



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS

**ESTUDIO DEL EFECTO DE LAS INTERACCIONES DEL SISTEMA 'AGUA DE MAR –
CAL' EN PROCESAMIENTO DE MINERALES**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA,
MENCIÓN METALURGIA EXTRACTIVA**

FERNANDO PATRICIO MORALES AMPUERO

**PROFESOR GUÍA:
WILLY KRACHT GAJARDO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LEANDRO VOISIN ARAVENA
TOMÁS VARGAS VALERO
CLAUDIO ACUÑA PERÉZ**

**SANTIAGO DE CHILE
2017**

RESUMEN

La escasez de agua en la zona norte de Chile, ha llevado a evaluar otras formas de suministro de agua a las operaciones mineras. En la actualidad una alternativa con proyección es el uso de agua de mar (salada y desalinizada).

En el caso de la concentración de minerales de cobre, otros estudios han establecido como problemática principal para el uso de agua de mar salada, el llamado efecto buffer respecto de la cal, que consiste en la reacción de iones de Mg y Ca disueltos en el agua de mar con la cal (utilizada como regulador de pH en concentración), resultando en un aumento importante del consumo de cal para superar este efecto y alcanzar el pH requerido por los procesos.

Se realizaron pruebas de contacto para “agua de mar – cal”, “agua de mar – mineral – cal” y “agua de mar – concentrado – cal”, obteniéndose un comportamiento característico de tres (3) zonas, donde la segunda corresponde a una meseta, en la cual el aumento de cal adicionada no produce aumentos significativo en el pH, coincidente con el “efecto buffer” y que se verifica a pH entre 9,5 y 10,0. Se verificó una interacción entre los iones de Mg^{+2} y la cal.

Se ejecutaron pruebas modificando las condiciones del sistema. Se utilizó agua de mar con un periodo de reposo de 10 días antes de la prueba y también agua de mar pretratada. En ambos casos se obtuvieron valores de pH superiores en la meseta (efecto buffer) y una cantidad de cal a adicionar menor para alcanzar valores elevados de pH respecto de la prueba sin modificar el sistema.

Finalmente, se realizaron cinéticas de flotación a distinto pH para estudiar el uso complementario de cal y un segundo depresante de pirita (Metabisulfito de Sodio), concluyéndose que la adición de Metabisulfito permite depresar fuertemente la pirita en flotación a pH bajo (8,5), sin embargo, también afecta el rendimiento de los parámetros cinéticos para el cobre. Se recomienda que para etapas de flotación recuperativas (primaria y barrido) se privilegie el ajuste de pH con cal, mientras que para etapas de limpieza se privilegie el uso de Metabisulfito.

ABSTRACT

Water scarcity in north of Chile has led to the evaluation of other forms of water supply to mining operations. At present an alternative with projection is the use of sea water (rough seawater or desalinated seawater).

In the case of copper concentration, other studies have established as main problem for salt water the buffer effect of seawater with lime, which consists of the reaction of Mg and Ca ions dissolved in the seawater with lime (pH regulator in copper concentration), resulting in an inability to raise the pH above the value at which the buffer effect occurs, or to increase significantly the lime consumption to overcome this effect and reach the required pH value.

Contact tests were carried out in "seawater - lime", "seawater - mineral - lime" and "seawater - concentrate - lime" systems, obtaining a characteristic behavior of three (3) zones, where the second zone corresponds to a plateau in which the added lime increase does not produce significant increases in pH, coincident with the so-called "buffer effect" and that is verified at pH values between 9.5 and 10. It is further verified that an interaction between Mg^{+2} ions and lime occurs.

Tests were performed modifying the conditions of the system. Sea water was used with a rest period of 10 days prior to the test and also pre-treated seawater. In both cases, higher pH values were obtained in the plateau (buffer effect) and a smaller amount of lime to be added to achieve high pH values with respect to the test without modifying the system.

Flotation kinetics at different pH were studied to understand the complementary use of lime and a second pyrite depressant (Sodium Metabisulfite). It was concluded that the addition of Metabisulfite allows a strong depression on pyrite flotation at low pH (8.5); however, it also affects the performance of kinetic parameters for copper. It is recommended the pH adjustment with lime in recuperative flotation stages (primary and scavenger) and the use of Metabisulfite and lime in cleaning stages.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mi familia por todo el apoyo recibido durante esta etapa de mi vida. Agradezco a Mónica por ser mi amor, mi compañera, mi apoyo y la personificación de la perseverancia que me ha guiado para concretar este ciclo, a Amanda por mostrarme el lado tierno de la vida y entregarme un cariño sin fin, a Benjamín por mostrarme el lado divertido de la vida, lleno de locuras y alegría, a mis padres y hermanos, que siempre están presentes cuando se necesita apoyo o alguna palabra de aliento.

También quiero agradecer a los profesores del departamento de ingeniería en minas, por tener la paciencia y dedicación para enseñarme todo lo que he aprendido y me ha permitido cumplir satisfactoriamente esta etapa. Muchas gracias a mis compañeros/amigos del programa de magister, por la disponibilidad en el estudio, el apoyo en momentos difíciles y el compañerismo entregado.

Quiero agradecer especialmente al profesor Willy Kracht, por guiarme en el desarrollo de este estudio, por su comprensión, ayuda y orientación para poder lograr cumplir este hito. Por último, agradezco a los profesores miembros de la comisión de este trabajo de título, por su buena disponibilidad durante el desarrollo de esta labor.

Muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1.0	INTRODUCCIÓN	1
1.1	PROBLEMÁTICA Y MOTIVACIÓN	1
1.2	OBJETIVO GENERAL	2
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.4	ALCANCES DEL ESTUDIO	3
1.5	ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA	4
2.0	ANTECEDENTES	5
2.1	CONTEXTO DEL USO DE AGUA EN MINERÍA DE COBRE EN CHILE	5
2.2	USO DE AGUA PARA PROCESO MINERO	6
2.3	ALTERNATIVA DE USO AGUA DE MAR	13
2.4	ESTUDIOS EXISTENTES DE FLOTACIÓN CON AGUA DE MAR	14
2.5	EFFECTO BUFFER DEL AGUA DE MAR CON CAL	17
2.6	ALMACENAMIENTO DEL AGUA DE MAR	18
2.7	MODELOS TEÓRICOS DE FLOTACIÓN	19
3.0	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE MAR	21
3.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA DE MAR	22
3.2	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA DE MAR	23
3.3	CARACTERÍSTICAS ORGÁNICAS DEL AGUA DE MAR.....	26
3.4	VARIACIÓN ESPACIAL DEL AGUA DE MAR.....	27
3.5	VARIACIÓN TEMPORAL DEL AGUA DE MAR	27
4.0	DESARROLLO EXPERIMENTAL	29
4.1	ENFOQUE GLOBAL DEL ESTUDIO	29
4.2	CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE MINERAL PARA PRUEBAS	31
4.3	CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE CONCENTRADO PARA PRUEBAS.....	32
4.4	CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS CON AGUA DE MAR	32
4.5	COMPLEMENTARIEDAD USO DE CAL Y METABISULFITO DE SODIO	38
4.6	EQUIPO EXPERIMENTAL	38
5.0	RESULTADOS	42
5.1	CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE MINERAL PARA PRUEBAS	42

5.2	CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE CONCENTRADO PARA PRUEBAS.....	43
5.3	CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS CON AGUA DE MAR	45
5.4	EVALUACIÓN DE COMPLEMENTARIEDAD DE LA CAL Y CON METABISULFITO DE SODIO COMO DEPRESANTES DE PIRITA EN PROCESAMIENTO DE MINERALES.....	60
6.0	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
7.0	BIBLIOGRAFÍA.....	77

1.0 INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática y Motivación

Para llevar a cabo los procesos productivos comprendidos en la minería del cobre, especialmente el de extracción, es de vital importancia el empleo del recurso hídrico. Las últimas décadas, los esfuerzos del sector han puesto el foco en el aprovechamiento del agua de mar como solución a falta de disponibilidad de recurso hídrico. En este sentido, el uso de agua de mar corresponde a una solución viable y muy atractiva para el procesamiento de minerales, dado su bajo impacto hacia el medio ambiente y comunidades, sin embargo, el uso del agua de mar trae consecuencias en las operaciones de flotación de cobre, principalmente debido a la interacción entre los componentes del agua de mar y los reactivos utilizados, es así como la cal (principal reactivo depresante de pirita utilizado en la industria) constituye el reactivo más afectado por la presencia de agua de mar.

La cal es uno de los reactivos de mayor uso en la concentración de minerales de cobre como regulador de pH. Los estudios existentes para el uso de cal como regulador de pH para flotación de cobre con agua de mar, han establecido que el agua de mar funciona como efecto buffer, evitando que se alcancen los pH típicos (básicos) de la flotación de cobre con agua dulce. El efecto Buffer o tampón de pH asociado a la presencia de los iones bicarbonatos y carbonatos [Carrillo, 2012]. Adicionalmente a valores de pH sobre 9,5 o superiores, se produce la precipitación de iones secundarios (por ejemplo: hidróxido de magnesio $Mg(OH)_2$ y Carbonato de Calcio $CaCO_3$), los cuales han reaccionado con los iones hidróxidos perjudicando el rendimiento de la operación de flotación de cobre en presencia de cal [Castro, 2012]. La precipitación de estos iones secundarios tiene un efecto depresante sobre el rendimiento de otros procesos de concentración, como la flotación de molibdeno y oro [Carrillo, 2012].

Debido a lo expuesto anteriormente, el presente estudio propone como posibilidad para mejorar el rendimiento de la operación de flotación realizar un pretratamiento al agua de mar que permitan precipitar o inutilizar los iones que interfieren en el proceso de modo de tener un rendimiento en la flotación de cobre similar al alcanzado con agua fresca.

Finalmente como alternativa al uso de la cal como depresante de pirita, existen reactivos que pueden cumplir esta función (cianuro o metabisulfito de sodio) [Parraguez, 2009], sin embargo debido al elevado costo que estos implican, el uso combinado de alguno de ellos y cal pudiese ser más atractivo que el simple reemplazo.

1.2 Objetivo general

Este trabajo tiene por objetivo principal estudiar el efecto de las interacciones del sistema agua de mar- cal en el procesamiento de minerales.

1.3 Objetivos específicos

Los objetivos específicos del presente trabajo se describen a continuación.

- a) Caracterizar el sistema 'agua de mar – cal' a distintos valores de pH.
- b) Caracterizar el sistema 'agua de mar – mineral – cal' a distintos valores de pH.
- c) Caracterizar el sistema 'agua de mar – concentrado – cal' a distintos valores de pH.
- d) Evaluar el efecto del almacenamiento del agua de mar y su impacto en los sistemas 'agua de mar – cal'.
- e) Evaluar alternativas de tratamiento parcial de agua de mar previo al procesamiento de minerales.

-
- f) Evaluar complementariedad de la Cal y otro reactivo como depresantes de pirita en procesamiento de minerales.

1.4 Alcances del estudio

A continuación se describen los alcances específicos del trabajo realizado en el estudio.

- El estudio considera trabajo de laboratorio, realizado en las dependencias del departamento de Minas de la Universidad de Chile, complementado con análisis de laboratorio realizados en laboratorios externos.
- El trabajo de laboratorio se realizó con el uso de muestras de agua de un punto específico de la costa central de Chile (Sector Algarrobo, V región), estas muestras fueron extraídas en una ventana acotada de tiempo (noviembre-diciembre 2015).
- Los análisis realizados como parte de este estudio, no considera el efecto de variabilidad espacial del agua de mar (un único punto de toma de muestras de agua de mar), así como tampoco la variabilidad estacional del agua de mar (ventana acotada de tiempo).
- El estudio considera el uso de un mineral proveniente de una única procedencia para las pruebas 'agua de mar – mineral – cal' y el uso de un concentrado proveniente de una única procedencia para las pruebas 'agua de mar – concentrado – cal'.
- Las pruebas de evolución temporal de la especiación del agua de mar en ausencia de cal, se realizaron con muestras de agua de mar depositadas en contenedores cerrados en ausencia de luz por un periodo de 10 días previo a la prueba.
- Las pruebas de tratamiento parcial del agua de mar, consideran el pretratamiento de agua de mar mediante precipitación selectiva con lechada de cal.
- Las pruebas de complementariedad de la Cal y otro reactivo depresante de pirita, consideran el uso de mezclas de Cal y metabisulfito de sodio en pruebas cinéticas de flotación.

1.5 Estructura y organización de la memoria

El presente documento se organizará en 7 capítulos, los cuales se detallan a continuación.

- En el Capítulo 1 se entrega visión general de las intenciones que dirigen este trabajo, se introducen los objetivos generales y específicos y se entregan algunos marcos de bordes del trabajo realizado (alcances del estudio).
- El Capítulo 2 consiste en una revisión de las consideraciones técnicas que sustentan el trabajo, contexto histórico y geográfico del consumo de agua en procesos de minería de cobre en Chile, revisión de conceptos asociados al agua de mar y sus potenciales usos en el procesamiento de minerales, así como también y la revisión de los modelos cinéticos de flotación.
- El Capítulo 3 consiste en una revisión específica de las características del agua de mar.
- El Capítulo 4 detalla el procedimiento experimental, las pruebas y mediciones realizadas.
- El Capítulo 5 consiste en los resultados de las pruebas y los análisis técnicos asociados a la aplicación del resultado de las pruebas.
- El Capítulo 6 consiste en las conclusiones y recomendaciones del trabajo.
- El Capítulo 7 consiste en las referencias utilizadas.

2.0 ANTECEDENTES

2.1 Contexto del uso de agua en minería de cobre en Chile

Chile presenta la mayor producción de cobre y número de reservas de dicho mineral a nivel mundial. Un recurso esencial para llevar a cabo la actividad minera respectiva al cobre corresponde al recurso hídrico. La desigual distribución espacial del agua y la variabilidad estacional que exhibe el país determinan diferencias significativas en la disponibilidad del recurso hídrico, siendo uno de los factores más desafiantes para el desarrollo de la minería, en particular en algunas zonas del país.

Geográficamente, las principales operaciones mineras en Chile se encuentran ubicadas en la zona norte del país, donde el clima es mayoritariamente desértico, de escasas precipitaciones, con una gran oscilación térmica y marcada sequedad atmosférica y, por tanto, escaso de agua, lo que sumado al crecimiento de la población urbana en la zona, ha producido un aumento constante en la demanda del recurso, gatillando mayor cantidad de conflictos por el acceso, la administración y la distribución del agua entre usuarios que compiten por el recurso.

Dado el contexto anterior, se hace fundamental la incorporación de una gestión eficiente y una administración renovada y eficaz de los recursos hídricos, incidiendo en el íntegro conocimiento del ciclo hidrológico y evaluar objetivamente los recursos hídricos a fin de tener una mayor certeza en la toma de decisiones y avanzar hacia un compromiso sustentable con los recursos hídricos de Chile.

En las últimas décadas, los esfuerzos del sector se han enfocado en mejorar los niveles de reutilización del agua de los diferentes procesos para minimizar el uso de agua fresca. Inicativas recientes, han puesto el foco en el aprovechamiento del agua de mar como solución a falta de disponibilidad de recurso hídrico.

2.2 Uso de agua para proceso minero

En la naturaleza, el cobre está presente en forma de minerales sulfurados y/o oxidados, y cada uno de ellos requiere de un tratamiento diferente para extraer el metal desde la mena, a pesar de ello, ambos procesos requieren de forma intensiva del uso del agua. A continuación, se describen de forma general las dos rutas de procesamiento de minerales de cobre, indicando las operaciones donde es requerida la adición de agua.

2.2.1 Extracción de cobre a partir de menas sulfuradas: Concentración.

Para la extracción de cobre sulfurado es necesario el proceso de concentración por flotación, que requiere un proceso previo de reducción de tamaño vía chancado y molienda. En forma simplificada, el proceso de flotación consiste en que los sulfuros de cobre se adhieren a burbujas de aire inducidas en celdas de flotación con las cuales se elevan hasta la superficie de la celda, formando una espuma. Esta espuma se somete posteriormente a un proceso de separación de fases para obtener concentrado de cobre y recuperar la mayor parte del agua. El resto del material abandona la celda a través de un sistema de descarga hacia el depósito de relaves. El concentrado tiene como destino una fundición, que produce ánodos de cobre que posteriormente son electro refinados mediante un proceso que consiste en la disolución electroquímica del cobre de los ánodos, en un electrolito que transporta selectivamente los iones de cobre hasta una superficie en la que se deposita hasta formar un cátodo destinado al mercado de cobre metálico.

La figura 2.1, muestra de forma simplificada el procesamiento de los sulfuros de cobre.

2.2.2 Extracción de cobre a partir de las menas de óxido: Hidrometalurgia.

Los minerales oxidados se caracterizan por que el cobre presente es soluble al ataque del ácido, por lo que es necesario recurrir a lixiviación para ser removido de la mena. Este proceso de lixiviación (LX), recupera el cobre soluble y logra soluciones ricas en cobre (PLS) de características pre-establecidas. Para ello el mineral se reduce de tamaño y se dispone en pilas sobre carpetas impermeables.

Las pilas de lixiviación se riegan con una solución de agua y ácido sulfúrico que disuelve el cobre contenido. Los ciclos de lixiviación pueden durar varias semanas, durante las cuales la solución se recircula hasta obtener una concentración de cobre apta para el proceso de intercambio iónico. Este intercambio se produce en una planta de extracción por solventes (SX), la cual concentra aún más la solución proveniente de las pilas de lixiviación, entregando un electrolito más adecuados para la depositación y finalmente la planta de electro obtención (EW), proceso mediante el cual se obtienen cátodos de alta calidad mediante el depósito de iones de cobre del electrolito sobre superficies sobre las cuales se forma un cátodo electro-obtenido de alta pureza, apto para ser comercializado.

La figura 2.2, muestra de forma simplificada el procesamiento de los óxidos de cobre.

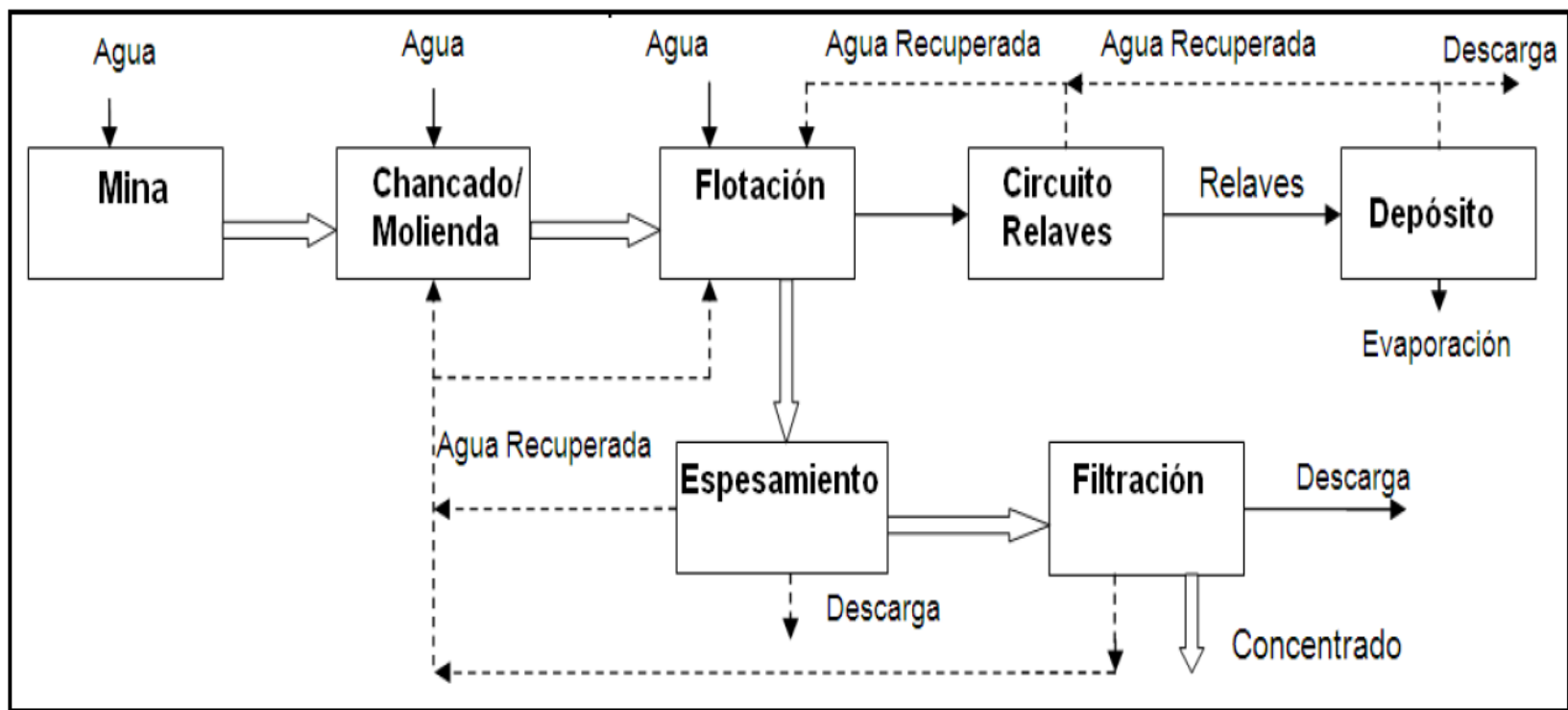


Figura 2.1: Distribución del uso de agua fresca en procesamiento de sulfuros de cobre

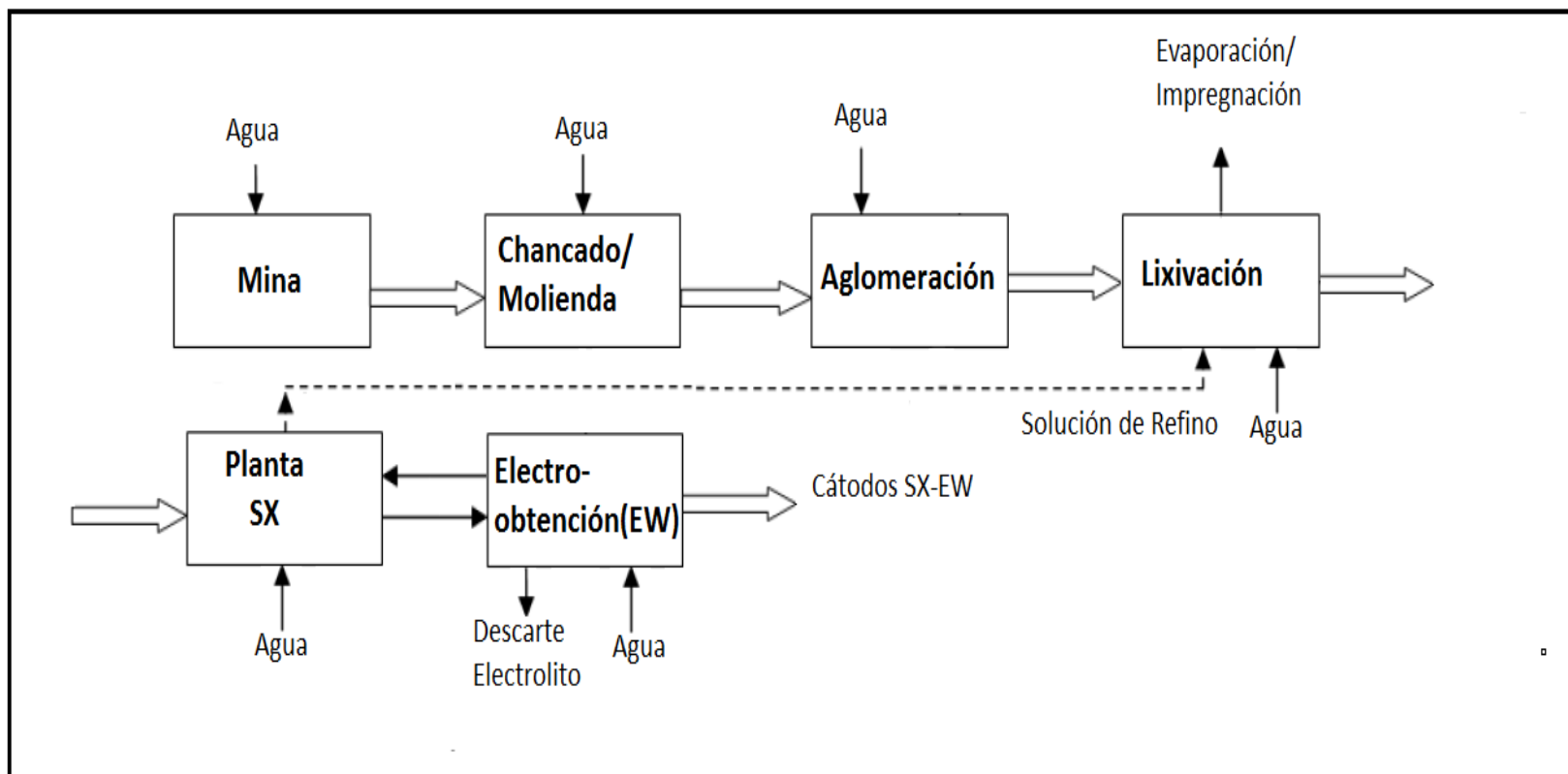


Figura 2.2: Distribución del uso de agua fresca en procesamiento de óxidos de cobre

En la actualidad, diversas compañías mineras están enfocadas en disminuir sus consumos de agua fresca. Si fuera posible reutilizar la totalidad del agua fresca administrada a los procesos, solo necesitaríamos una pequeña cantidad inicial y posteriormente no existiría la necesidad de reponer agua, sin embargo esto no ocurre en la realidad por lo que es necesario buscar alguna alternativa de abastecimiento para el consumo neto de agua fresca (*make-up*) de cada compañía.

