O	
Brucite	0.00	17.11	17.11	Mg(OH)2	
CaCl2:4H2O	-7.86	-2.50	5.36	CaCl2:4H2O	
Calcite	-7.09	-15.50	-8.41	CaCO3	
CH4(g)	-135.21	-137.98	-2.77	CH4	
CO2(g)	-16.15	-17.57	-1.42	CO2	
Dolomite	-15.60	-32.69	-17.09	CaMg(CO3)2	
Epsomite	-4.48	-6.37	-1.88	MgSO4:7H2O	
Gypsum	0.00	-4.62	-4.62	CaSO4:2H2O	
H2(g)	-36.37	-39.46	-3.09	H2	
H2O(g)	-1.61	-0.01	1.60	H2O	
H2S(g)	-126.55	-134.49	-7.94	H2S	
Halite	-2.25	-0.69	1.57	NaCl	
Hexahydrate	-4.72	-6.35	-1.64	MgSO4:6H2O	
Hydromagnesite	-41.22	-10.37	30.85	Mg5(OH)2(CO3)4:4H2O	
Hydroxichloride(Ca)	-5.02	8.17	13.20	CaOHCl	
Hydroxichloride(Ca:H2O)	-3.19	8.16	11.35	CaCl(OH):H2O	
Hydroxichloride(Mg:4H2O)	-2.49	23.55	26.04	Mg2Cl(OH)3:4H2O	
Lime	-13.89	18.81	32.70	CaO	
Magnesite	-9.15	-17.19	-8.04	MgCO3	
Mg3Cl(OH)5:4H2O(s)	-2.55	40.66	43.21	Mg3Cl(OH)5:4H2O	
MgOHCl(s)	-9.43	6.49	15.91	MgOHCl	
MgSO4(s)	-11.16	-6.28	4.88	MgSO4	
Monohydrocalcite	-7.91	-15.51	-7.60	CaCO3:H2O	
O2(g)	-11.79	-14.65	-2.87	O2	
Pentahydrate	-4.35	-6.34	-2.00	MgSO4:5H2O	
Periclase	-4.46	17.12	21.59	MgO	
Portlandite	-4.01	18.80	22.81	Ca(OH)2	
Sulfur	-96.14	-91.18	4.97	S	
Sylvite	-3.35	-2.47	0.88	KCl	

**For a gas, SI = log10(fugacity). Fugacity = pressure * phi / 1 atm.
For ideal gases, phi = 1.

ANEXO F. CARACTERIZACIÓN DE LA FAENA AÑO 2011, AÑO 2017 Y AÑO 2017 CON ACONDICIONAMIENTO DE CAL

A continuación, se presenta la caracterización de cada una de las corrientes presentes en los tres casos de estudio que se desarrollaron. Dichas caracterizaciones se encuentran en Microsoft Excel:

1.1 F.1 Caracterización de las corrientes principales en Faena Taltal año 2011

BALANCE IÓNICO												
PM	C(4)	Parámetro	Corriente (1)		Corriente (2)		Corriente (3)		Corriente (4)		Corriente (5)	
			moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L
60,011		CO3	0,00421	0,25	0,004215	0,25	0,00544	0,32	0,005449	0,32	0,005704	0,34
40,08		Ca	0,01009	0,39	0,0101	0,40	0,03663	1,44	0,0818	3,23	0,039610	1,56
35,453		Cl	0,5793	19,80	0,58	20,29	0,72770	25,39	0,7285	25,42	0,787100	27,43
39,102		K	0,01008	0,38	0,01009	0,39	0,01073	0,41	0,01074	0,41	0,011610	0,45
24,312		Mg	0,05888	1,38	0,05895	1,41	0,07721	1,85	0,001439	0,03	0,085700	2,05
22,9898		Na	0,5008	11,10	0,5014	11,37	0,60670	13,73	0,6074	13,74	0,656300	14,83
96,064	S(6)	SO4	0,03056	2,83	0,0306	2,90	0,05328	5,04	0,02238	2,12	0,059980	5,66
		TDS [g/L]	36,13		37,02		48,18		45,27		52,32	
		pH	7,87		7,87		7,71		10,35		7,34	
		T[°C]	25,6		25,6		25,5		25,5		25,5	
		Densidad [g/cm3]	1,02		1,02		1,03		1,03		1,03544	
		Conductividad [μS/cm]	50202		50250		60297		60898		64018	
		Caudal [m3/h]	119		99,3		260,4		259,6		153,5	
		Phases	Índice de Saturación (SI)									
		CaSO4 Anhydrite	-1,03		-1,03		-0,18		-0,13		-0,13	
		CaCO3 Aragonite	-7,56		-7,56		-7,44		-7,44		-7,42	
		CaCO3 Calcite	-7,49		-7,49		-7,37		-7,38		-7,35	
		CaSO4-2H2O Gypsum	-0,9		-0,89		-0,05		0		0	
		Ca(OH)2 Portlandite	-10		-9,99		-9,62		-3,93		-10,34	
		CaCO3-H2O Monohydrocalcite	-8,31		-8,31		-8,19		-8,19		-8,17	
		CaMg(CO3)2 Dolomite	-13,74		-13,74		-14,11		-16,25		-14,06	
		MgCO3 Magnesite	-6,89		-6,89		-7,39		-9,52		-7,36	
		Mg(OH)2 Brucite	-3,32		-3,32		-3,56		0		-4,28	