La tabla siguiente lista las principales fuentes de pérdidas de agua de los diferentes procesos de la minería del cobre.

Tabla 2.1: Principales fuentes de pérdidas de agua desde procesos mineros.

Pérdidas de agua en proceso de concentración de sulfuros de cobre	Pérdidas de agua en proceso de hidrometalurgia de óxidos de cobre
Filtraciones	Evaporación desde pilas de lixiviación.
Infiltraciones y retención de agua en tranques de relaves	Evaporaciones en estanques y trenes de extracción por solventes
Evaporaciones de celdas de flotación, espesadores, estanques y tranque de relaves	Lavado de fase orgánica de SX
Pérdidas en transporte de concentrado a muelles, puertos, etc	Descarte de soluciones

2.2.3 Consumos globales y unitarios por proceso en Chile

A la hora de analizar cuál es el consumo de agua en los diferentes procesos, es necesario analizar datos históricos de faenas en Chile. Según estudios realizados por Cochilco el año 2011 en conjunto con las principales compañías mineras del país, indican que el consumo total de recurso hídrico de ese año fue de 12,6 m³/s. Este resultado considera la producción de concentrado, la operación de beneficio de minerales oxidados y mixtos por lixiviación para producir cátodos por SX-EW y aguas de servicios varios, tales como agua mina y agua potable.

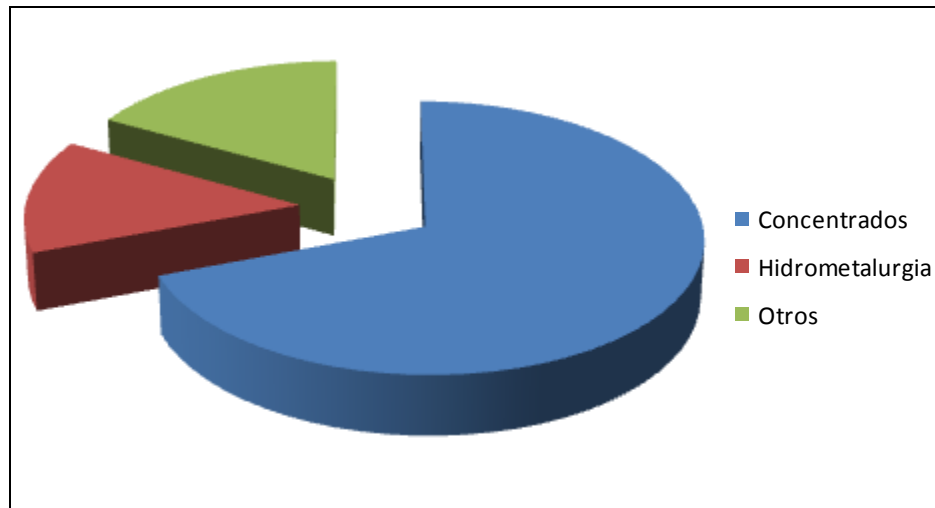


Figura 2.3: Distribución de la extracción de agua fresca por proceso (Cochilco, 2012)

La figura 2.3 indica la distribución de las extracciones de agua fresca a nivel país según su razón de uso para la minería de Chile, donde es posible observar que el proceso con mayor consumo de agua fresca es la concentración de minerales, abarcando un 71% de las extracciones de agua fresca total, con un consumo aproximado de 8,9 m³/s. La producción de cátodos SX-EW en tanto solo utiliza el 14% de las extracciones de agua fresca, con un consumo de 1,8 m³/s. El resto corresponde a agua utilizada en la mina, como en la supresión de polvo en caminos, a servicios varios y agua potable, con un consumo de 1,9 m³/s.

A nivel regional, se destaca la II Región como la mayor consumidora de agua para fines mineros, presentando el mayor caudal de extracciones de agua en concentradora, ya que produce el 34% de los concentrados a nivel país y el mayor consumo de agua fresca en el proceso de Hidrometalurgia con un 74% de la producción de cátodos del país.

Respecto de los consumos unitarios, se identifica al consumo unitario como la cantidad de agua fresca utilizada para procesar u obtener 1 unidad de materia prima o de producto, para la minería, la tasa se expresa como metros cúbicos de agua fresca por cada tonelada de mineral procesado (m³/ton).

El volumen de agua consumida para producir cobre a partir de minerales sulfurados es significativamente mayor que aquel requerido para la producción de cobre a partir de minerales lixiviables, de igual forma, los consumos unitarios en concentración alcanzan alrededor de cinco veces el consumo en hidrometalurgia. Es así como en 2011 se registraron valores promedio para los procesos de concentración de 0,65 m³/ton, con una fluctuación que va de un valor mínimo de 0,3 m³/ton a un valor máximo de 2,0 m³/ton (los valores máximos corresponden a faenas donde no es posible recircular las aguas desde los depósitos de relave). En el caso de los procesos de hidrometalurgia, se registraron valores promedio de 0,12 m³/ton, con una fluctuación que va desde 0,02 m³/ton hasta 0,9 m³/ton (los valores mayores corresponden a faenas de menor envergadura).

La figura 2.4 muestra las tasas unitarias por regiones.

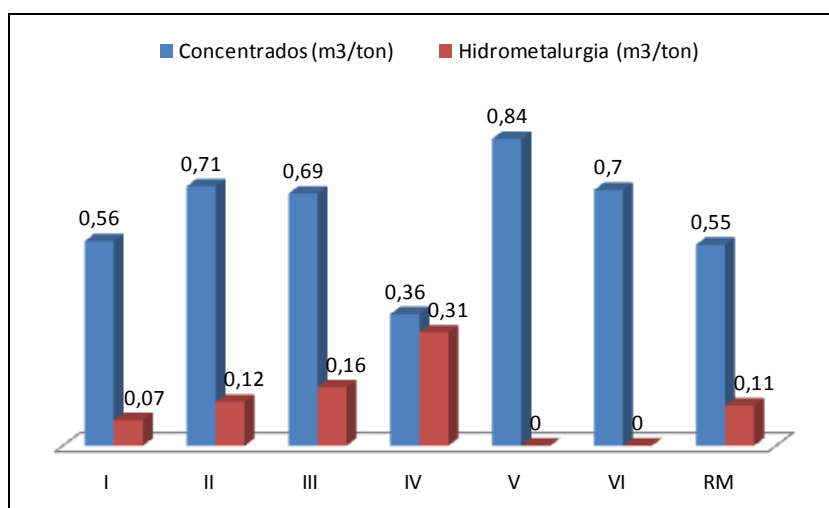


Figura 2.4: Consumo unitario por tonelada procesada por regiones (Cochilco, 2012)

Del analisis anterior, se concluye que los mayores consumos de agua en la minería del cobre, esta referidos a los procesos de concentración de minerales (molienda-flotación).

2.3 Alternativa de uso agua de mar

El escenario actual plantea el uso de agua de mar y agua de mar desalada como nueva fuente de agua, la cual corresponde a una atractiva alternativa de suministro y en línea con el desarrollo sostenible de la minería.

En esta búsqueda por nuevos sistemas ya existen empresas mineras que han estado utilizando agua desalada o agua directamente de mar utilizada en sus procesos, como es el caso de Minera Centinela (Ex Esperanza). También se ha comenzado a aplicar tecnologías que ahorran agua en los procesos mismos, tales como membranas especiales, relaves espesados y nuevas técnicas de reciclaje del agua, entre otras, lo que ha reducido de forma importante el consumo de agua fresca en las operaciones mineras.

En el caso del agua de mar, esta es la solución más efectiva para aquellas faenas que se encuentran ubicadas en zonas desérticas y que procesan sulfuros de cobre, ya que como se mencionó anteriormente, estas requieren las más elevadas cantidades de agua y a pesar de optimizar el uso del agua en el proceso, es imposible llegar a reutilizar el 100% del agua.

La tabla 2.2 muestra algunas de las iniciativas con respecto al uso de agua de mar.

Tabla 2.2: Iniciativas de uso de agua de mar en minería (Cochilco, 2012).

Region	Proyecto/Planta	Tipo de uso	Capacidad (Lts/seg)	Estado
Antofagasta	Esperanza	Agua de mar	1500	Operación
Antofagasta	Michilla	Agua de mar	23	Operación
Antofagasta	Escondida (Puerto Coloso)	Desalinización	525	Operación
Atacama	Candelaria	Desalinización	500	Operación
Atacama	Mantoverde	Desalinización	120	Construcción
Antofagasta	Antucoya	Desalinización	280	Construcción
Iquique	Quebrada Blanca Fase II	Desalinización	1300	Ingeniería Factibilidad
Iquique	Collahuasi	Desalinización	1500	Prefactibilidad

La tabla anterior indica las faenas que utilizan agua de mar, ya sea utilizando el agua en los procesos productivos de manera directa o previamente desalinizada. Este uso

aún no es masivo debido a algunas dificultades que presenta el uso de este tipo de agua.

Las principales desventajas del uso de agua de mar se listan a continuación.

- El transporte de agua desde el mar al lugar donde se ubican las faenas mineras que, por lo general, se encuentran a elevada altura sobre el nivel del mar y a una distancia considerable de la costa. A la inversión inicial en infraestructura, hay que sumar los costos de energía necesarios para operar la planta y bombear el agua hasta las faenas demandando altos consumos de energía.
- El uso de agua de mar directa o desalinizada en los procesos, podría hacer disminuir tasas de eficiencias de algunas operaciones unitarias, y por tanto afectar la producción.

2.4 Estudios existentes de flotación con agua de mar

Desde el punto de vista de la concentración de minerales y en particular para minerales de cobre, los pocos estudios existentes apuntan que la concentración de los minerales de enriquecimiento primario (calcopirita) responde bien en agua de mar en un amplio rango de pH. En el caso de los minerales de enriquecimiento secundario (calcosina, covelina) su respuesta es fuertemente dependiente del pH y tienen su óptimo alrededor de pH 10 (Castro, 2012). En particular, en los estudios realizados se concluye que siempre la recuperación de minerales de cobre es mayor en agua dulce que en agua de mar para cualquier valor de pH, de igual forma, se indica a su vez, que las leyes de concentrado son siempre menores en agua de mar. Desde el punto de vista del Fe, se ha establecido que las recuperaciones son similares utilizando ambos tipos de agua (mar y dulce), lo que explicaría en mayor o menor medida una menor ley de cobre en los concentrados alcanzados con el uso de agua de mar, desde el punto de vista técnico, la diferencia de velocidades de flotación entre los minerales de Cu y Fe disminuye, perjudicando la limpieza del concentrado final.

Respecto de la variabilidad de la recuperación en función del pH, los estudios indican que el efecto de pH no es tan significativo en menas de cobre que sean preponderantemente de enriquecimiento primario, la figura 2.5 muestra la

recuperación de Cu para mineral de Carmen de Andacollo (principalmente calcopirita) en función del pH (etapa primaria o *rougher*), con una etapa limpieza (*cleaner*) a pH fijo de 8,5.

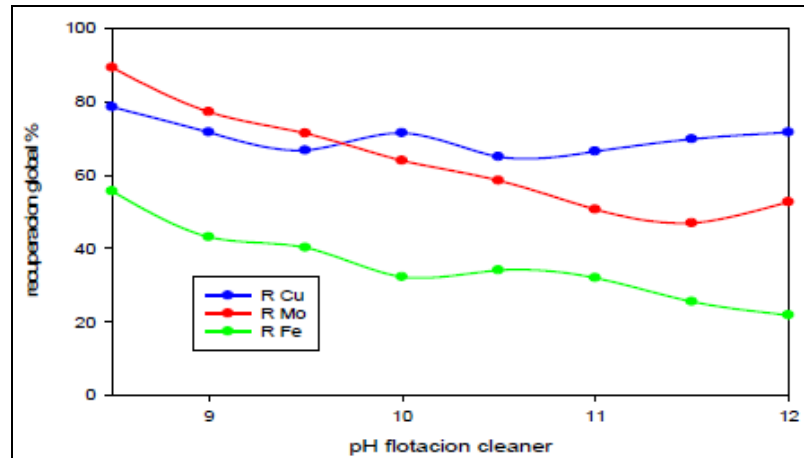


Figura 2.5: Recuperación de Cu de mineral de Carmen de Andacollo en función del pH (Carrillo, 2012)

La figura 2.6 muestra la variabilidad de la recuperación de Cu en la etapa de limpieza del mineral de Carmen de Andacollo en función del pH.

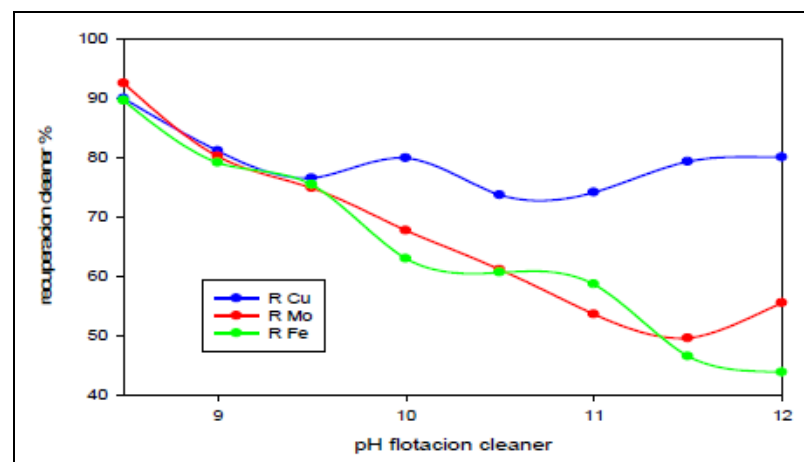


Figura 2.6: Recuperación de Cu en etapa de limpieza de mineral de Carmen de Andacollo en función del pH (Carrillo, 2012)

Para minerales de enriquecimiento secundario, a diferencia de los minerales de enriquecimiento primario, el pH afecta fuertemente la recuperación, la figura 2.7 muestra la recuperación en función del pH para calcosita.

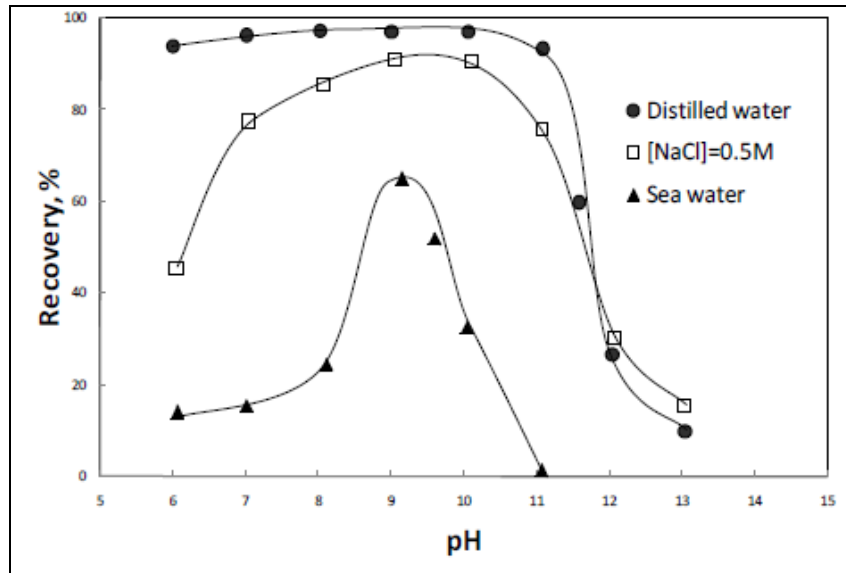


Figura 2.7: Recuperación de Cu de calcosita en función del pH (Castro, 2012)

Respecto de las leyes de concentrado, se establece que son generalmente menores a las leyes de concentrado en flotación de agua dulce, dado tanto los minerales de enriquecimiento primario y secundario tienen menores recuperaciones en agua de mar, la ley de concentrado será menor en ambos casos. La figura 2.8 muestra las leyes de concentrado para mineral de Mantos Blancos con agua de mar y agua dulce.

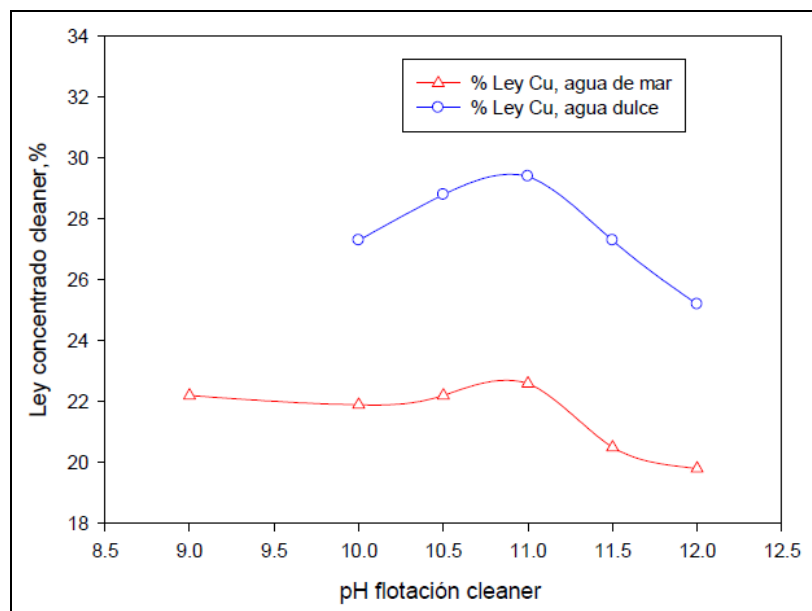


Figura 2.8: Comparación ley de concentrado con agua de mar y agua dulce a distintos pH (Quinteros, 2012)

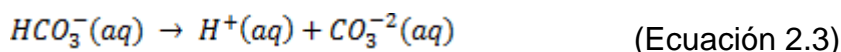
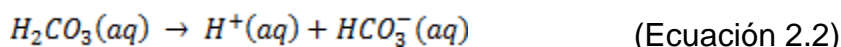
2.5 Efecto buffer del agua de mar con cal

En la flotación de minerales de cobre, la lechada de cal es el reactivo más utilizado y es usado en prácticamente todas las faenas de concentración de cobre como regulador de pH, su utilización permite realizar la flotación de cobre en valores de pH básico y de esta forma depresar la pirita presente en las menas de cobre.

En la bibliografía, se indica que el agua de mar ejerce un fuerte efecto de buffer con respecto al uso de la cal, lo que constituye una de las mayores desventajas del uso de agua de mar para la flotación de cobre.

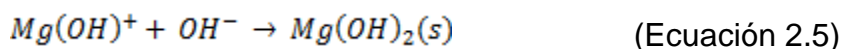
En términos generales el pH del agua de mar se encuentra entre 7,0 y 8,5. El valor del pH depende fundamentalmente de la relación entre los iones carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-). Si la relación $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ aumenta de valor, el pH disminuye; mientras que si esta relación disminuye el pH aumenta (Castro, 2012).

Las proporciones de carbonato (CO_3^{-2}) y bicarbonato (HCO_3^-) se rigen por las siguientes ecuaciones.



Adicionalmente el Calcio y el Magnesio presentes en el agua de mar, son los principales elementos perjudiciales para la flotación de minerales de cobre, dado que estos “consumen” hidroxidos (lechada de cal o $\text{Ca}(\text{OH})_2$) especialmente a pH cercano a 10,5 o superiores, donde consumen Iones OH^- , (afectando fuertemente la recuperación).

Las reacciones que se producen en presencia de Mg^{+2} son las siguientes.



Dado lo anterior se debiera preferir el uso de otros reactivos en lugar de cal, tal como cianuros, ferrocianuros o dextrina, las cuales deprimen la pirita.

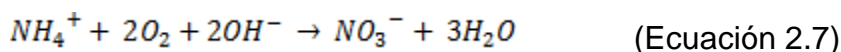
2.6 Almacenamiento del agua de mar

En la actualidad, cada vez más proyectos de concentración de minerales de cobre ubicados en zonas desérticas del norte Chile consideran la alternativa de utilizar agua de mar fresca (sin desalar). Una de las problemáticas de esta alternativa son los extensos tiempos entre que se realiza la captación del agua desde el mar y su utilización efectiva en las faenas, en general esta problemática está radicada en las enormes distancias que debe recorrer el agua y que para asegurar un suministro continuo se privilegia el uso de grandes reservorios (piscinas principalmente).

Durante este periodo de tiempo entre la captación y el uso, aún continúan produciéndose reacciones orgánicas de microorganismos (principalmente bacterias) presentes en el agua de mar, descomposición de materia orgánica, entre otros. Estas reacciones si bien no cambian la composición elemental del agua, si cambian la forma en que estos elementos están presentes en el agua a través de reacciones redox.

En general una vez el agua se encuentra en un recipiente estático, las reacciones orgánicas que se pueden producir van a depender de como varia la concentración de oxígeno disuelto, ya que este afectara de manera positiva o negativa a los diferentes tipos de bacterias y microorganismos (aeróbicas o anaeróbicas) del agua de mar.

Algunas de las reacciones del agua de mar que según la bibliografía se pueden producir bajo condiciones de almacenamiento se presentan a continuación.



2.7 Modelos teóricos de flotación

Para evaluar la complementariedad de la Cal y otro reactivo depresante de pirita, se considera la aplicación de modelos teóricos que permiten explicar el proceso de flotación. A continuación se presenta el marco teórico utilizado para analizar la cinética de flotación batch de las especies de interés en el mineral flotado [Casali y Kracht, 2011].

2.7.1 Modelo de cinética de primer orden

$$R(t) = R_{\infty}(1 - \exp(-kt)) \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

Este modelo propuesto por los autores García y Zuñiga contiene los siguientes elementos:

- $R(t)$: Recuperación acumulada de la especie de interés en un periodo de tiempo t [%].
- R_{∞} : Recuperación a tiempo infinito [%].
- k : constante cinética de flotación de primer orden [$1/min$].
- t : tiempo de flotación [min].

Cabe señalar que la recuperación a tiempo infinito es la máxima recuperación obtenible de la especie o elemento de interés, para las condiciones de flotación dadas. Esta ecuación se puede utilizar para determinar los parámetros cinéticos de cada especie presente en el mineral.

2.7.2 Modelo de Klimpel

$$R(t) = R_{\infty} \left[1 - \left(\frac{1}{kt} \right) (1 - \exp(-kt)) \right] \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

Este modelo considera infinitas fracciones notables, todas de igual magnitud y cada una con su propia constante cinética. Este modelo es muy usado ya que ajusta bien los datos experimentales en la parte final de la curva. La constante cinética de Klimpel no puede ser determinada gráficamente, a diferencia de la aquella del modelo de García-Zuñiga. Los elementos del modelo son exactamente los mismos del modelo anterior a excepción de la constante cinética (k), la cual se denomina constante cinética de Klimpel.

3.0 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE MAR

Dada la importante presencia y extensión del agua proveniente de los mares, es posible encontrar una diversa cantidad de características tanto biológicas como químicas que varían fuertemente en el agua de mar, incluso algunas características físicas varían dependiendo del lugar donde se toma una muestra de agua.

A modo de simplificar el análisis de las características del agua de mar, se realizará una descripción de las características más importantes de forma separada según sigue:

- Características físicas del agua de mar.
 - Temperatura del agua de mar.
 - Conductividad eléctrica del agua de mar.
 - Densidad del agua de mar.
 - pH del agua de mar.
- Características químicas del agua de mar.
 - Características de salinidad del agua de mar.
 - Otros componentes químicos del agua de mar.
- Características orgánicas del agua de mar.
- Variación espacial del agua de mar.
- Variación temporal del agua de mar.

De todas estas características, las que tiene una mayor preponderancia desde el punto de vista industrial y principalmente procesamiento de minerales son las llamadas características químicas del agua de mar, ya que intervienen directamente en los procesos y reacciones propios de la minería.

3.1 Características físicas del agua de mar

3.1.1 Temperatura del agua de mar

En los océanos hay una capa superficial de agua templada (12° a 30°C), que llega hasta una profundidad variable según las zonas, de entre unas decenas y 400 o 500 metros, por debajo de esta capa el agua está fría con temperaturas de entre 5° y -1°C.

La temperatura marina se ve afectada por fenómenos locales como corrientes marinas, presencia de volcanes submarinos y de las llamadas surgencias o afloramientos de aguas marinas frías.

En Chile, el Servicio hidrogeográfico y oceanográfico de la armada de Chile (SHOA), provee de datos históricos de temperatura superficial del mar de la zona centro y norte de Chile.

3.1.2 Conductividad eléctrica del agua de mar

El agua de mar presenta una elevada conductividad eléctrica, a la que contribuyen la polaridad del agua y la abundancia de iones disueltos.

Las sales en agua se disocian en iones. Un ion es un átomo cargado positiva o negativamente y que, por tanto, intercambia electrones con el medio. Pueden absorber y liberar electrones a las partículas vecinas. La conductividad varía sobre todo con la temperatura y la salinidad (a mayor salinidad, mayor conductividad), y su medición permite conocer la salinidad del agua de mar (controlada la temperatura).

3.1.3 Densidad del agua de mar

La densidad del agua del mar es un parámetro, cuya variación es muy leve a distintas temperaturas o salinidad. La densidad es determinada usando la ecuación internacional de estado del agua de mar a presión atmosférica, que es formulada por

la Unesco (UNESCO Technical Papers in Marine Science, 1981). La densidad de la típica agua del mar (agua salada con un 3,5 % de sales disueltas) suele ser de 1,02811 a los 0 °C.

3.1.4 pH del agua de mar

El agua de mar es ligeramente alcalina, y el valor de su pH está entre 7,5 y 8,4 y varía en función principalmente de los iones presentes de forma local, adicionalmente varía en función de la temperatura; si ésta aumenta, el pH disminuye y tiende a la acidez; también puede variar en función de la salinidad, de la presión o profundidad, y de la actividad vital de los organismos marinos.

3.2 Características químicas del agua de mar

En general, se puede decir que las aguas naturales adquieren sus características químicas por disolución y por reacción química con sólidos, líquidos y gases con los que han tenido contacto durante las varias partes del ciclo hidrológico.

La materia mineral disuelta se origina en los materiales de la corteza terrestre. Las rocas minerales se desintegran y disuelven en el agua en el proceso de meteorización (*weathering*). Los gases y sustancias volátiles participan en este proceso.

Desde el punto de vista químico, el mayor aporte de iones se produce a partir de la presencia de sales, siendo el más preponderante la presencia de NaCl, adicionalmente, el agua mar presenta una serie de otros elementos en distintas proporciones, de forma local se pueden encontrar diferentes proporciones de estos elementos dada la desigual distribución de ellos en la corteza terrestre.

Los elementos químicos de mayor presencia en el agua de mar son Cl, Na, Mg, S, Ca y K.

La figura 3.1 indica la distribución en peso de los cationes y aniones de mayor presencia en el agua de mar.

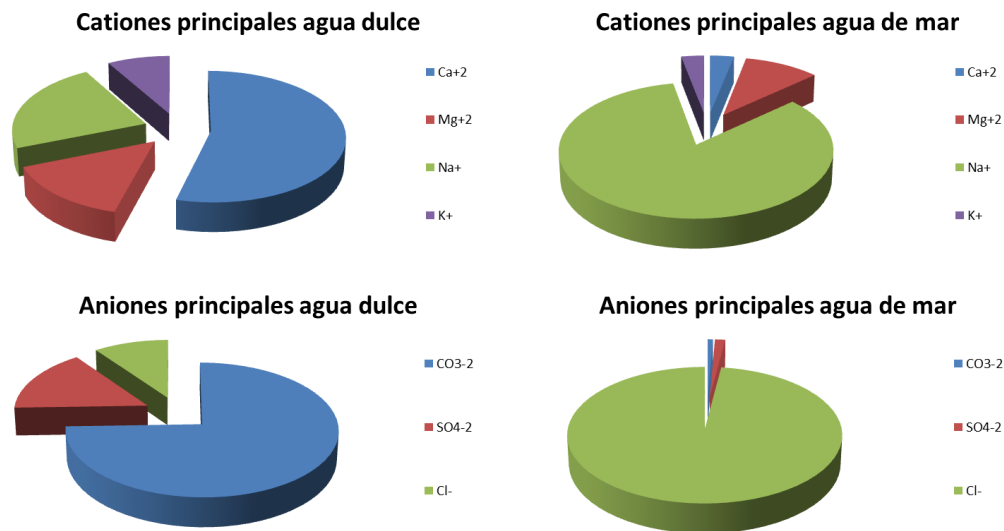


Figura 3.1: Cationes y aniones de mayor presencia en el agua dulce y de mar

3.2.1 Salinidad del agua de mar

La salinidad es el contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua. Dicho de otra manera, es válida la expresión salinidad para referirse al contenido salino en suelos o en agua.

El estudio de la composición se simplifica por el hecho de que las proporciones de los componentes son siempre aproximadamente las mismas, aunque la concentración conjunta de todos ellos es enormemente variable. Dicha concentración total se denomina salinidad, que suele expresarse en tanto por mil. Gracias a la universalidad de su composición, la salinidad suele ser estimada a partir de la medición de un solo parámetro, como la conductividad eléctrica, el índice de refracción o la concentración de uno de sus componentes, generalmente el ion cloruro (Cl⁻).

En general las aguas superficiales son más saladas porque la evaporación hace que la concentración de sal aumente. El contenido salino de los lagos, ríos, o arroyos es pequeño, por lo que a esas aguas se las denomina agua dulce. El contenido de sal en agua potable es, por definición, menor a 0,05 %.

3.2.2 Otros componentes químicos del agua de mar

Adicionalmente al aporte de iones de las sales (NaCl principalmente), en el agua de mar se pueden encontrar todo tipo de elementos, la mayor parte de ellos son aportados por la erosión de la corteza terrestre y su cantidad en el agua de mar es variable, aunque la mayor parte de ellos solo se encuentra a nivel de trazas.

Desde el punto de vista industrial y en particular en el procesamiento de minerales, estos iones presentes en el agua de mar generan tres grandes problemas para su empleo: baja calidad metalúrgica, alta corrosión en equipos; y alto poder incrustante en cañerías.

La cantidad de iones presentes en el agua de mar varían de forma local según la presencia de corrientes marinas, afloramientos de aguas de mayor profundidad, características de los minerales presentes en la corteza terrestre en cada sitio, entre otras, es así que para saber el nivel de presencia de los iones en el agua de mar de un sector específico es necesario realizar mediciones insitu.

A nivel industrial en Chile, cada nuevo proyecto que considera la utilización de agua de mar, requiere cumplir con un estudio de impacto ambiental (EIA), donde se incluye un análisis completo de muestras desde el sector de donde se captará el agua de mar.

La tabla 3.2 muestra caracterizaciones químicas a muestras de agua de mar, de diferentes puntos a partir de diferentes fuentes de información (Libro Oceans, EIA proyecto central térmica energía minera S.A, EIA, proyecto Minera Esperanza, Barrera y Cerna 2009).

Tabla 3.2: Composición química del agua de mar

Indicador		Unidad					
Procedencia muestra			V Región	II Región	II Región	II Región	Oceano
Aluminio	Al ⁺³	ppm	0,05	<0,01	No medido	0,006	0,001
Amonio	NH ₄ ⁺	ppm	No medido	1,58	No medido	0,5	No medido
Bario	Ba ⁺²	ppm	No medido	0,028	No medido	0,03	0,021
Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	ppm	170	138	No medido	157	No medido
Boro	B	ppm	2,6	5,66	No medido	No medido	4,45
Bromuro	Br ⁻	ppm	No medido	90	No medido	90	67,3
Calcio	Ca ⁺²	ppm	No medido	599	843	464	411
Carbonato	CO ₃ ⁻²	ppm	50	<1	No medido	<1	No medido
Cloruro	Cl ⁻	ppm	18502,3	24742	20000	20170	19400
Cobre	Cu ⁺²	ppm	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0009
Dióxido de Carbono	NO ₂ ⁻	ppm	No medido	<0,1	No medido	No medido	No medido
Dióxido de Nitrógeno	CO ₂	ppm	No medido	3	No medido	3	No medido
Estroncio	Sr ⁺²	ppm	<0,02	8,52	No medido	7	8,1
Fosfato	PO ₄ ⁻	ppm	No medido	<0,05	No medido	<0,05	No medido
Fluoruro	F ⁻	ppm	No medido	0,83	0,7	2	13
Hierro	Fe ⁺²	ppm	0,04	0,03	No medido	0,03	0,003
Hierro	Fe ⁺³	ppm	No medido	0,01	No medido	0,01	No medido
Magnesio	Mg ⁺²	ppm	No medido	987	1230	1138	1290
Manganeso	Mn ⁺²	ppm	<0,01	0,06	0,01	0,06	0,0004
Nitrato	NO ₃ ⁻	ppm	60,5	0,47	3,9	5	No medido
Nitrito	NO ₂	ppm	<0,05	No medido	0,04	<0,1	No medido
Plata	Ag ⁺	ppm	No medido	<0,001	No medido	<0,001	0,00028
Potasio	K ⁺	ppm	No medido	544	No medido	209	392
Sílice coloidal	SiO ₂	ppm	No medido	0,99	No medido	3	No medido
Sílice soluble	SiO ₂	ppm	No medido	2	No medido	2	No medido
Sodio	Na ⁺	ppm	No medido	10715	9550	10440	10800
Sulfato	SO ₄ ⁻²	ppm	1430,7	2721	No medido	2591	No medido
Sulfuro	S ⁻	ppm	<0,01	<1	No medido	<1	904
Yoduro	I ⁻	ppm	No medido	<0,1	No medido	<0,1	0,064
Zinc	Zn ⁺²	ppm	<0,01	0,006	No medido	0,006	0,005

3.3 Características orgánicas del agua de mar

El agua de mar sirve de ecosistema para una serie de organismos vivos, debido a ello, es normal encontrar una gran cantidad de componentes de origen orgánico en el agua de mar, se ha establecido que los componentes más preponderantes corresponden a aceites y grasas. La cantidad de estos compuestos orgánicos en una zona va a depender de la cantidad de actividad biológica específica de cada lugar, así como por otros factores contribuyentes. A nivel global se ha establecido que las cantidades típicas de grasas y aceites en el agua de mar es de entre 10 a 20 ppm, mientras que el carbono orgánico total es de aproximadamente 20 ppm (Herbert y Harold, 1991).

3.4 Variación espacial del agua de mar

Como se ha comentado previamente, muchas componentes varían en función de la ubicación, algunos desde el punto de vista global de latitud, mientras que otros varían desde el punto de vista del sector costero donde se encuentre.

La mayoría de los autores e investigadores de oceanografía, postulan que los parámetros y componentes del agua en los océanos se mantiene relativamente constante, en especial en la superficie; desde cierto punto de vista, la dilución que se produce por la transferencia de masa difusiva y convectiva en el agua oceánica, hace que los parámetros químicos permanezcan casi inalterados en cualquier punto de ubicación en un océano. Desde el punto de vista de las propiedades físicas, existen diferencias en algunos parámetros del agua oceánica en función de la profundidad, entre estos podemos destacar la presencia de oxígeno, luminosidad, temperatura, presión entre otros.

A nivel de variación de los componentes del agua en los mares costeros, es posible considerar la concentración de algunos componentes mayores, al igual que en los océanos, como relativamente constantes, sin embargo, la mayor parte de los parámetros tiende a ser afectados en mayor o menor medida por las condiciones locales de cada lugar.

3.5 Variación temporal del agua de mar

La variación de los componentes del agua de mar con respecto al tiempo es un fenómeno estacional, las propiedades físicas del agua presentan las variaciones más notorias, en particular, el parámetro físico más importante que presenta variación estacionales es la temperatura, la cual es fuertemente dependiente de la posición de la tierra respecto del sol. Otros parámetros que muestran variaciones significativas son la composición orgánica del agua, principalmente afectado por las migraciones de especies biológicas. Respecto de los elementos inorgánicos en el agua de mar, estos también presentan variaciones aunque estas tienden a ser menores, en este caso las variaciones se deben a la fluctuación en la evaporación del agua de mar en diferentes estaciones del año, es decir, son indirectamente dependientes de las variaciones en la temperatura.

Respecto de la variación de la temperatura, el SHOA cuenta con información histórica de la temperatura superficial del mar, la tabla 3.3 y figura 3.2 muestran información de Antofagasta (segunda región de Chile).

Tabla 3.3: Temperatura superficial del mar en Antofagasta (Shoa)

Mes	Año 2012			Promedio histórico
	TSM (°C) Mínima	TSM (°C) Máxima	TSM (°C) Promedio mensual	TSM (°C) Promedio histórico
Enero	16,4	23,4	20,2	20,5
Febrero	15,7	22,2	19,6	20,5
Marzo	15,2	21,8	18,9	19,9
Abril	15,6	21,6	18,8	18,2
Mayo	15,1	16,9	16,0	16,9
Junio	15,6	17,7	17,0	16,0
Julio	14,7	16,9	15,2	15,6
Agosto	14,5	16,0	15,4	15,5
Septiembre	14,3	16,7	15,5	16,0
Octubre	14,2	18,4	15,9	16,6
Noviembre	14,4	19,6	17,1	17,7
Diciembre	14,8	21,1	18,4	19,2

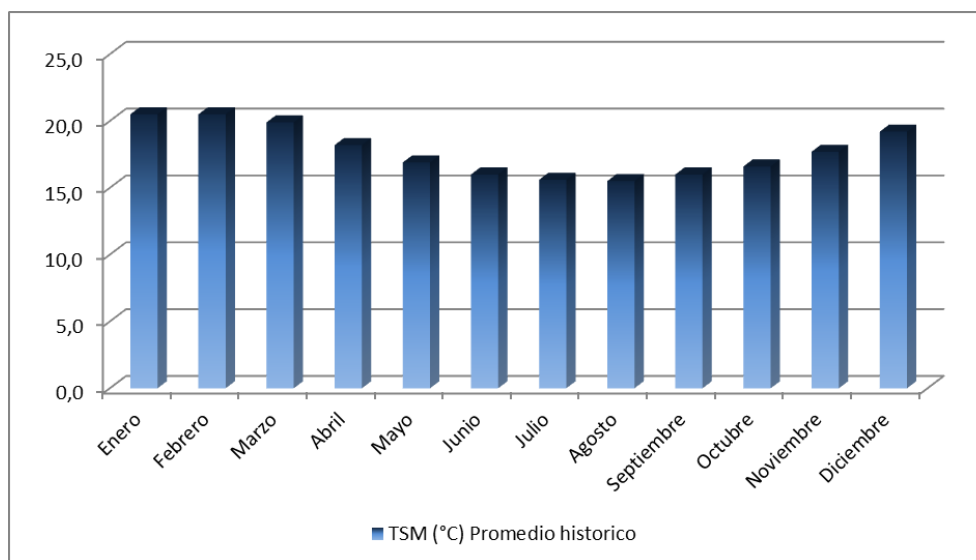


Figura 3.2: Promedio histórico de TSM para la ciudad de Antofagasta (Shoa)

4.0 DESARROLLO EXPERIMENTAL

El presente capítulo muestra en detalle el procedimiento experimental utilizado, junto con los equipos y técnicas de análisis involucradas en la determinación de resultados.

4.1 Enfoque global del estudio

El presente estudio se centra en identificar las interacciones del sistema “agua de mar – cal”, a modo de aproximación al objetivo planteado, el estudio pretende realizar pruebas de contacto y evaluar los efectos en el pH en función de la adición de cal.

El estudio considero una subdivisión de las actividades según lo expuesto a continuación:

- 4.1 Caracterización muestras de mineral para pruebas de contacto.
- 4.2 Caracterización muestras de concentrado para pruebas de contacto.
- 4.3 Caracterización de sistemas con agua de mar.
 - 4.3.1 Caracterización de sistemas: “agua de mar-cal”, “agua de mar-cal-mineral” y “agua de mar-cal-concentrado”.
 - 4.3.2 Efecto del almacenamiento del agua de mar y su impacto en los sistemas: “agua de mar-cal”, “agua de mar-cal-mineral” y “agua de mar-cal-concentrado”.
 - 4.3.3 Pretratamiento del agua de mar y su efecto en los sistemas: “agua de mar-cal”, “agua de mar-cal-mineral” y “agua de mar-cal-concentrado”.
- 4.4 Complementariedad uso de cal y metabisulfito de sodio.

La figura 4.1 muestra de forma esquemática la experimentación desarrollada en función del quiebre descrito y de los objetivos específicos planteados en este estudio.