1.2 F.2 Caracterización de las corrientes principales en Faena Taltal año 2017

BALANCE IÓNICO												
PM	C(4)	Parámetro	Corriente (1)		Corriente (2)		Corriente (3)		Corriente (4)		Corriente (5)	
			moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L
60,011		CO3	0,00421	0,25	0,004215	0,25	0,01040	0,61	0,01042	0,61	0,0144	0,85
40,08		Ca	0,01009	0,39	0,0101	0,40	0,03143	1,24	0,08926	3,52	0,0452	1,78
35,453		Cl	0,5793	19,80	0,58	20,29	0,81290	28,36	0,8141	28,36	0,9636	33,54
39,102		K	0,01008	0,38	0,01009	0,39	0,01322	0,51	0,01325	0,51	0,0153	0,59
24,312		Mg	0,05888	1,38	0,05895	1,41	0,09152	2,19	0,001808	0,04	0,1126	2,69
22,9898		Na	0,5008	11,10	0,5014	11,37	0,68620	15,52	0,6873	15,53	0,8058	18,19
96,064	S(6)	SO4	0,03056	2,83	0,0306	2,90	0,05584	5,28	0,02359	2,23	0,0722	6,81
		TDS [g/L]	36,13		37,02		53,71		50,79		64,45	
		pH	7,87		7,87		4,47		10,31		4,28	
		T[°C]	25,6		25,6		21,41		25,41		18,7	
		Densidad [g/cm3]	1,02		1,02		1,04		1,03		1,05	
		Conductividad [μS/cm]	50202		50250		59947		66256		64006	
		Caudal [m3/h]	119		99,3		260,4		259,6		153,5	
		Phases	Índice de Saturación (SI)									
		CaSO4 Anhydrite	-1,03		-1,03		-0,36		-0,12		-0,14	
		CaCO3 Aragonite	-7,56		-7,56		-7,18		-7,16		-7,05	
		CaCO3 Calcite	-7,49		-7,49		-7,09		-7,09		-6,94	
		CaSO4-2H2O Gypsum	-0,9		-0,89		-0,23		0		-0,02	
		Ca(OH)2 Portlandite	-10		-9,99		-16,28		-3,99		-16,5	
		CaCO3-H2O Monohydrocalcite	-8,31		-8,31		-7,91		-7,91		-7,76	
		CaMg(CO3)2 Dolomite	-13,74		-13,74		-13,3		-15,61		-13,1	
		MgCO3 Magnesite	-6,89		-6,89		-6,86		-9,17		-6,8	
		Mg(OH)2 Brucite	-3,32		-3,32		-9,98		0		-10,29	

1.3 F.3 Caracterización de las corrientes principales en Faena Taltal año 2017 con acondicionamiento de cal (caso propuesto).

BALANCE IÓNICO														
PM	C(4)	Parámetro	Corriente (1)		Corriente (2)		Corriente (3)		Corriente (4)		Corriente (5)		Corriente (5')	
			moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L	moles/KgW	g/L
60,011		CO3	0,00421	0,25	0,004215	0,25	0,01038	0,61	0,01038	0,61	0,0144	0,85	0,01443	0,85
40,08		Ca	0,01009	0,39	0,0101	0,40	0,06514	2,57	0,08886	3,50	0,0452	1,78	0,1013	3,99
35,453		Cl	0,5793	19,80	0,58	20,29	0,8128	28,35	0,8129	28,35	0,9636	33,54	0,9653	33,60
39,102		K	0,01008	0,38	0,01009	0,39	0,01323	0,51	0,01323	0,51	0,0153	0,59	0,01528	0,59
24,312		Mg	0,05888	1,38	0,05895	1,41	0,02871	0,69	0,001843	0,04	0,1126	2,69	0,00879	0,21
22,9898		Na	0,5008	11,10	0,5014	11,37	0,6862	15,52	0,6863	15,52	0,8058	18,19	0,8072	18,22
96,064	S(6)	SO4	0,03056	2,83	0,0306	2,90	0,02669	2,52	0,0234	2,21	0,0722	6,81	0,0241	2,27
		TDS [g/L]	36,13		37,02		50,77		50,76		64,45		59,73	
		pH	7,87		7,87		9,624		10,30		4,28		9,97	
		T[°C]	25,6		25,6		21,44		21,41		18,7		18,7	
		Densidad [g/cm3]	1,02		1,02		1,03		1,03		1,04		1,04	
		Conductividad [µS/cm]	50202		50250		60271		60847		63704		64919	
		Caudal [m3/h]	119		99,3		260,4		257,3		153,5		151,2	
		Phases	Índice de Saturación (SI)											
		CaSO4 Anhidrite	-1,03		-1,03		-0,22		-0,12		-0,43		-0,12	
		CaCO3 Aragonite	-7,56		-7,56		-7,18		-7,18		-7,18		-7,05	
		CaCO3 Calcite	-7,49		-7,49		-7,09		-7,09		-7,16		-6,94	
		CaSO4·2H2O Gypsum	-0,9		-0,89		-0,10		0		-0,31		0	
		Ca(OH)2 Portlandite	-10		-9,99		-5,52		-4,01		-16,72		-4,64	
		CaCO3·H2O Monohydrocalcite	-8,31		-8,31		-7,91		-7,91		-7,98		-7,76	
		CaMg(CO3)2 Dolomite	-13,74		-13,74		-14,24		-15,6		-13,33		-14,67	
		MgCO3 Magnesite	-6,89		-6,89		-7,8		-9,15		-6,82		-8,38	
		Mg(OH)2 Brucite	-3,32		-3,32		-0,16		0		-10,31		0	