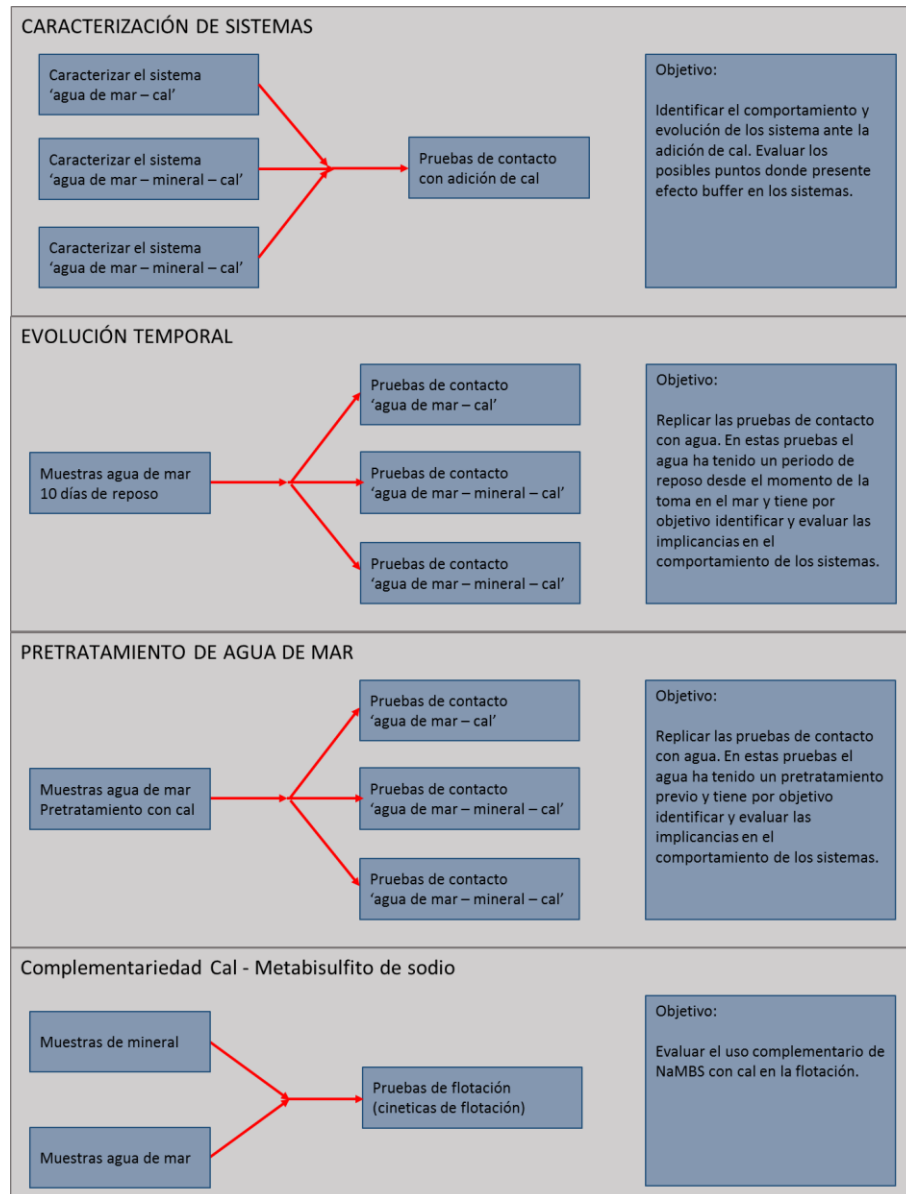


Figura 4.1: Esquema global experimental por objetivo

4.2 Caracterización de Muestras de Mineral para pruebas

4.2.1 Caracterización de Molienda

Para caracterizar el tiempo de molienda requerido de tal forma de obtener un tamaño característico P80 adecuado para las pruebas posteriores, se realizó un test de cinética de molienda a dos tiempos (5 y 10 minutos). Para ello:

- Se chancó el mineral hasta obtener 100% bajo #6, según norma ASTM. El material resultante se homogeneizó en el cortador rotatorio, extrayendo cachos opuestos para la posterior molienda.
- Se cargó el molino de barras con 1 [kg] de material homogeneizado, agregando agua hasta obtener un Cp de 70% (Para 1 [kg] de mineral corresponden 428,57 [g] de agua). Los tiempos de molienda fueron de 5 y 10 minutos. La distribución de carga de los medios de molienda fue la siguiente: 5 barras grandes (7021,15 [g]), 4 barras medias grandes (2511,10 [g]), 4 barras medias pequeñas (1755,75 [g]) y 18 barras pequeñas (4894,3 [g]).
- Se lavó el molino y se deslamó el mineral molido y húmedo con una malla #400 (ASTM). El grueso restante se dejó secar a baja temperatura durante un día.
- Finalmente, se tamizó el mineral grueso y seco en un ro – tap, obteniendo los P80 para ambos tiempos de molienda. Para este procedimiento se utilizó la siguiente serie de tamices: #8, #12, #20, #30, #50, #70, #100, #140, #200, #270, #325, #400.

4.2.2 Caracterización Composicional

Para obtener una caracterización composicional de las muestras minerales, se solicitó la realización de pruebas de Análisis Químico a “Metalquim Ltda.”, enfocándose específicamente en los contenidos de cobre, hierro y molibdeno.

4.3 Caracterización de Muestras de Concentrado para pruebas

4.3.1 Caracterización Granulométrica

La granulometría del concentrado utilizado fue determinada mediante un análisis de caracterización granulométrica. Para ello:

- Se seccionó el concentrado en submuestras representativas utilizando un cortador rotatorio y tomando los cachos contrarios de él, hasta obtener una muestra de aproximadamente 300 [g].
- Utilizando una malla #400 se deslamó la muestra de concentrado. El material grueso se secó a baja temperatura durante un día.
- Finalmente, se tamizó el concentrado grueso y seco en un ro – tap, obteniendo la caracterización granulométrica requerida y el P80 asociado. Para este procedimiento se utilizó la siguiente serie de tamices: #70, #100, #140, #200, #270, #325, #400.

4.3.2 Caracterización Composicional

Para obtener una caracterización composicional de las muestras de concentrado, se solicitó la realización de pruebas de Análisis Químico a “Metalquim Ltda.”, enfocándose específicamente en los contenidos de cobre, hierro y molibdeno.

4.4 Caracterización de sistemas con agua de mar

4.4.1 Caracterización de sistemas: “agua de mar-cal”, “agua de mar-cal-mineral” y “agua de mar-cal-concentrado”.

La caracterización de estos sistemas se realizó mediante pruebas contacto (Cinética de pH), en la cual se agrega dosifica cal al sistema y se evalúa a evolución del ph del sistema. Las etapas del protocolo utilizado es el siguiente.

- a) Preparación de muestras.
- b) Preparación de la lechada de cal.

-
- c) Pruebas de contacto (cinéticas de pH).
 - d) Determinación de Especies en Solución.

A. Preparación de Muestras

Previo a la realización de las pruebas de contacto (cinética de pH), se debió preparar la muestra a ser analizada y la lechada de cal. A continuación se detalla la preparación de cada uno de los casos en estudio.

Caso Agua de Mar sin Sólidos

En este caso, dado que el agua de mar no se combina con sólidos, bastó con añadir 500 [mL] de agua de mar a un vaso de precipitado. Dependiendo del caso en estudio, se utilizó agua de mar, agua de mar con pretratamiento o agua de mar con una semana de reposo.

Caso Agua de Mar + Mineral

Dado que las muestras de mineral se encontraban 100% bajo #6, lo primero que se realizó fue la molienda del mineral, utilizando el agua de mar requerida en cada caso como agua de proceso y como agua de lavado del molino. El proceso se describe a continuación:

- Moler el mineral (1 [kg]) utilizando el mismo proceso descrito en la sección 4.2.1, usando el agua de mar requerida en cada caso como agua de lavado y de proceso.
- Filtrar el mineral molido hasta extraer la mayor cantidad de agua.
- Masar el mineral molido con el agua remanente, para así determinar la masa de agua.
- En un vaso precipitado añadir 500 [ml] de agua de mar específica de cada caso.
- Realizar extracciones equitativas de mineral hasta completar una masa tal que junto a los 500 [ml] de agua de mar entreguen un Cp de 20% (125 g de sólido).

Caso Agua de Mar + Concentrado

En los casos con presencia de sólidos se buscó alcanzar un Cp de 20%, por lo que la preparación de las muestras consideró la adición de un volumen de 500 [mL] de agua de mar (según el caso en estudio) y el concentrado requerido para obtener la concentración de sólidos en peso deseada.

B. Preparación de la lechada de cal

La lechada de cal (principal depresante de pirita para flotación de minerales de cobre) fue el reactivo utilizado para levantar el pH del agua mar. A continuación, se muestran el protocolo utilizado para preparar lechada de cal al 10% utilizando 1 [g] de cal:

- Utilizando cal con un 96% de pureza, añadir 1 [g] a un vaso precipitado.
- Para obtener un 3% de sólidos en la lechada, se deben añadir 32,33 [g] de agua, equivalentes a 31,89 [mL] (considerando que la densidad medida fue de 1,014 [g/cm³]).
- Agitar la mezcla en forma constante para mantener la homogeneidad requerida.

C. Pruebas de contacto (cinéticas de pH)

Para cada una de los sistemas a analizar, se preparó una muestra según lo indicado anteriormente. Luego, se obtuvo la cinética de pH aplicando el siguiente protocolo:

- Preparar el pHmetro para la medición continua del pH y posicionar la muestra contenida en un vaso de precipitado en el agitador magnético para mantener el material constantemente en suspensión.
- Contabilizar el tiempo 0 y añadir 0,5 [mL] de lechada de cal al 10% cada 30 [s].
- Registrar el pH cada 15 segundos, generando un gráfico de la cinética en forma simultánea a la realización de la prueba.
- Detener la prueba cuando se detecte que el pH ya no está aumentando (aproximadamente en 1,5 horas).

-
- Dejar reposar la muestra y una vez que haya precipitado el sólido, decantar el líquido cuidadosamente.
 - Secar durante 24 horas a temperatura media y recuperar el precipitado.

D. Determinación de Especies en Solución

Para determinar la concentración de Ca y Mg^{+2} en solución primero se debe determinar la concentración conjunta de ambas especies y luego determinar la de una de ellas, obteniéndose así ambas concentraciones requeridas.

Preparación de Muestras

El protocolo utilizado considera el uso de muestras líquidas, es decir, se evalúan los líquidos obtenidos para cada uno de los casos en estudio. En el caso de las muestras contenedoras de sólidos (concentrado y mineral), para obtener los líquidos se realizaron los siguientes pasos:

- Preparar las muestras según lo expuesto en la sección 4.4.1.
- Posicionar un papel filtro en el embudo Büchner y colocarlo sobre el kitasato que recepcionará el líquido.
- Conectar el kitasato a la bomba de vacío y encender el sistema de vacío.
- Añadir suavemente la pulpa sobre el embudo hasta obtener una cantidad líquido cercana a 300 [mL].
- Desconectar el sistema de vacío y trasvasiar el líquido desde el kitasato a un vaso de precipitado.

Determinación de Ca^{+2} y Mg^{+2} en Solución

Para determinar la concentración conjunta de Ca^{+2} y Mg^{+2} se realizaron los siguientes pasos:

- Colocar en un Erlenmeyer de 250 [mL] la muestra diluida al 10%.

-
- Añadir 1 [mL] de HCl 1 M y comprobar utilizando papel indicador que la disolución es ácida, con un pH inferior a 4.
 - Llevar a ebullición suave la muestra para eliminar los carbonatos en forma de CO₂. Una pizca de papel indicador durante el proceso debe mostrar que el pH no es superior a 4. En caso contrario, añadir un par de gotas más de HCl 1 M.
 - Enfriar la disolución, colocando el Erlenmeyer bajo el agua de la llave. Después, neutralizar la disolución con unas gotas de NaOH 1 M hasta que el papel indicador muestre que el pH es próximo a la neutralidad.
 - Añadir 2 [mL] de disolución amortiguadora de pH 10, 1 [mL] de disolución de Mg⁺² 0,01 M y una punta de espátula de la mezcla de indicador negro de ericromo T con NaCl (no superior en tamaño a un grano de arroz).
 - Valorar la muestra con EDTA 0,02 M hasta que la solución presente un cambio de color permanente desde rojo – rosado a azul.

Determinación de Ca⁺² en solución

Para determinar la concentración de Ca en solución se realizaron los siguientes pasos:

- Colocar en un Erlenmeyer de 250 [mL] la muestra diluida al 10%.
- Añadir 1 [mL] de HCl 1 M y comprobar utilizando papel indicador que la disolución es ácida, con un pH inferior a 4.
- Llevar a ebullición suave la muestra para eliminar los carbonatos en forma de CO₂. Una sección de papel indicador debe exhibir durante el proceso que el pH no es superior a 4.
- Enfriar la disolución, colocando el Erlenmeyer bajo el agua de la llave. Después, neutralizar la disolución con unas gotas de NaOH 1 M hasta que el papel indicador muestre que el pH es próximo a la neutralidad.
- Añadir de 2 a 3 [mL] de disolución 1 M de NaOH y comprobar con una pizca de papel indicador que el pH está en torno a 12, en caso contrario añadir otro mililitro de disolución 1 M de NaOH. Después, añadir una punta de espátula de la mezcla de indicador murexida en NaCl.
- Valorar la muestra con EDTA 0,02 M hasta que la solución presente un cambio de color permanente desde rosado hasta violeta.

4.4.2 Efecto del almacenamiento del agua de mar y su impacto en los sistemas: “agua de mar-cal”, “agua de mar-cal-mineral” y “agua de mar-cal-concentrado”.

La caracterización de estos sistemas se realizó mediante pruebas contacto (Cinética de pH), según lo expuesto en la sección 4.4.1, agregando una etapa previa de preparación de la muestra de agua de mar. Las etapas del protocolo utilizado es el siguiente.

- a) Preparación de muestra de agua de mar.
- b) Preparación de muestras.
- c) Preparación de la lechada de cal.
- d) Pruebas de contacto (cinéticas de pH).
- e) Determinación de Especies en Solución.

A. Preparación de muestra de agua de mar

La preparación de las muestras de agua de mar consistió en agua de mar almacenada en recipientes plásticos cerrados sin exposición a la luz solar por un periodo de 10 días previo a la prueba de contacto.

4.4.3 Pretratamiento del agua de mar y su efecto en los sistemas: “agua de mar-cal”, “agua de mar-cal-mineral” y “agua de mar-cal-concentrado”

La caracterización de estos sistemas se realizó mediante pruebas contacto (Cinética de pH), según lo expuesto en la sección 4.4.1, agregando una etapa previa de pretratamiento a la muestra de agua de mar. Las etapas del protocolo utilizado es el siguiente.

- a) Pretratamiento de muestra de agua de mar.
- b) Preparación de muestras.
- c) Preparación de la lechada de cal.
- d) Pruebas de contacto (cinéticas de pH).
- e) Determinación de Especies en Solución.

A. Pretratamiento de muestra de agua de mar

La idea central del pretratamiento del agua de mar consiste en saturar el sistema líquido en forma anticipada, pudiendo así levantar el pH en forma más rápida (generar un desplazamiento en la cinética del pH), por lo que se debe conocer la cantidad adecuada de lechada de cal a añadir. Por este motivo, el pretratamiento del agua de mar para cada uno de los casos (agua de mar, agua de mar + mineral y agua de mar + concentrado) se debió realizar después de las mismas pruebas con agua de mar fresca. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Obtener la cinética de pH con agua de mar fresca, para cada uno de los casos en estudio.
- De acuerdo a la cinética obtenida, seleccionar la cantidad de lechada de cal a añadir (0,58 g de cal/l aplicado en para esta prueba).
- En un vaso de precipitado de 500 [mL] añadir el agua de mar y la cantidad correspondiente de lechada de cal. Agitar el sistema durante 2 horas aproximadamente, monitoreando la evolución y estabilización del pH hasta alcanzar estabilidad en el valor de pH.
- Proceder con la prueba de contacto (cinética de pH).

4.5 Complementariedad uso de cal y metabisulfito de sodio

Las pruebas de complementariedad de uso de cal y metabisulfito de sodio (NaMBS) consisten en la realización de pruebas cinéticas de flotación utilizando diferentes concentraciones de los diferentes reactivos. Estas pruebas fueron desarrolladas de forma íntegra en dependencias de un laboratorio externo.

4.6 Equipo Experimental

A continuación se muestra un detalle de los equipos, instrumentos y materiales utilizados en las distintas pruebas experimentales realizadas.

4.6.1 Materiales pruebas de contacto (Cinética de pH)

Para realizar la cinética de pH se ejecutó el dopaje de diversas soluciones agitadas con lechada de cal, evaluando así la evolución del pH en el tiempo. Para esto, se contó con los siguientes materiales y equipos:

Vasos de Precipitado

Se contó con vasos de precipitado de diversas capacidades para almacenar soluciones tales como la lechada de cal, el agua de mar en pretratamiento y las soluciones para la caracterización de la cinética de pH.

Agitador Magnético

La utilización de agitadores magnéticos y de los respectivos “pescados” permitió mantener las soluciones en agitación constante, homogeneizando los sistemas involucrados en el estudio.

Pipetas Aforadas

El uso de pipetas, propipetas y micro pipetas fue fundamental para la adición de precisas dosis de lechada de cal durante la ejecución de la cinética de molienda.

Cal

La cal fue utilizada para la obtención de lechada de cal, correspondiente al reactivo utilizado para hacer subir el pH durante las pruebas de cinética.

Balanza

La balanza fue utilizada para tener medidas controladas de los reactivos, minerales y concentrados a utilizar.

Estufa

La estufa se utilizó para secar los precipitados obtenidos en cada una de las pruebas de cinética de pH, para poder realizar una caracterización posterior de ellos.

pHmetro

Para evaluar la evolución del pH en el tiempo se utilizó un pHmetro.

4.6.2 Materiales Determinación de Iones en Solución

Para determinar la concentración de los iones en solución se realizó un proceso de valoración con EDTA. Para ello, se contó con los siguientes materiales:

Materiales Volumétricos

Para poder almacenar y manejar los distintos reactivos utilizados durante la ejecución del protocolo se contó con matraces aforados (100, 200, 250 y 1000 [mL]), pipetas aforadas (1, 5, 10, 15 y 25 [mL]) y buretas (50 [mL]).

Reactivos

Los siguientes reactivos fueron requeridos para obtener los reactivos necesarios para realizar las valoraciones y obtención de iones de calcio y magnesio en solución:

- EDTA, sal disódica dihidrato, $C_{10}H_{14}Na_2O_8 \cdot 2H_2O$.
- Negro de ericromo T, $C_{20}H_{12}N_3NaO_7S$.
- Murexida, $C_8H_8N_6O_6$.
- Cloruro de sodio, NaCl.
- Amoníaco, NH_3 .
- Nitrato de amonio, NH_4NO_3 .
- Hidróxido de sodio, NaOH.
- Ácido clorhídrico, HCl.
- Cloruro de manesio hexahidratado, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$.
- Agua desionizada.

Agitador Magnético

Al igual que en el caso de la cinética de pH, los agitadores magnéticos permitieron mantener las soluciones en agitación constante.

Balanza Analítica

La balanza analítica fue utilizada para la preparación de los reactivos requeridos para el análisis de valoración con EDTA.

Materiales Adicionales

Adicional a los materiales y reactivos nombrados anteriormente, se utilizaron vasos de precipitado, frascos de polietileno, bomba de vacío, papel filtro, embudo Büchner, kitsatos y papel indicador de pH.

5.0 RESULTADOS

5.1 Caracterización de muestras de mineral para pruebas

5.1.1 Granulometría muestra de mineral

La muestra de mineral utilizada en el estudio, fue molida de acuerdo a lo indicado en el procedimiento experimental. La tabla 5.1 y figura 5.1 muestran la curva granulométrica obtenida.

Tabla 5.1: Curva granulométrica muestra de mineral

4 kg. 10 min molienda		Mineral retenido		Acumulado Bajo tamaño F _u [%]
Malla	Tamaño [mm]	Peso [g]	f _i [%]	
8	2360	0,2	0,07	99,93
12	1700	0,2	0,07	99,87
20	850	0,7	0,23	99,63
30	600	4,3	1,43	98,20
50	300	28,2	9,41	88,79
70	212	23,30	7,77	81,02
100	150	23,30	7,77	73,25
140	106	31,70	10,57	62,68
200	75	51,60	17,21	45,46
270	53	54,30	18,11	27,35
325	45	30,40	10,14	17,21
400	38	11,40	3,80	13,41
-400	0	40,20	13,41	0,00
Peso Medido [g]		299,80		
Peso Inicial [g]		300		
Pérdida [%]		0,07		

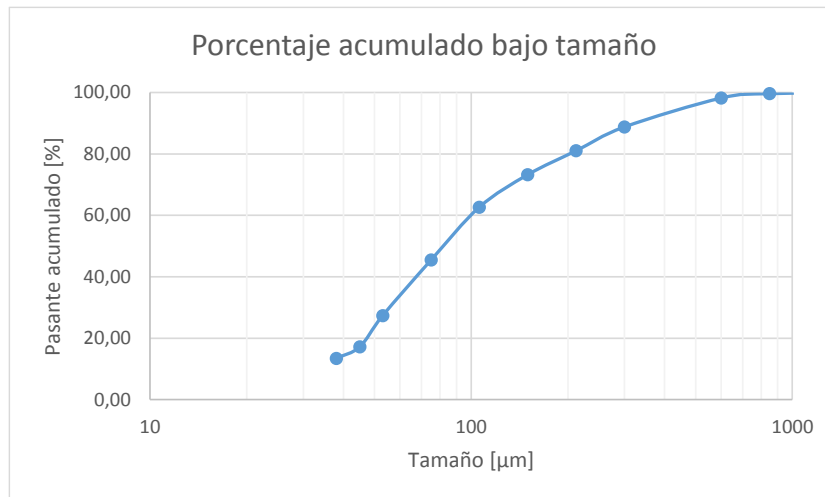


Figura 5.1: Curva granulométrica muestra de mineral

5.1.2 Caracterización composicional muestra de mineral

La tabla 5.2 muestra los resultados del análisis químico realizado a la muestra de mineral.

Tabla 5.2: Análisis químico muestra de mineral

Muestra Mineral	Cu %	Fe %	Mo %
Mineral AQ1	0.463	0.760	0.029
Mineral AQ2 (duplicado)	0.442	0.749	0.021

5.2 Caracterización de muestras de concentrado para pruebas

5.2.1 Granulometría muestra de concentrado para pruebas de contacto

La muestra de concentrado utilizada en el estudio, fue tamizada para establecer su curva granulométrica. La tabla 5.3 y figura 5.2 siguientes muestran la curva granulométrica obtenida.

Tabla 5.3: Curva granulométrica muestra de concentrado

Concentrado		Concentrado retenido		Acumulado Bajo tamaño F _u [%]
Malla	Tamaño [mm]	Peso [g]	f _i [%]	
		-	-	100,00
70	212	2,00	0,64	99,36
100	150	2,60	0,84	98,52
140	106	12,60	4,06	94,46
200	75	30,20	9,73	84,72
270	53	66,00	21,27	63,45
325	45	21,20	6,83	56,62
400	38	24,30	7,83	48,79
-400	-38	151,40	48,79	-
Suma =		310,30	100	
Peso Inicial (g)		310,3		
Pérdidas (%)		0,00		

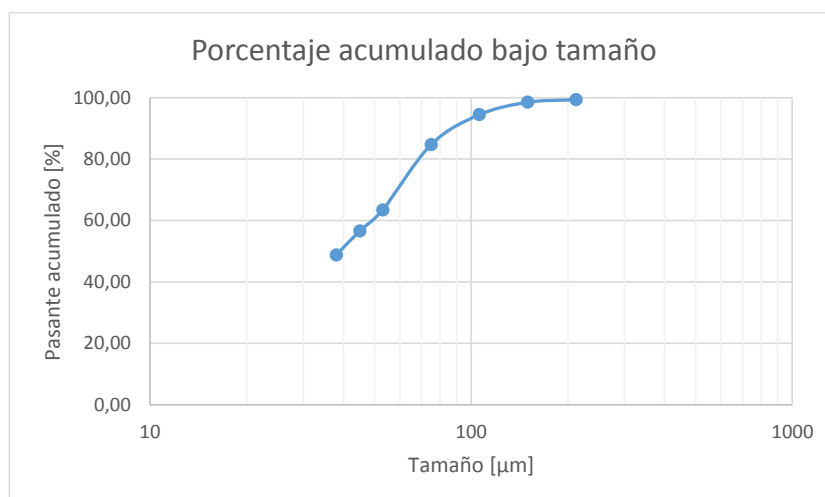


Figura 5.2: Curva granulométrica muestra de concentrado

5.2.2 Caracterización composicional muestra de mineral

La tabla 5.4 muestra los resultados del análisis químico realizado a la muestra de concentrado.

Tabla 5.4: Análisis químico muestra de concentrado

Muestra Concentrado	Cu %	Fe %	Mo %
Concentrado AQ1	26.45	22.77	0.040
Concentrado AQ2 (duplicado)	26.34	22.79	0.035

5.3 Caracterización de sistemas con agua de mar

Para caracterizar los sistemas con agua de mar se realizaron pruebas de contacto, las que consisten en agregar gradualmente lechada de cal al agua para aumentar el pH, la idea fundamental de estas pruebas es identificar el comportamiento del sistema y en particular como se produce el aumento de pH, el cual según los antecedentes recopilados no tiene la misma forma típica de los sistemas agua dulce y cal como se mencionó en capítulos anteriores.

Los resultados de las pruebas de contacto se muestran de forma gráfica:

- pH vs lechada de cal: estos gráficos permiten visualizar el consumo de lechada de cal en unidades de volumen (eje y) para alcanzar un pH determinado (eje x).
- pH vs masa de cal: estos gráficos permiten visualizar el consumo de CaO en unidades de masa (eje y) para alcanzar un pH determinado (eje x).
- pH vs consumo unitario: estos gráficos permiten visualizar el consumo unitario de CaO en unidades de masa por litro de agua de mar (eje y) para alcanzar un pH determinado (eje x).

5.3.1 Resultados de pruebas de contacto para sistemas “agua de mar-cal”

Las figuras 5.3, 5.4 y 5.5 muestran las curvas obtenidas para las pruebas de contacto agua de mar – cal.

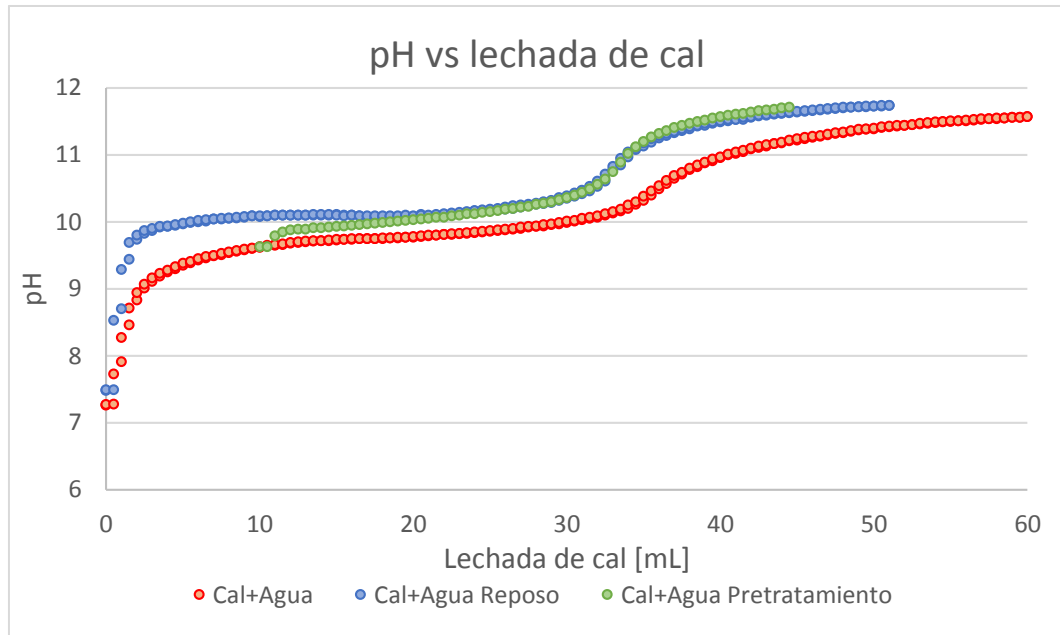


Figura 5.3: Lechada de cal vs pH pruebas “Cal-agua de mar”

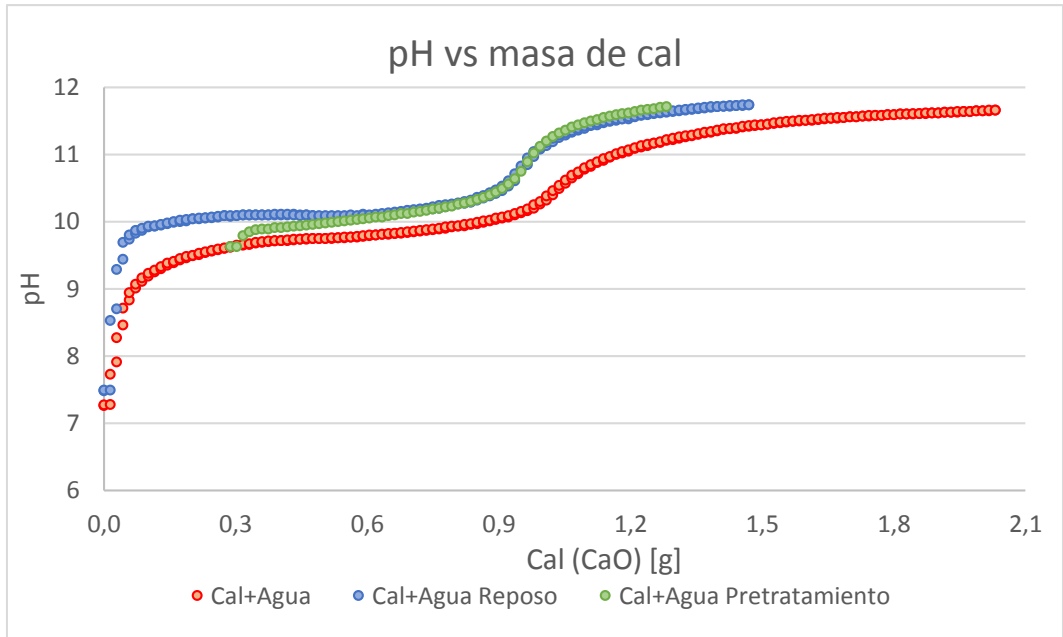


Figura 5.4: Cal vs pH pruebas “Cal-agua de mar”

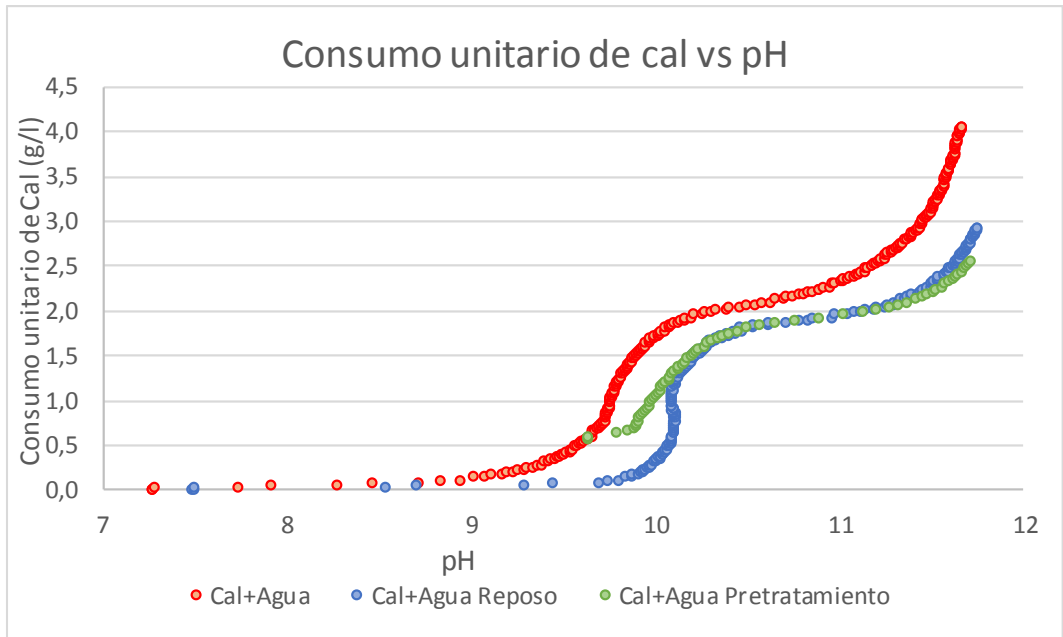


Figura 5.5: pH vs consumo unitario de cal “Cal-agua de mar”

5.3.2 Resultados de pruebas de contacto para sistemas “agua de mar-cal-mineral”

Las figuras 5.6, 5.7 y 5.8 muestran las curvas obtenidas para las pruebas de contacto agua de mar – cal – mineral.

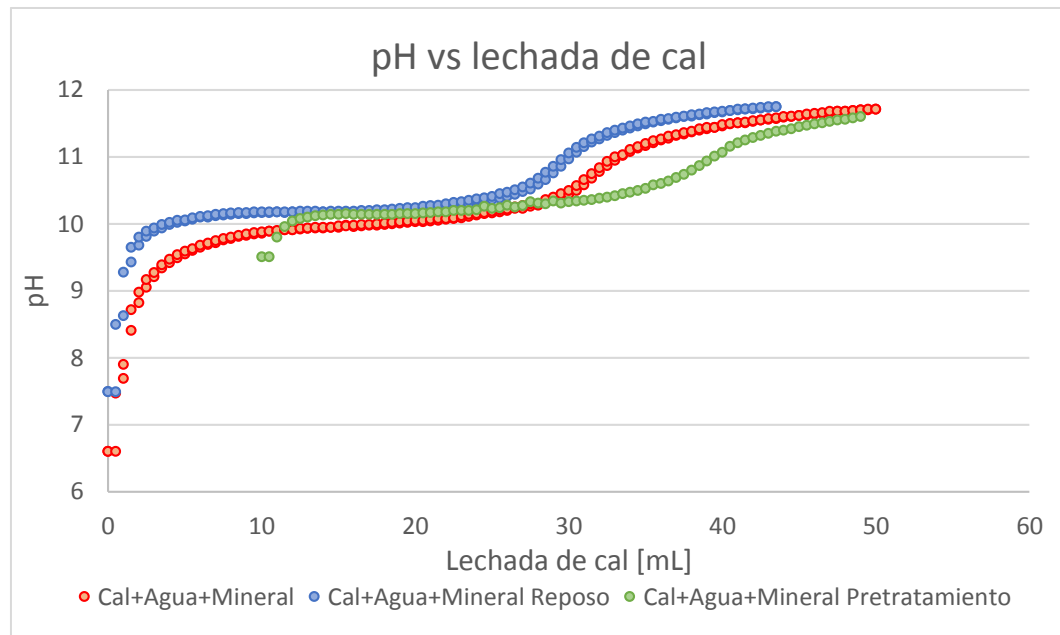


Figura 5.6: Lechada de cal vs pH pruebas “Cal-agua de mar-mineral”

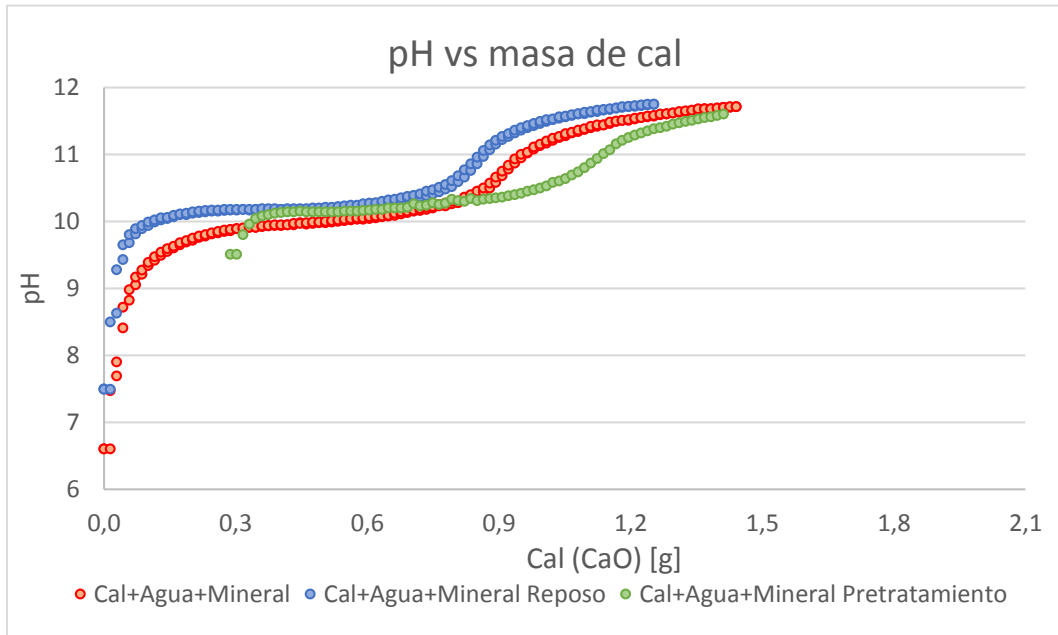


Figura 5.7: Cal vs pH pruebas “Cal-agua de mar-mineral”

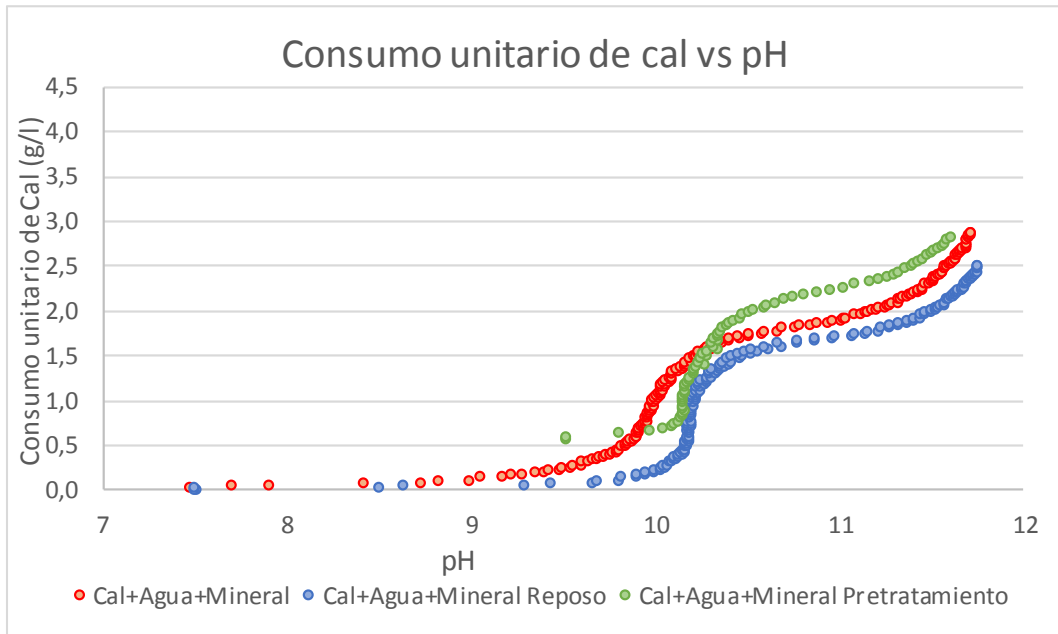


Figura 5.8: pH vs consumo unitario de cal “Cal-agua de mar-mineral”

5.3.3 Resultados de pruebas de contacto para sistemas “agua de mar-cal-concentrado”

Las figuras 5.9, 5.10 y 5.11 muestran las curvas obtenidas para las pruebas de contacto agua de mar – cal – concentrado.

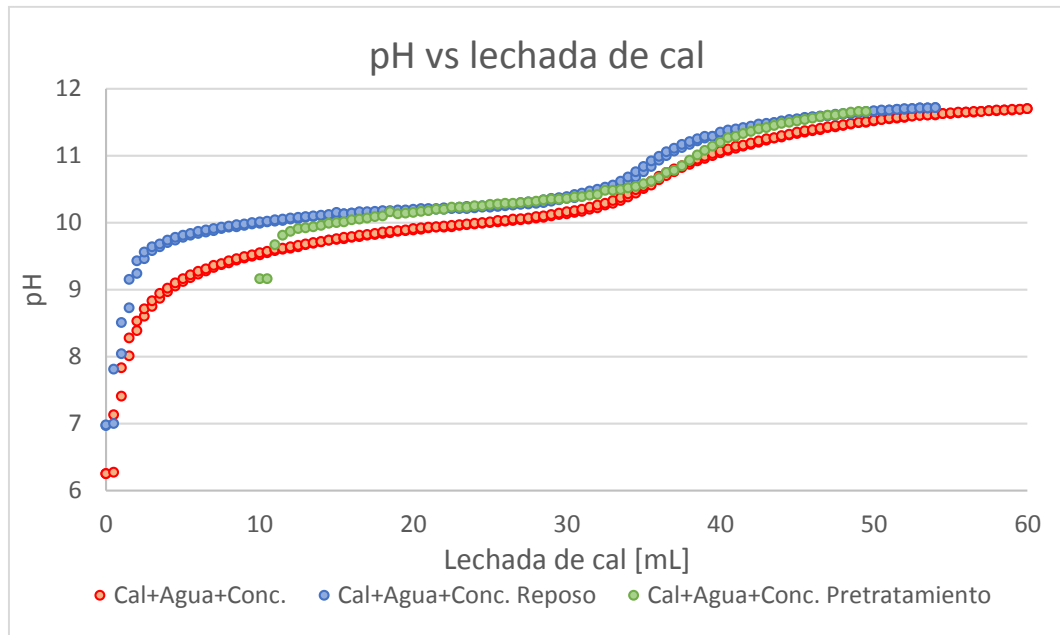


Figura 5.9: Lechada de cal vs pH pruebas “Cal-agua de mar-concentrado”

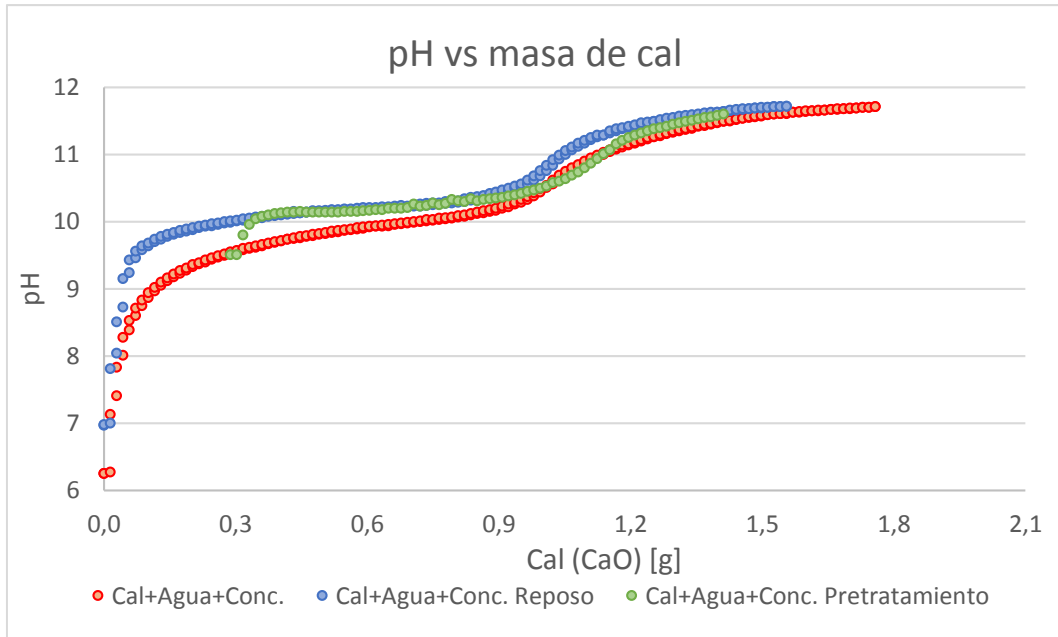


Figura 5.10: Cal vs pH pruebas “Cal-agua de mar-concentrado”

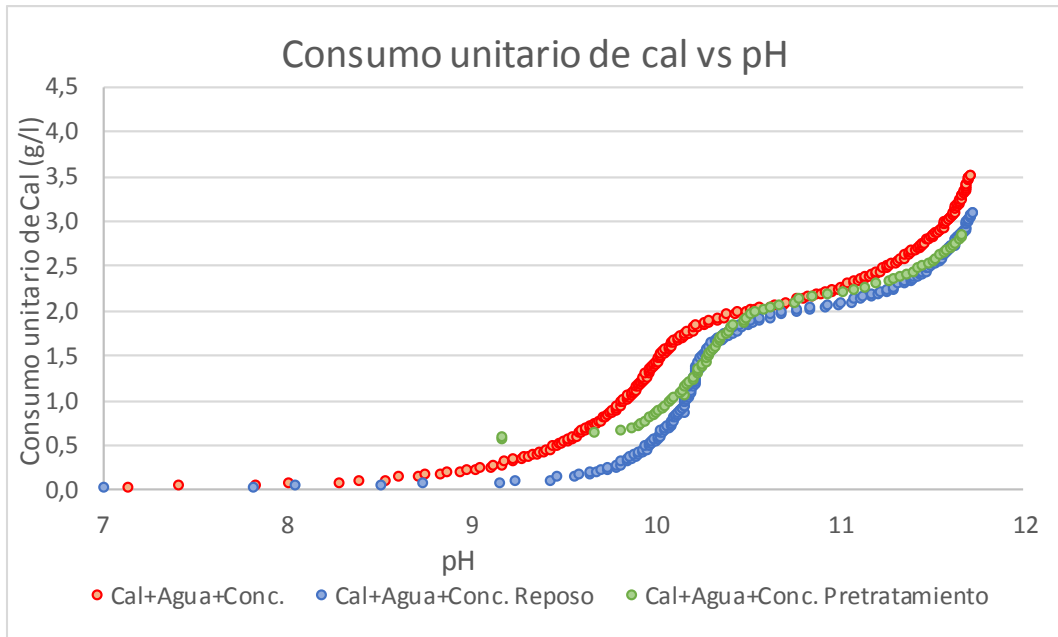


Figura 5.11: pH vs consumo unitario de cal “Cal-agua de mar-concentrado”

5.3.4 Caracterización y comparación de sistemas “agua de mar-cal”, “agua de mar-cal-mineral” y “agua de mar-cal-concentrado”

La figura 5.12 muestra un gráfico comparativo de las curvas de los tres (3) sistemas estudiados.