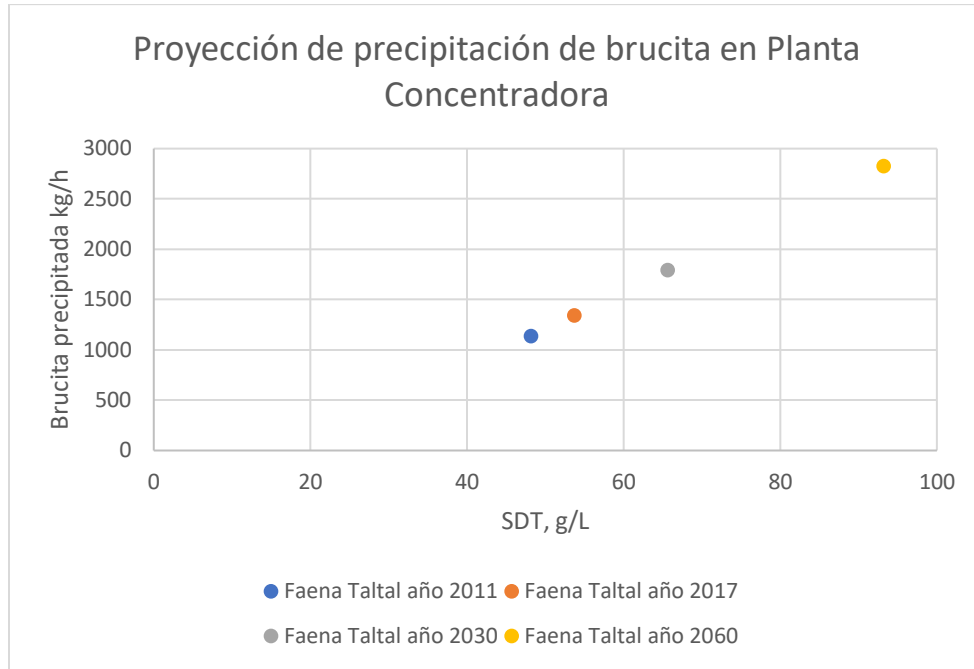
ANEXO G. PROYECCIONES DE LA CORRIENTE 3 PARA EL AÑO 2030 Y AÑO 2060.

A continuación, se observan las proyecciones de la corriente que ingresa a la planta concentradora en los años 2030 y 2060, en cuanto a calidad y cantidad de precipitados. Adicionalmente, se presentan los gráficos de precipitados de yeso y brucita para los años 2011, 2017, 2030 y 2060.

1.1 G.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CORRIENTE 3 PARA LOS AÑOS 2011, 2017, 2030 Y 2060

CORRIENTE 3							
Faena 2011		Faena 2017		Faena 2030		Faena 2060	
SDT	48,18	SDT	53,71	SDT	65,7	SDT	93,3
Cl	25,39	Cl	28,36	Cl	34,52	Cl	49,03
SO4	5,04	SO4	5,28	SO4	7	SO4	9,95
Brucita kg/h	1134	Brucita kg/h	1341	Brucita kg/h	1790	Brucita kg/h	2826
Yeso Kg/h	786	Yeso Kg/h	820	Yeso Kg/h	892	Yeso Kg/h	1058
Factor de precipitación		Factor de concentración					
brucita kg/h	34,5	g/L/año	0,92				
Yeso kg/h	5,6						

1.2 G.2 PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN DE BRUCITA EN PLANTA CONCENTRADORA EN LOS AÑOS 2011, 2017, 2030 Y 2060



1.3 G.3 PROYECCIÓN DE PRECIPITACIÓN DE YESO EN PLANTA CONCENTRADORA EN LOS AÑOS 2011, 2017, 2030 Y 2060