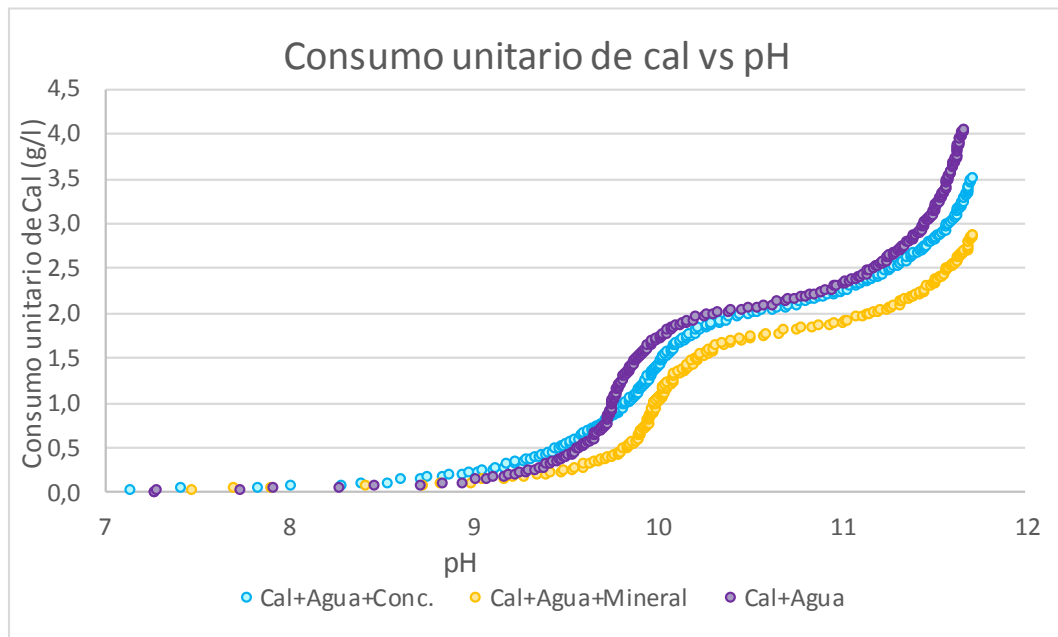


Figura 5.12: Comparación de sistemas

Los resultados de las pruebas de contacto presentaron un desarrollo de acuerdo a lo planificado, verificándose tres (3) zonas o etapas en el sistema, una zona de aumento en el valor de pH al aumentar la adición de lechada de cal, una meseta donde el aumento en la cantidad de cal no produce aumento importante en el valor de pH y finalmente, posterior a la meseta, un nuevo aumento del valor de pH en respuesta a una mayor adición de cal. Este comportamiento es consistente con lo descrito en bibliografía y que es denominado “efecto buffer”.

Al comparar los resultados entre los tres (3) sistemas (“agua de mar-cal”, “agua de mar-cal-mineral” y “agua de mar-cal-concentrado”), se aprecia una diferencia en el valor del pH en el cual se produce la meseta y la extensión de la misma, siendo en algunos casos una meseta muy marcada, con nulo aumento de pH (“agua de mar-cal”) y en otros mucho menos marcada aunque claramente perceptible (“agua de mar-cal-

concentrado”), esta diferencia puede deberse a que en el sistema “agua de mar-cal” los elementos que generan el “efecto buffer” presentes en el agua de mar solo pueden reaccionar con la cal adicionada, mientras que en el sistema “agua de mar-cal-mineral” estos mismos elementos, además reaccionan con la superficie de los sólidos dejando una concentración menor para la reacción con el agua de mar, en el caso del sistema “agua de mar-cal-concentrado”, el resultado es un intermedio que puede atribuirse a una saturación de la superficie debido al proceso de concentración que paso anteriormente de ser tomada la muestra.

La tabla 5.5 muestra la característica de la meseta encontrada en los diferentes casos.

Tabla 5.5: Valor de pH y consumos de cal en la meseta para los 3 sistemas

Sistema	pH meseta	Consumo de cal meseta (g cal/lit)
Agua de Mar - Cal	9,6	0,5 - 2,0
Agua de Mar - Cal - Mineral	9,9	0,5 - 1,6
Agua de Mar - Cal - Concentrado	9,7	0,7 - 1,7

Dado el interés del uso de cal en la flotación, se monitorearon los consumos unitarios de cal para alcanzar valores típicos de pH de flotación, los que se muestran en la tabla 5.6.

Tabla 5.6: Consumo unitario de cal para diferentes valores de pH

Sistema	Consumo de cal (g cal/lit)		
	pH 10,5	pH 11,0	pH 11,5
Agua de Mar - Cal	2,07	2,33	3,14
Agua de Mar - Cal - Mineral	1,73	1,90	2,33
Agua de Mar - Cal - Concentrado	2,00	2,28	2,82

Finalmente, se monitoreo la concentración de magnesio (Mg^{+2}) en el agua, para ello se midió la concentración de Mg^{+2} en la muestra de agua fresca como blanco y en una muestra del agua en la meseta de la curva (en dos puntos de la meseta). La tabla 5.7 muestra la concentración de Mg^{+2} en los puntos descritos.

Tabla 5.7: Concentración de Mg²⁺

Sistema	Consumo de cal (g cal/lit)	Concentración Mg ²⁺ (mg/L)
Blanco (agua de mar)	0	1,186
Agua de Mar - Cal	0,86	919
	2,31	582
Agua de Mar - Cal - Mineral	0,86	508
	2,31	271
Agua de Mar - Cal - Concentrado	0,86	333
	2,31	43

La tabla anterior, muestra como durante las pruebas de contacto, la cantidad de iones Mg²⁺ va decayendo de forma inversa a la adición de cal, esto corrobora los antecedentes bibliográficos que indican a las reacciones entre los iones Mg²⁺ y la cal como parcialmente responsables del “efecto buffer”. Al comparar la concentración de iones Mg²⁺ entre los tres (3) sistemas estudiados, se aprecian diferencias relevantes entre los valores obtenidos, esta diferencia podría ser generada por reacciones (no estudiadas en este trabajo) entre los iones Mg²⁺ y la superficie de los sólidos (mineral y concentrado).

5.3.5 Caracterización de sistemas: “agua de mar-cal”, “agua de mar-cal-mineral” y “agua de mar-cal-concentrado” considerando reposo del agua de mar

La figura 5.13 muestra un gráfico comparativo de las curvas de los tres (3) sistemas estudiados, aplicando un tiempo de reposo de 10 días al agua de mar, entre la fecha de toma de las muestras de agua de mar y la realización de las pruebas.

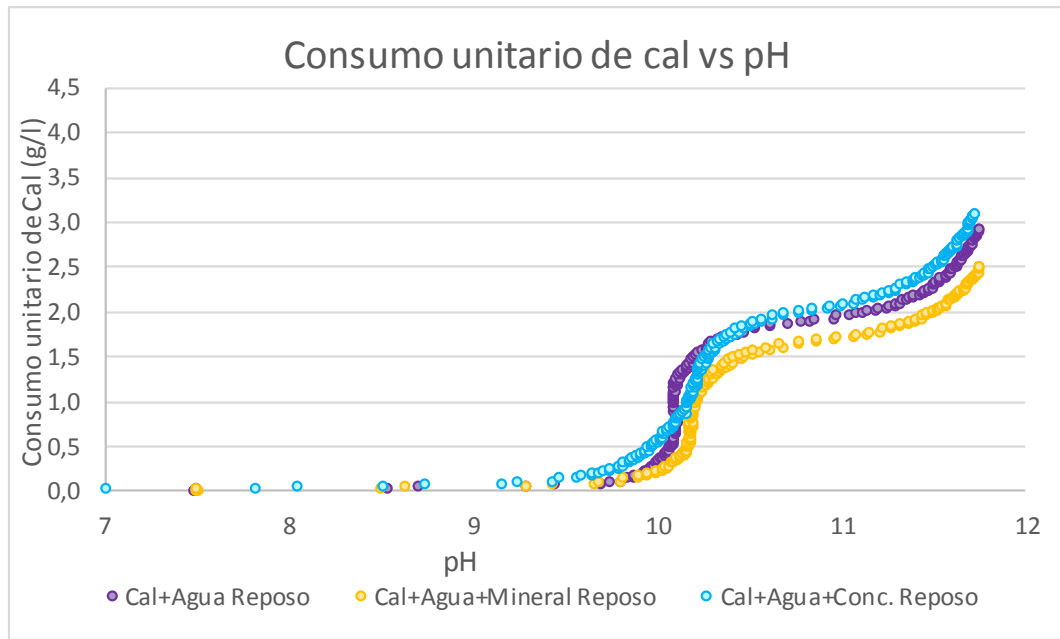


Figura 5.13: Comparación de sistemas aplicando reposo al agua de mar

Los resultados de estas pruebas de contacto considerando un periodo de reposo para el agua de mar, presentaron un comportamiento similar a las primeras pruebas realizadas, sin embargo se apreció una variación en los valores de pH a los que se producen las mesetas y la extensión de ellas. En términos generales, se pudo observar que los valores pH en los que se produce la meseta son mayores a los obtenidos en las pruebas que no consideraban reposo. Además, se pudo observar que la cantidad de cal adicionada para llegar a la meseta es menor que la utilizada en las primeras pruebas (sin reposo) para los sistemas agua de mar-cal” y “agua de mar-cal-mineral”, mientras que para el sistema “agua de mar-cal-concentrado” no se apreció variación. La tabla 5.8 muestra la característica de la meseta encontrada considerando reposo en el agua de mar.

Tabla 5.8: Valor de pH y consumos de cal en la meseta para los 3 sistemas considerando reposo al agua de mar utilizada

Sistema	pH meseta	Consumo de cal meseta (g cal/l)
Agua de Mar - Cal	10,1	0,5 - 1,5
Agua de Mar - Cal - Mineral	10,3	0,4 - 1,3
Agua de Mar - Cal - Concentrado	10,1	0,7 - 1,7

Respecto de los consumos unitarios de cal para alcanzar valores típicos de pH de flotación, se aprecia una clara disminución respecto de la cal utilizada en las pruebas sin considerar reposo, lo que evidencia cambios en las características del agua durante el periodo de reposo que benefician un menor consumo de cal. La tabla 5.9 muestra los consumos unitarios de cal para alcanzar valores típicos de pH de flotación aplicando reposo.

Tabla 5.9: Consumo unitario de cal para diferentes valores de pH considerando reposo al agua de mar utilizada

Sistema	Consumo de cal (g cal/lit)		
	pH 10,5	pH 11,0	pH 11,5
Agua de Mar - Cal	1,80	1,96	2,31
Agua de Mar - Cal - Mineral	1,53	1,73	2,02
Agua de Mar - Cal - Concentrado	1,84	2,10	2,54

Al revisar las concentraciones de los iones Mg^{+2} , se aprecia el mismo efecto que para las pruebas de contacto sin reposo. La tabla 5.10 muestra la concentración de Mg^{+2} para la prueba con reposo en el agua de mar.

Tabla 5.10: Concentración de Mg^{+2} considerando reposo al agua de mar utilizada

Sistema	Consumo de cal (g cal/lit)	Concentración Mg^{+2} (mg/L)
Blanco (agua de mar con reposo)	0	1,254
Agua de Mar - Cal	0,86	788
	2,31	699
Agua de Mar - Cal - Mineral	0,86	632
	2,31	291
Agua de Mar - Cal - Concentrado	0,86	486
	2,31	40

Es importante considerar que industrialmente las plantas concentradoras poseen reservorios con tiempos de residencia del orden de 24 horas, por lo que un reservorio para 7 días o más, involucra inversiones de capital relevantes. La conveniencia de proveer un tiempo de reposo de 10 días dependerá de un análisis económico entre el ahorro en costo por consumo de cal vs el costo de inversión diferencia de una piscina para los 10 días de residencia, a su vez este análisis dependerá fuertemente de las

características de la faena (capacidad de tratamiento, pH de flotación, etc), de los parámetros económicos involucrados en la evaluación (Costo de la cal, tiempo de vida definido, tasa de descuento para las inversiones, etc) y de las características del reservorio a implementar (área disponible, tipo de suelo y cantidad de roca para el caso de una piscina).

Aplicando un análisis sencillo, es posible apreciar que el ahorro de cal aumentando el reposo a 10 días no es económicamente favorable. Si se considera que a modo de ejemplo que por cada 1.000 tpd de capacidad de tratamiento es necesario proveer del orden de 600 m³ para obtener 1 día de tiempo de residencia, el equivalente para 10 días será 6.000 m³, si además consideramos un consumo de cal de entre 1,0 t/d con un costo de cal 180 USD/t, el costo anual de cal estará en torno a 65.000 USD/a, donde el ahorro por aplicar el reposo del agua de mar de 10 días será del orden de 20% (es decir 13.000 USD/a), mientras que el costo de un reservorio de 6.000 m³ es del orden de 2 a 3 MUSD.

5.3.6 Comparación sistema: “agua de mar-cal”, “agua de mar-cal-mineral” y “agua de mar-cal-concentrado” considerando pretratamiento del agua de mar

La figura 5.14 muestra un gráfico comparativo de las curvas de los tres (3) sistemas estudiados, aplicando pretratamiento al agua de mar utilizada.

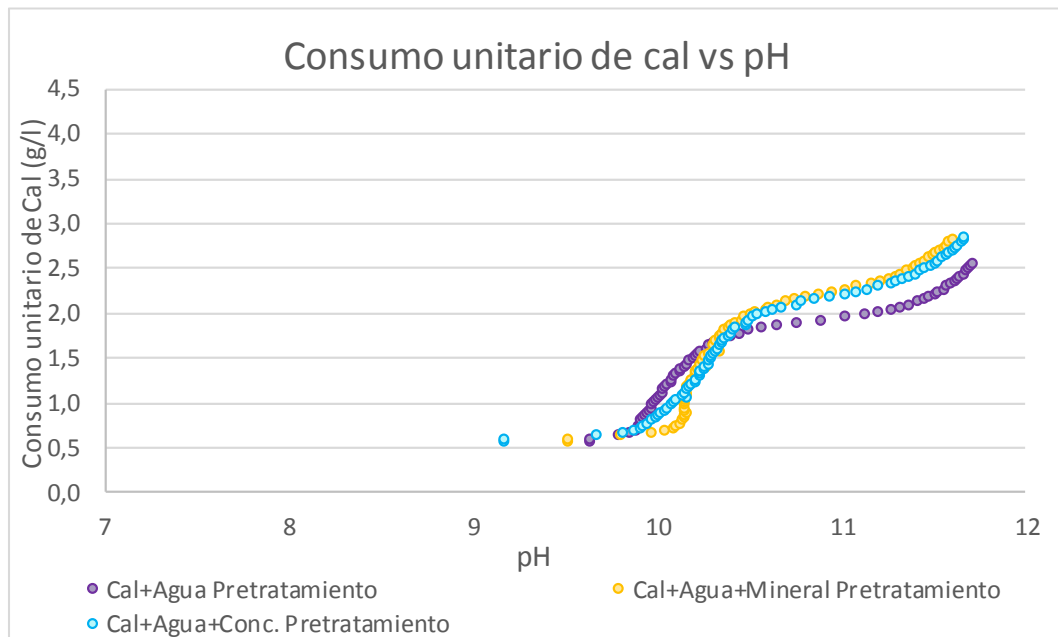


Figura 5.14: Comparación de sistemas aplicando pretratamiento al agua de mar

Los resultados de las pruebas de contacto considerando pretratamiento al agua de mar presentaron un comportamiento similar a las demás pruebas de contacto realizadas, en este caso, también se apreció una variación en los valores de pH a los que se producen las mesetas y la extensión de ellas. Al igual que en las pruebas que consideraron reposo al agua de mar, se pudo observar que los valores pH en los que se produce la meseta son mayores a los obtenidos en las pruebas que no consideraban reposo ni pretratamiento al agua de mar. Además, también se pudo observar que la cantidad de cal adicionada para alcanzar la meseta es menor que la utilizada en las primeras pruebas (sin reposo del agua y sin pretratamiento) para los sistemas agua de mar-cal” y “agua de mar-cal-mineral”, mientras que el sistema “agua de mar-cal-concentrado” no se apreció variación. La tabla 5.11 muestra la característica de la meseta encontrada considerando pretratamiento en el agua de mar.

Tabla 5.11: Valor de pH y consumos de cal en la meseta para los 3 sistemas considerando pretratamiento al agua de mar utilizada

Sistema	pH meseta	Consumo de cal meseta (g cal/lit)
Agua de Mar - Cal	9,9	0,5 - 1,5
Agua de Mar - Cal - Mineral	10,2	0,5 - 1,5
Agua de Mar - Cal - Concentrado	10,1	0,7 - 1,7

Respecto de los consumos unitarios de cal para alcanzar valores típicos de pH de flotación, se aprecia una clara disminución respecto de la cal utilizada en las pruebas sin considerar reposo ni pretratamiento al agua de mar. La tabla 5.12 muestra los consumos unitarios de cal para alcanzar valores típicos de pH de flotación aplicando pretratamiento.

Tabla 5.12: Consumo unitario de cal para diferentes valores de pH considerando pretratamiento al agua de mar utilizada

Sistema	Consumo de cal (g cal/lit)		
	pH 10,5	pH 11,0	pH 11,5
Agua de Mar - Cal	1,82	1,96	2,22
Agua de Mar - Cal - Mineral	1,96	2,28	2,65
Agua de Mar - Cal - Concentrado	1,93	2,22	2,56

La tabla 5.13 muestra la concentración de Mg^{+2} para la prueba con pretratamiento.

Tabla 5.13: Concentración de Mg^{+2} considerando pretratamiento al agua de mar utilizada

Sistema	Consumo de cal (g cal/lit)	Concentración Mg^{+2} (mg/L)
Blanco (agua de mar pretratada)	0,58	786
Agua de Mar - Cal	0,86	684
	2,31	486
Agua de Mar - Cal - Mineral	0,86	132
	2,31	74
Agua de Mar - Cal - Concentrado	0,86	516
	2,31	34

5.4 Evaluación de complementariedad de la Cal y con metabisulfito de sodio como depresantes de pirita en procesamiento de minerales

La evaluación de complementariedad de los reactivos considerados se realizó mediante la realización de cinéticas de flotación, midiendo la recuperación de Cu y pirita (FeS_2), y aplicando modelos cinéticos de primer orden y klimpel. Para una correcta evaluación de esta etapa del estudio, el trabajo se realizó en dos fases, una primera realizando tres (3) pruebas cinéticas de flotación, donde se modificó el pH de la pruebas sin agregar Metabisulfito (NaMBS), es decir, evaluando solo el efecto de la cantidad de cal (pH) en las cinéticas, y una segunda fase donde se realizó una (1) cinética adicional utilizando ambos reactivos.

Para las pruebas descritas en este capítulo, se proyectó utilizar valores de pH iguales o menores a 9 con el fin de evitar el efecto buffer de agua de mar y su efecto sobre el consumo de cal, a la vez de representar valores de pH coherentes con operaciones industriales con agua de mar.

5.4.1 Efecto del consumo de cal en las cinéticas de flotación

Se evaluó el efecto del consumo de cal en las cinéticas de flotación se realizó utilizando valores de pH en las pruebas de 8,2, 8,5 y 9,0, respectivamente. A continuación se muestran los resultados de las cinéticas de flotación y modelos de flotación aplicados, donde las figuras 5.15 y 5.16 corresponden a los resultados de la cinética a pH 8,2 para Cu y FeS_2 respectivamente, de igual forma, las figuras 5.17 y 5.18 muestran los resultados para la cinética a pH 8,5 y finalmente las figuras 5.19 y 5.20 muestran los resultados para la cinética a pH 9,0.

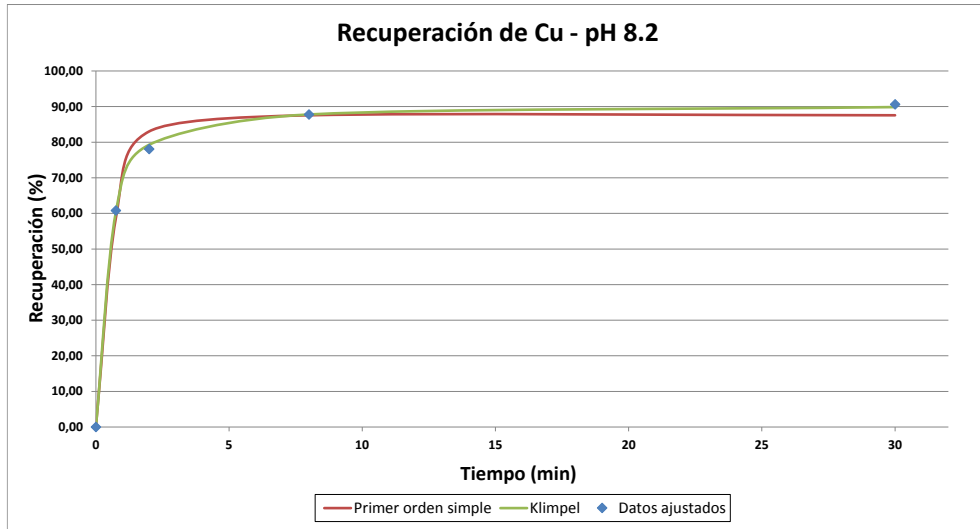


Figura 5.15: Cinética de flotación para Cu a pH 8,2

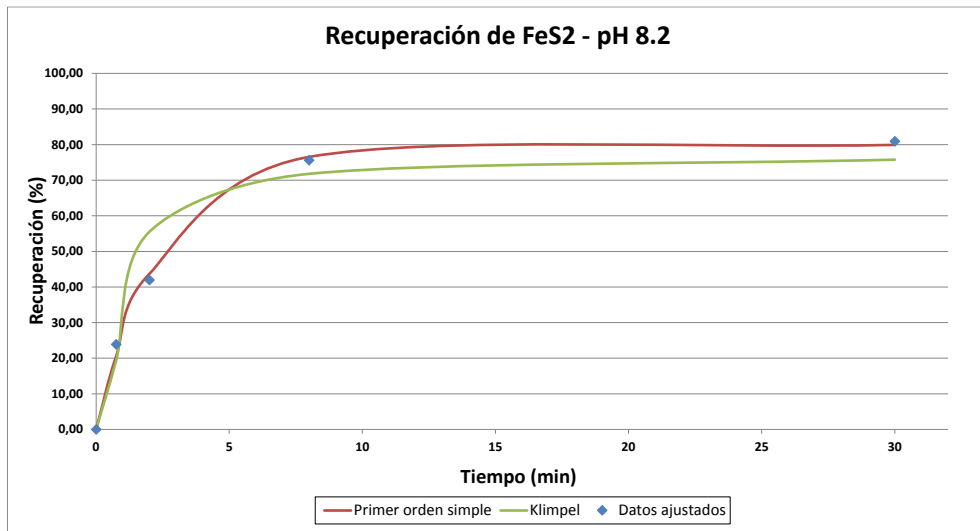


Figura 5.16: Cinética de flotación para FeS₂ a pH 8,2

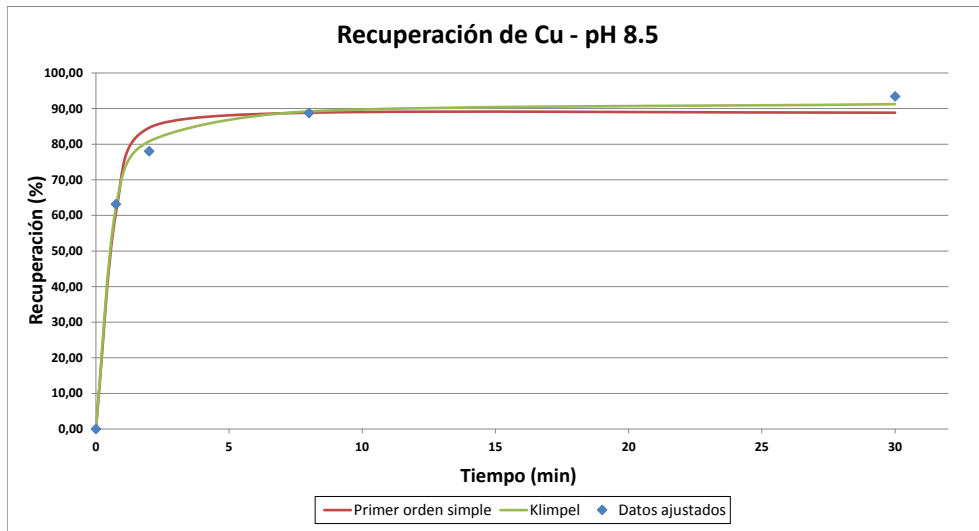


Figura 5.17: Cinética de flotación para Cu a pH 8,5

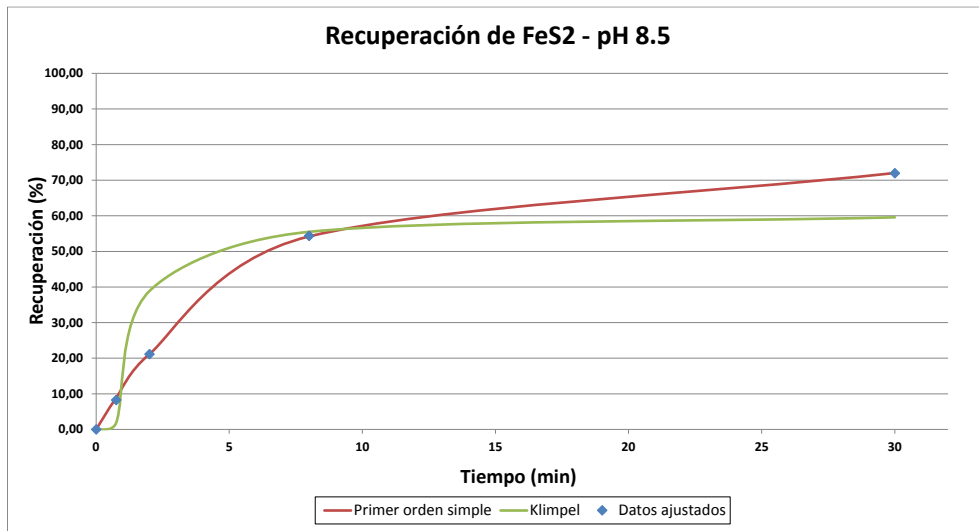


Figura 5.18: Cinética de flotación para FeS₂ a pH 8,5

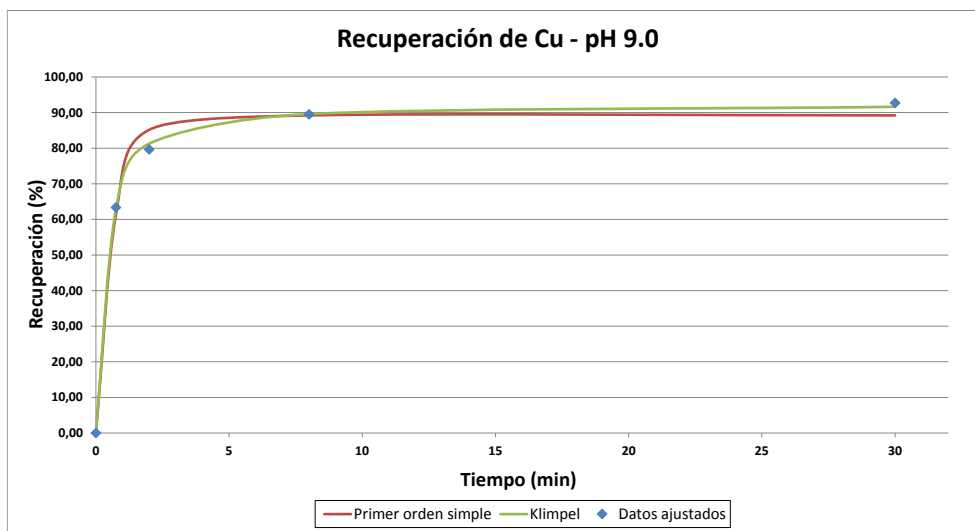


Figura 5.19: Cinética de flotación para Cu a pH 9,0

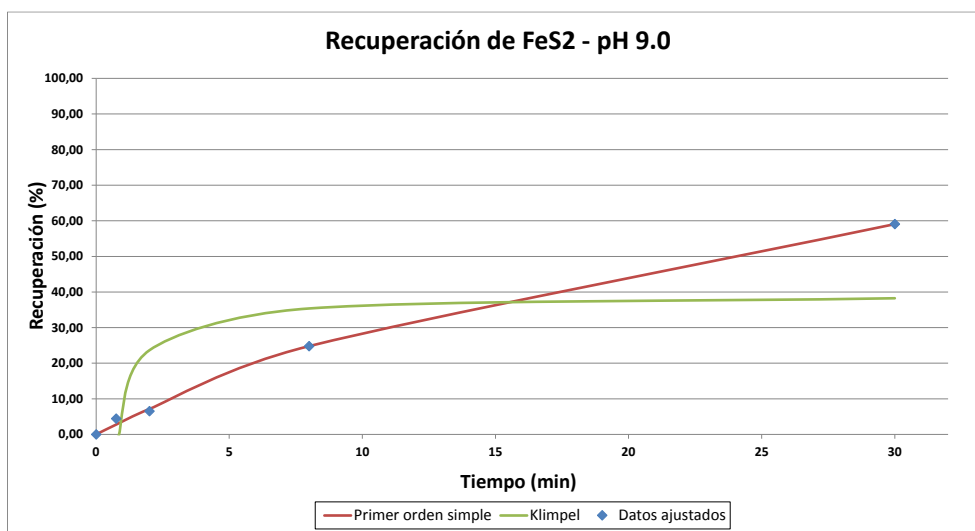


Figura 5.20: Cinética de flotación para FeS₂ a pH 9,0

Los modelos cinéticos aplicados se ajustaron de forma dispar a la recuperación de Cu y de FeS₂, siendo el modelo de Klimpel el que logro un mejor ajuste a la recuperación de cobre, mientras que el modelo de primer orden tuvo un mejor ajuste en la recuperación de FeS₂.

El mejor ajuste del modelo de Klimpel en el cobre obedece a que las cinéticas realizadas convergieron rápidamente a valores de R infinito, sin embargo la forma de

la curva presento cambios suaves en la pendiente y no tan bruscos como los que arroja un modelo de primer orden, de igual modo en el tiempo infinito la recuperación siguió presentando un aumento marginal, lo que es mejor representado por el modelo de klimpel.

En el caso del FeS_2 , las cinéticas son más lentas y solo la prueba a pH 8,2 logro llegar a la meseta de la curva, con una elevada recuperación (en torno a 80%), lo que implica una baja depresión del FeS_2 . Para las cinéticas a pH 8,5 y 9,0 no ha sido posible alcanzar la meseta de recuperación, lo que implica que el tiempo de flotación ha sido insuficiente para hacer flotar todas las partículas con posibilidades de hacerlo.

La tabla 5.14 y las figuras 5.21 y 5.22 muestran una comparación de los modelos para las tres (3) cinéticas, así como también, las cantidades de cal utilizadas en cada caso y los parámetros cinéticos obtenidos

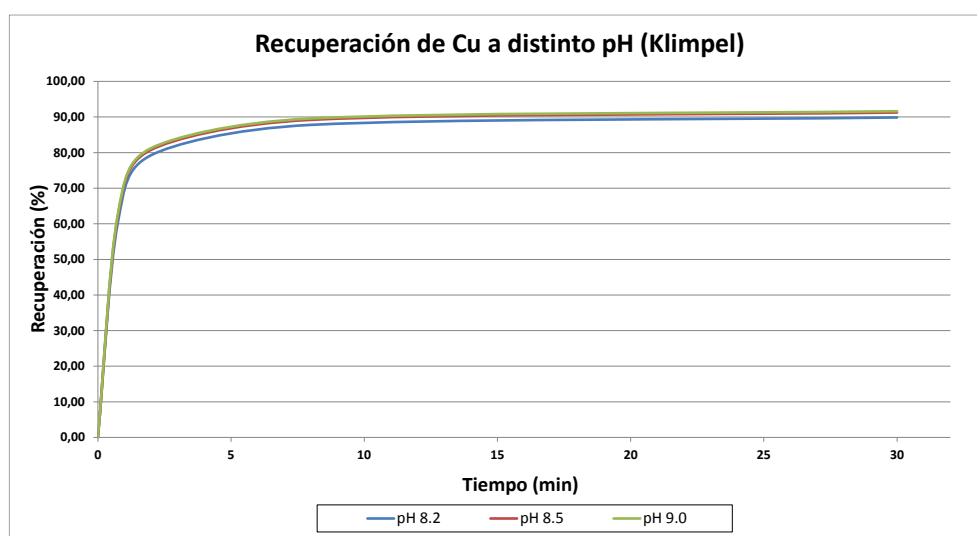


Figura 5.21: Modelo de Klimpel para Cu a pH 8,2/8,5/9,0

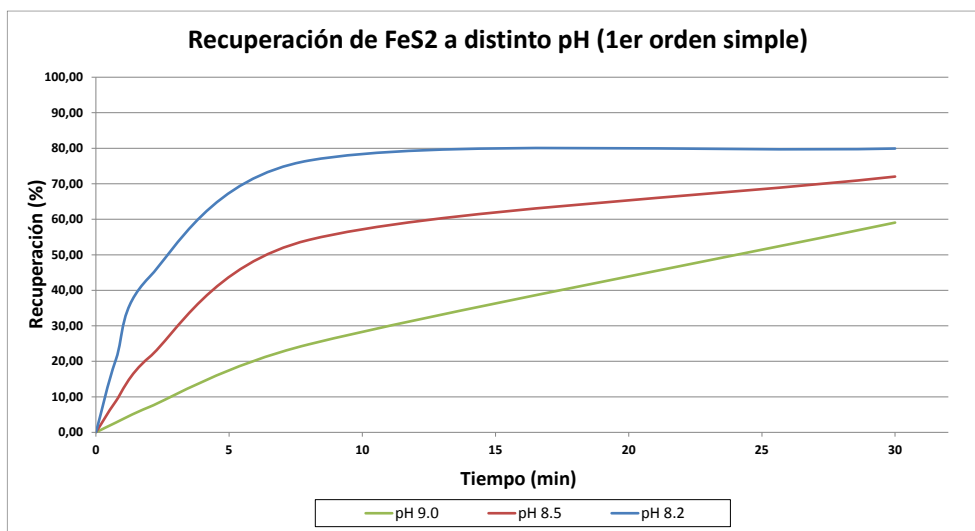


Figura 5.22: Modelo de primer orden para FeS₂ a pH 8,2/8,5/9,0

Tabla 5.14: Consumo de Cal y parámetros de ajuste de modelos

	Parámetro	Modelo	Unidad	pH		
				8,2	8,5	9,0
Cal	Consumo	-	g/t	238	354	642
Cu	k	Primer orden simple	1/min	1,48	1,52	1,55
	R infinito		%	87,56	88,85	89,22
	k	Klimpel	1/min	3,99	4,10	4,16
	R infinito		%	90,63	92,00	92,36
FeS ₂	k	Primer orden simple	1/min	0,40	0,17	0,05
	R infinito		%	79,93	72,44	76,99
	k	Klimpel	1/min	1,78	1,37	1,25
	R infinito		%	77,22	61,05	39,29

Al comparar las curvas y resultados cinéticos obtenidos para la recuperación de cobre, es posible establecer que existe un efecto en los parámetros cinéticos con una relación directa entre pH y los parámetros de flotación donde a mayor pH la cinética de flotación converge más rápido (mayor valor en parámetro k), además que se obtiene una recuperación mayor (mayor valor en parámetro R infinito). En el caso de los resultados alcanzados para el FeS₂, es posible establecer que las cinéticas tienen un comportamiento inverso al pH, donde a mayor pH se obtiene un menor valor de la pendiente k y del valor de R infinito.

Comparativamente, el efecto de la variación del pH en las cinéticas FeS₂ es más relevante que el encontrado en el Cu:

- En el caso puntual del Cu, las curvas tienen la misma forma y si bien existe una mayor recuperación a mayor pH, la diferencia de recuperación entre la prueba a pH menor (8,2) y a pH mayor (9,0), se mantiene en valores en torno a 2%.
- En el caso del FeS₂, las curvas tienen formas distintas y existe una diferencia importante en la recuperación entre las curvas. A modo de ejemplo, al minuto 8 la curva a pH 9,0 alcanza una recuperación de FeS₂ de 24,8%, mientras que la curva a pH 8,2 alcanza una recuperación de 76,5%, es decir, una diferencia de 52% de recuperación entre las curvas. En tiempos superiores a 8 minutos esta diferencia en recuperación disminuye, de igual forma que a tiempos menores a 6 minutos.

Para evaluar el efecto de la separación del Cu y FeS₂, es necesario definir el tiempo de flotación. En este caso, un tiempo razonable para la flotación (en una etapa de flotación primaria) será aquel que permite posible alcanzar la meseta de recuperación del elemento valioso (Cu en este caso) y se logra la menor recuperación posible de los elementos que se quiere separar (FeS₂). Basado en esta definición, el tiempo de flotación debiera encontrarse entre los 8 y 15 minutos, en el caso de este estudio, se definirá el uso de 15 minutos como tiempo de flotación. Una vez definido este tiempo, es posible evaluar la separación en función de los valores de pH utilizados. La figura 2.3 muestra de la separación de las cinéticas a diferentes pH a 15 minutos.

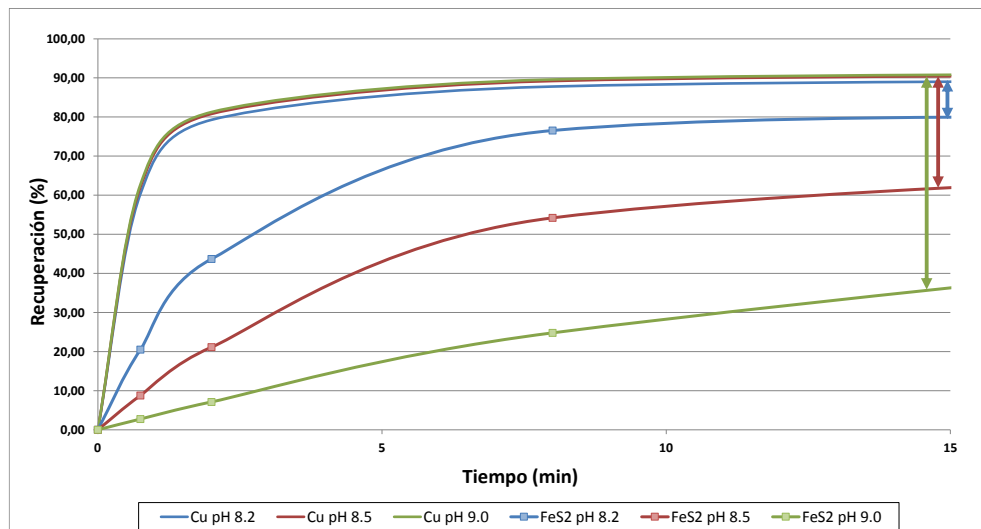


Figura 5.23: Separación de Cu y FeS₂ a pH 8,2/8,5/9,0

Desde el punto de vista de la eficiencia de separación a 15 minutos, el efecto del pH es relevante, verificándose que a mayor valor de pH se obtiene una mayor separación entre especies (Cu y FeS₂). La figura 5.24 muestra el consumo de CaO en función del pH.

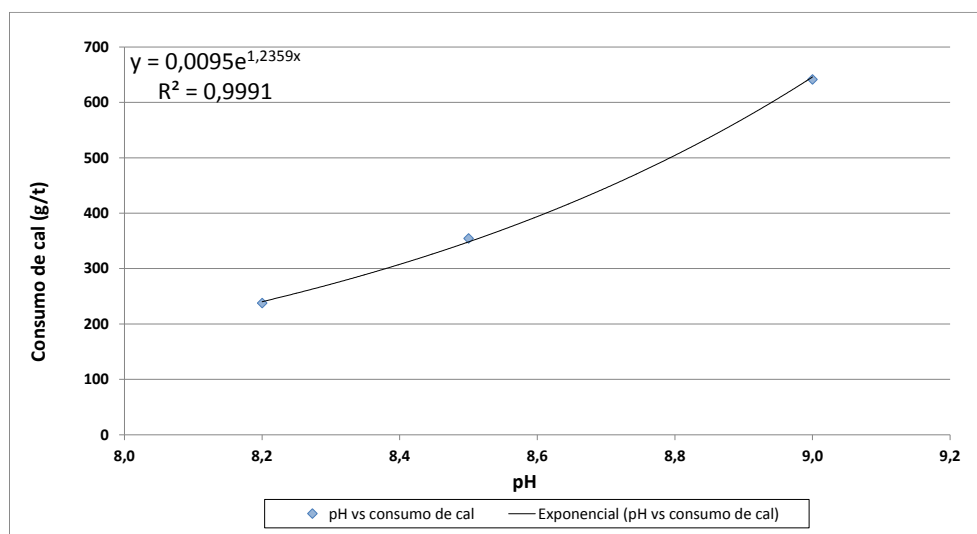


Figura 5.24: pH vs Consumo de CaO

Respecto al pH vs consumo de cal de las tres (3) pruebas cinéticas, la relación obedece a una curva exponencial, lo que concuerda con un mayor consumo de cal a valores más cercanos pH que se produce el efecto buffer identificado previamente.

5.4.2 Efecto de NaMBS en las cinéticas de flotación

Se evaluó el efecto del uso de NaMBS y cal en una cinética de flotación a pH 8,5. A continuación las figuras 5.25 y 5.26 muestran el resultado de la cinética de flotación.

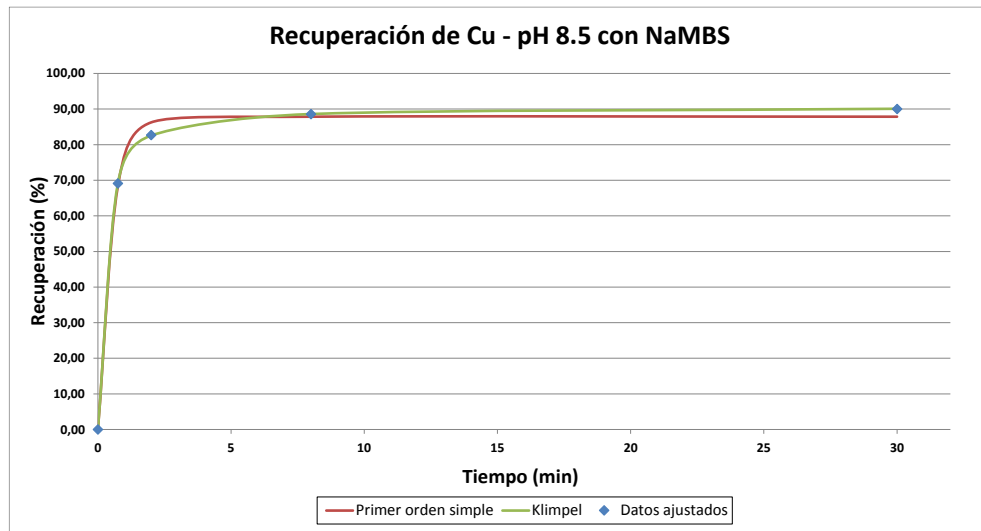


Figura 5.25: Cinética de flotación para Cu a pH 8,5 y adición de NaMBS

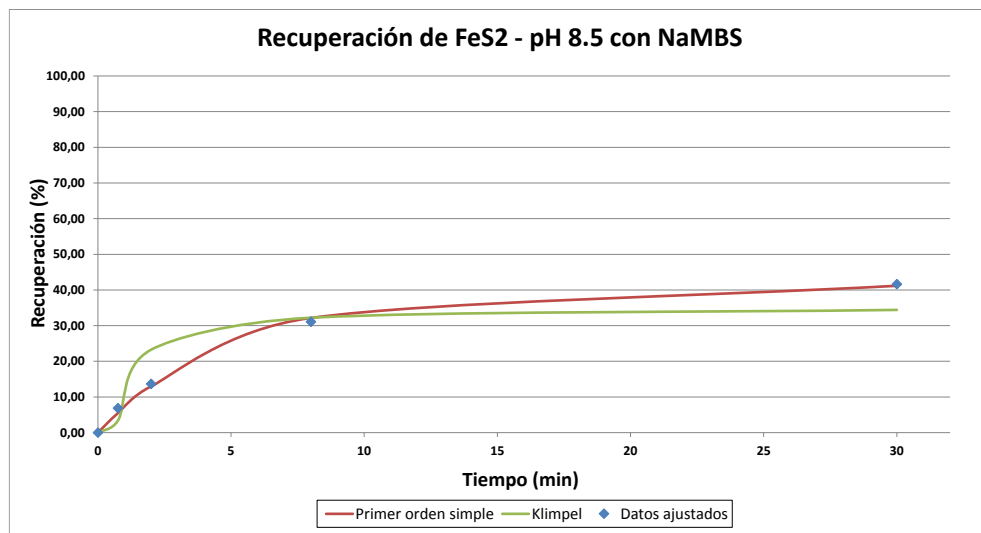


Figura 5.26: Cinética de flotación para FeS₂ a pH 8,5 y adición de NaMBS

La tabla 5.15 muestra los resultados a los parámetros de los modelos aplicados para la cinética a pH 8,5 con adición de NaMBS.

Tabla 5.15: Consumo de Cal, NaMBS y parámetros de ajuste de modelos

	Parámetro	Modelo	Unidad	pH
				8,5
Cal	Consumo	-	g/t min	344,8059
NaMBS	Consumo	-	g/t min	25
Cu	k	Primer orden simple	1/min	2,00
	R infinito		%	87,85
	k	Klimpel	1/min	5,62
	R infinito		%	90,62
FeS ₂	k	Primer orden simple	1/min	0,19
	R infinito		%	41,32
	k	Klimpel	1/min	1,47
	R infinito		%	35,20

Respecto del ajuste de los modelos, se obtuvo que la cinética de Cu se ajusta de mejor forma con el modelo de klimpel, mientras que la cinética del FeS₂ se ajusta de mejor forma a través del modelo de primer orden.

Al comparar el resultado de esta prueba con las pruebas previas sin metabisulfito, se aprecia las siguientes similitudes y diferencias:

- Cinética de Cu.
 - La curva cinética de Cu tiene una forma similar a las pruebas sin metabisulfito.
 - El valor obtenido del parámetro R infinito es menor que el obtenido en la prueba a pH 8,5 y sin adición de NaMBS.
 - El valor obtenido del parámetro k es mayor que el obtenido en la prueba a pH 8,5 y sin adición de NaMBS.
- Cinética de FeS₂.
 - La curva cinética de FeS₂ difiere en su forma de las pruebas realizadas sin NaMBS, en este caso la curva cinética tiende a converger a una meseta en valores de recuperación en torno a 42%.
 - El valor obtenido del parámetro R infinito es fuertemente menor que el obtenido en la prueba a pH 8,5 y sin adición de NaMBS (41,3% con NaMBS vs 72,4% sin NaMBS).

- El valor obtenido del parámetro k es levemente mayor que el obtenido en la prueba a pH 8,5 y sin adición de NaMBS.

Para evaluar el efecto de la separación del Cu y FeS₂, nuevamente se utilizará 15 minutos como tiempo de flotación. La figura 5.27 muestra la separación de la prueba con NaMBS y las pruebas a pH 8,5 y 9,0 sin NaMBS.

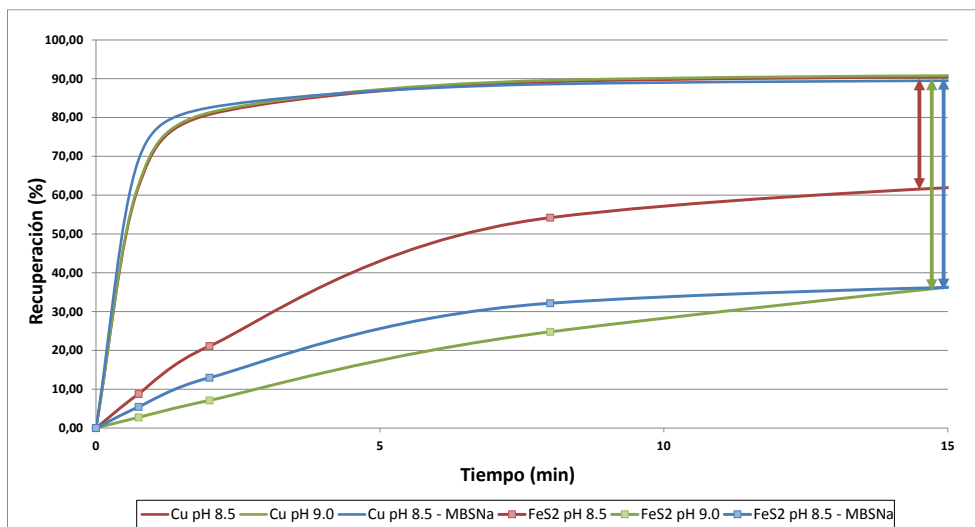


Figura 5.27: Separación de Cu y FeS₂ a pH 8,5/9,0 (sin y con NaMBS)

Desde el punto de vista de la eficiencia de separación a 15 minutos, es posible identificar que la separación de las especies de Cu y FeS₂ es mayor en la prueba a pH 8,5 y adición de NaMBS con respecto de la prueba al mismo pH y sin adición de NaMBS.

Adicionalmente, es posible identificar que la separación de las especies de Cu y FeS₂ es similar entre la prueba a pH 8,5 con adición de NaMBS, y la prueba a pH 9,0 sin adición de NaMBS, es decir, mediante dos combinaciones diferentes de reactivos (Cal y NaMBS) es posible obtener el mismo grado de separación entre Cu y FeS₂.

Para establecer cual combinación de reactivos (Cal y NaMBS) es recomendable para cada etapa del proceso, es necesario definir algunos criterios que permitan analizar e identificar las ventajas cuantitativas y cualitativas en la vecindad del tiempo de

flotación definido. Los criterios de análisis a utilizar son el comportamiento de la recuperación de Cu y el comportamiento de la recuperación de FeS₂. La figura 5.28 muestra las cinéticas a pH 9,0 sin NaMBS y pH 8,5 con NaMBS.

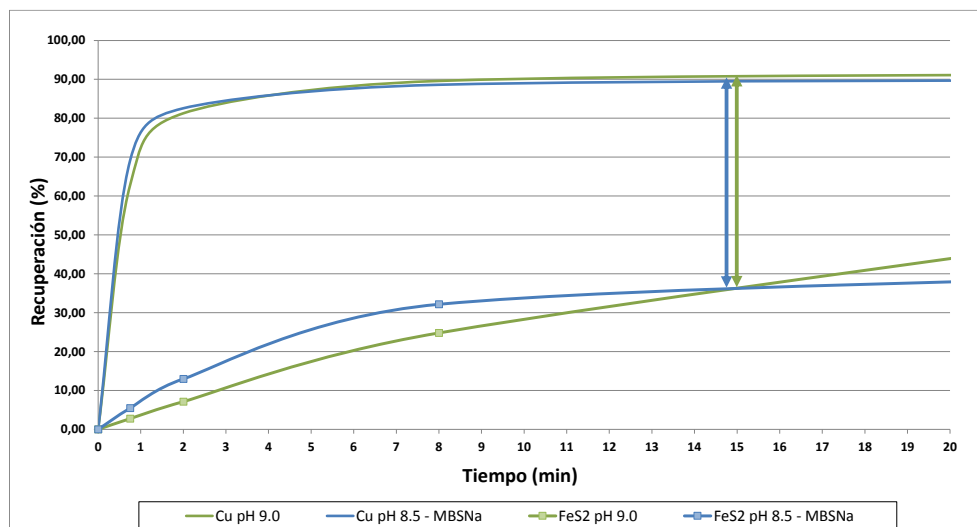


Figura 5.28: Separación de Cu y FeS₂ a pH 8,5/9,0 (sin y con NaMBS)

A. Comportamiento de la recuperación de Cu

La recuperación de Cu obtenida a los 15 minutos en la prueba a pH 9,0 sin NaMBS es mayor que la recuperación de la prueba a pH 8,5 con NaMBS, la diferencia encontrada es de aproximadamente 1,3%, siendo mayor la prueba a pH 9,0. A tiempos en la vecindad de 15 minutos (mayores y menores) esta diferencia se mantiene en valores cercanos a 1,3%.

B. Comportamiento de la recuperación de FeS₂

La recuperación de FeS₂ obtenida a los 15 minutos en la prueba a pH 9,0 sin NaMBS es mayor que la recuperación de la prueba a pH 8,5 con NaMBS, la diferencia encontrada es menor de 1,0%, siendo mayor la prueba a pH 9,0. A tiempos mayores de 15 minutos la recuperación de FeS₂ para la prueba con pH 9,0 aumenta, es decir, se pierde capacidad de separar el Cu y FeS₂, mientras que la que en la prueba con pH 8,5 y NaMBS la recuperación de FeS₂ se mantiene relativamente constante.

De los criterios analizados, es posible establecer que para las etapas de flotación en que el objetivo sea maximizar la recuperación la mayor cantidad de elemento valioso (etapas Rougher y/o barrido), es recomendable utilizar un esquema de flotación con foco en un valor elevado de pH (mayor consumo de cal) y sin consumo de NaMBS, que permita maximizar la recuperación de Cu. Por otra parte, en las etapas de flotación en que el objetivo sea maximizar la separación entre Cu y FeS₂, es recomendable adicionar NaMBS, lo que permite asegurar valores de recuperación FeS₂ bajos y relativamente constantes independiente de posibles variaciones en la operación (tiempos de flotación).

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las principales conclusiones y recomendaciones del estudio son:

- A partir de las pruebas de contacto para los sistemas ‘agua de mar – cal’, ‘agua de mar – mineral – cal’ y ‘agua de mar – concentrado – cal’ se concluye que:
 - Los sistemas estudiados, presentan un comportamiento característico compuesto de tres (3) zonas del sistema, una primera zona de aumento en el valor de pH al aumentar la adición de lechada de cal, una meseta donde el aumento en la cantidad de cal no produce aumento significativo en el valor de pH y finalmente, posterior a la meseta, una nueva zona de aumento del valor de pH en respuesta a una mayor adición de cal. Esta forma características es consistente con el llamado Efecto Buffer del agua de mar y que está asociado a la zona donde se produce la meseta.
 - Se verifica la existencia de interacción entre los iones de Mg^{+2} y la cal cuando los sistemas estudiados se encuentran en la zona de la meseta. Se concluye que estas interacciones son en parte responsables del efecto buffer del agua de mar con la cal.
 - Los valores de pH a los cuales se verifico la meseta del efecto buffer son diferente para los tres sistemas. Los resultados sugieren que existe una interacción entre la superficie de los sólidos y los elementos presentes en el agua causantes del efecto buffer y que son responsables de estas diferencias.
- A partir de las pruebas considerando reposo para el agua de mar se concluye que:
 - Los sistemas estudiados considerando un reposo de 10 días para el agua de mar, presentan las mismas tres (3) zonas que los sistemas sin realizar reposo, corroborándose el efecto buffer.
 - Se verifica que el uso de agua de mar con un reposo de 10 días permite alcanzar valores de pH superiores para la meseta que la prueba sin reposo, adicionalmente la cantidad de cal a adicionar es menor para alcanzar valores elevados de pH.
 - Desde el punto de vista del proceso de flotación, el aplicar un reposo al agua de mar previo a su utilización presenta ventajas comparativas

respecto del uso de cal, siendo la principal, una baja de entre 17% a 20% en el consumo de cal para alcanzar valores de pH superiores a la meseta.

- A partir de las pruebas considerando pretratamiento del agua de mar se concluye que:
 - Los sistemas estudiados considerando un pretratamiento al agua de mar, siguen presentando las mismas tres (3) zonas que los sistemas sin realizar el pretratamiento, considerando que el pretratamiento utilizado adicionó una cantidad de cal suficiente para alcanzar el extremo inferior de la meseta.
 - Se verifica que el uso de agua de mar con un pretratamiento (0,58 g de cal/l aplicado en la prueba realizada) permite alcanzar valores de pH superiores para la meseta que la prueba sin pretratamiento, adicionalmente la cantidad de cal a adicionar es menor para alcanzar valores elevados de pH.
 - Desde el punto de vista del proceso de flotación, el aplicar un pretratamiento al agua de mar previo a su utilización presenta ventajas comparativas respecto del uso de cal, siendo la principal, una baja de entre 15% a 20% en el consumo de cal para alcanzar valores de pH superiores a la meseta.

- A partir de las cinéticas de flotación con cal a tres valores de pH se concluye que:
 - Respecto de los modelos cinéticos utilizados, se concluye que los modelos que mejor ajustaron a las cinéticas desarrolladas fueron klimpel para la recuperación de cobre (Cu) y primer orden para la recuperación de pirita (FeS_2).
 - Se establece que para el cobre existe un efecto leve en los parámetros cinéticos con una relación directa entre pH y los parámetros de flotación donde a mayor pH la cinética de flotación converge más rápido (mayor valor en parámetro k) y se obtiene una recuperación mayor (mayor valor en parámetro R infinito).

-
- Se establece que para la pirita existe un efecto fuerte en los parámetros cinéticos con una relación inverso al pH, donde a mayor pH se obtiene un menor valor de la pendiente k y del valor de R infinito.
 - Se establece que para las pruebas realizadas, el tiempo de flotación al cual se alcanza la meseta de recuperación de cobre fue a los 15 minutos. A este tiempo se concluye que un valor de pH más elevado mejora la separación entre la especie valiosa (Cu) y la pirita (FeS_2).
 - A partir de la cinéticas de flotación con cal y MBS (pH 8,5) se concluye que:
 - Respecto de los modelos cinéticos utilizados, se concluye que los modelos que mejor ajustaron a las cinéticas desarrolladas fueron klimpel para la recuperación de cobre (Cu) y primer orden para la recuperación de pirita (FeS_2).
 - Al comparar la cinética del Cu (con y sin MBS) se concluye que la curva cinética del Cu tiene el mismo comportamiento en ambas pruebas, sin embargo los valores de los parámetros muestran diferencias leves, siendo R infinito menor en la prueba con MBS (menor recuperación a tiempo infinito) y k mayor (menor tiempo para alcanzar la meseta).
 - Al comparar la cinética de FeS_2 , se concluye que forma de la curva es diferente, con valores de R fuertemente menor (menor recuperación de pirita) y un k mayor (menor tiempo para alcanzar la meseta).
 - Conclusiones generales:
 - Las pruebas de contacto verificaron el efecto buffer entre el agua de mar y cal, el cual se produce a pH 9,5 aproximadamente. La presencia de partículas de mineral o concentrado no omiten el efecto, pero si afectan los valores a los cuales se produce.
 - Las pruebas utilizando agua de mar con un reposo de 10 días demostró que en el periodo de almacenamiento el agua de mar sufre cambios que afectan las características del agua (reacciones biológicas). Desde el punto de flotación de minerales de cobre, el almacenamiento del agua de mar produce ventajas al disminuir el consumo unitario de cal para alcanzar un determinado valor de pH.

-
- Las pruebas utilizando agua de mar con un reposo de 10 días demostró que en el periodo de almacenamiento el agua de mar sufre cambios que afectan las características del agua (reacciones biológicas). Desde el punto de flotación de minerales de cobre, el almacenamiento del agua de mar produce ventajas al disminuir el consumo unitario de cal para alcanzar un determinado valor de pH.
 - Las pruebas con pretratamiento demostró que la eliminación anticipada de elementos involucrados en el efecto buffer (por medio del pretratamiento), reduce los requerimientos unitarios de cal para alcanzar valores elevados de pH.
 - Las pruebas cinéticas corroboraron el impacto del pH en la recuperación de pirita, además se verificó que el uso de MBS tiende a deprimir la pirita, pero disminuye levemente la recuperación de cobre.
 - De las pruebas cinéticas, se concluye que una medida para maximizar la recuperación de cobre y disminuir la recuperación de pirita en circuitos de flotación es:
 - Privilegiar el uso de cal en etapas recuperadoras (rougher y barrido) y elevar el pH a valores cercanos al punto donde se comienza a producir el efecto buffer.
 - Privilegiar el uso de Metabisulfito en las etapas de limpieza y depresar de forma eficaz la pirita.

7.0 BIBLIOGRAFÍA

Las referencias utilizadas en el presente estudio se describen a continuación:

- Informe final de estudio, “Consumo de agua en la minería del cobre 2011”, Comisión chilena del cobre, Septiembre 2012.
- Descripción de características generales del agua de mar, <http://www.astromia.com/tierraluna/mares.htm>
- Artículo, “Variabilidad de la temperatura superficial del mar, identificación de surgencias costeras y su relevancia en un área marina costera protegida del desierto de Atacama”, Chile, Revista Geografica Norte Grande, 41: 49-61, 2008.
- Artículo, LAZARUS, S.; CALVERT, C.; SPLITT, M.; SANTOS, P.; SHARP, D.; BLOTMAN, P. & SPRATT, S. “Real time, high-resolution, space-time analysis of sea surface temperatures from multiple platforms”. Monthly Weather Review, 2007, Vol. 135, p. 3158-3173. http://www.srh.noaa.gov/mlb/PDFs/lazarus_etal_2007.pdf
- Libro, Servicio hidrogeográfico y oceanográfico de la armada de Chile (SHOA), “Atlas Oceanográfico de Chile”. Chile, 1996, Volumen 1, primera edición.
- Libro, Herbert, W.; Harold, T. “Marine biology”. Estados Unidos, 1991, segunda edición.
- Artículo, Castro, S. “Challenges in Flotation of Cu-Mo sulfide ores in Sea Water”., Mineral Processing (J. Drelich, Ed), Proc. Of the First International Symposium, USA, 2012.
- Estudio impacto ambiental, proyecto central térmica energía minera S.A. “Análisis de agua de la bahía de Quintero”.
- Estudio impacto ambiental, proyecto Minera Esperanza. “Modelación de descarga de salmuera sector Michilla”.
- Artículo, BARRERA, J.; CERNA, M. “Comparative analysis between desalinated and non-desalinated seawater for a concentrator”. Fluor Chile S.A., Chile, Procemin 2009.
- Apuntes de oceanografía marina, Sociedad Educacional de Desarrollo Marítimo Ltda. <http://www.desarrollomaritimo.cl/docum/oceanografiamarina.pdf>

-
- Libro, Karl, T. "Oceans". Estados Unidos, 1968, primera edición.
 - Apuntes de Química del Medio ambiente, Parte 2: El agua, Universidad de Granada.
<http://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema05.pdf>
 - Trabajo de título, Carrillo, H. "Estudio de la flotación a escala laboratorio del mineral de Andacollo en agua de mar". Chile, Universidad de Concepción, 2012.
 - Trabajo de título, Quinteros, J. "Evaluación de la flotación en agua de mar para el mineral de Mantos Blancos". Chile, Universidad de Concepción, 2012.
 - Trabajo de título, Landero, A. " Efecto del agua de mar sobre la flotación de minerales sulfurados de cobre". Chile, Universidad de Concepción, 2010.
 - Trabajo de título, Rioseco, P. " Estudio del efecto de aguas salinas sobre la flotación de especies puras: calcocita, calcopirita, pirita y molibdenita". Chile, Universidad de Concepción, 2011.

Anexo A

Cálculo granulometría mineral y concentrado

Definiciones

- f_i : Fracción individual de material retenido en malla i (%).
- F_u : Fracción acumulada de material pasante en malla u (%).

Metodología cálculo de peso de mineral retenido (mineral o concentrado) por malla

$$\text{Peso mineral}(g) = \text{Peso (malla + mineral)} - \text{Peso (malla)}$$

$$\text{Peso concentrado}(g) = \text{Peso (malla + concentrado)} - \text{Peso (malla)}$$

Metodología cálculo de la fracción individual retenida por malla

$$f_i(\%) = \frac{\text{Peso mineral (g)}}{\text{Peso total muestra de mineral (g)}}$$

$$f_i(\%) = \frac{\text{Peso concentrado (g)}}{\text{Peso total muestra de concentrado (g)}}$$

Metodología cálculo de la fracción acumulada pasante por malla

$$F_u(\%) = \sum_{i=\infty}^i f_i(\%)$$

Cálculo fracción acumulada pasante por malla mineral

Malla	Tamaño [µm]	Peso malla [g]	Peso malla y mineral [g]	Peso mineral[g]	i	fi [%]	Fu [%]
		Medido	Medido	Cálculado		Cálculado	Cálculado
8	2360	485,4	485,6	0,2	1	0,07	99,93
12	1700	662,5	662,7	0,2	2	0,07	99,87
20	850	404,8	405,5	0,7	3	0,23	99,63
30	600	600,8	605,1	4,3	4	1,43	98,20
50	300	533,2	561,4	28,2	5	9,41	88,79
70	212	359,6	382,9	23,3	6	7,77	81,02
100	150	345	368,3	23,3	7	7,77	73,25
140	106	344,3	376	31,7	8	10,57	62,68
200	75	321,6	373,2	51,6	9	17,21	45,46
270	53	334,4	388,7	54,3	10	18,11	27,35
325	45	303,3	333,7	30,4	11	10,14	17,21
400	38	293,8	305,2	11,4	12	3,80	13,41
-400	0	482,2	522,4	40,2	13	13,41	0,00
Total				299,8		100,00	806,80
Total original				300			
Pérdida				0,2			
% de pérdida				0,07			

Cálculo fracción acumulada pasante por malla concentrado

Malla	Tamaño [µm]	Peso malla [g]	Peso malla y conc. [g]	Peso mineral[g]	i	fi [%]	Fu [%]
		Medido	Medido	Cálculado		Cálculado	Cálculado
70	212	359,6	361,6	2,0	1	0,64	99,36
100	150	345	347,6	2,6	2	0,84	98,52
140	106	344,3	356,9	12,6	3	4,06	94,46
200	75	321,6	351,8	30,2	4	9,73	84,72
270	53	334,4	400,4	66	5	21,27	63,45
325	45	303,3	324,5	21,2	6	6,83	56,62
400	38	293,8	318,1	24,3	7	7,83	48,79
-400	0	482,2	633,6	151,4	8	48,79	0,00
Total				310,3		100,00	545,92
Total original				310,3			
Pérdida				0			
% de pérdida				0,00			

Anexo B

Análisis químicos Metalquim



MetalQuim Ltda.

METALQUIM LTDA.
Laboratorio Químico

Santiago, Mayo 02, 2016

AQ- 5941

INFORME DE ANALISIS

A : Universidad de Chile –Ing. en Minas
Atención : Sr. Fernando Morales//Eduardo Diaz
Fono : 85293204
Correo : fernando.moralesa@gmail.com
eduardo.diaz.g@ug.udechile.cl

Muestra	Cu %	Fe %	Mo %
Mineral AQ1	0463	0.760	0.029
Mineral AQ2	0.442	0.749	0.021
Concentrado AQ1	26.45	22.77	0.040
Concentrado AQ2	26.34	22.79	0.035

Según cotización : 13-2016 y Orden de Compra N° 82010

José Luis Barrera
Químico
Área Laboratorio Químico

Jorge Cifuentes P.
Químico
Área Procesos Químicos

El resultado corresponde solo a la muestra analizada
Este informe no puede ser reproducido parcialmente sin la aprobación de MetalQuim Ltda.
La muestra será almacenada durante un mes en nuestro laboratorio.

METALQUIM LTDA.
José Besa 1507 - Quinta Normal / Tel: (56-2) 7726132 - 7734429. Fax: (56-2) 7726132
Santiago / Web: www.metalquim.cl/ E-mail: metalquim@entelchile.net

Anexo C

Mediciones pruebas de contacto para sistemas “agua de mar-cal”

Prueba 1: Agua de mar - Cal

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total			Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l				Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:00:00	7,26		0,0	0,00	0,000	0:15:15	9,74		15,0	0,432	0,864
0:00:15	7,27		0,0	0,00	0,000	0:15:30	9,74	x	15,5	0,447	0,893
0:00:30	7,28	x	0,5	0,014	0,029	0:15:45	9,74		15,5	0,447	0,893
0:00:45	7,73		0,5	0,014	0,029	0:16:00	9,74	x	16,0	0,461	0,922
0:01:00	7,91	x	1,0	0,029	0,058	0:16:15	9,75		16,0	0,461	0,922
0:01:15	8,27		1,0	0,029	0,058	0:16:30	9,75	x	16,5	0,475	0,951
0:01:30	8,46	x	1,5	0,043	0,086	0:16:45	9,75		16,5	0,475	0,951
0:01:45	8,71		1,5	0,043	0,086	0:17:00	9,75	x	17,0	0,490	0,980
0:02:00	8,83	x	2,0	0,058	0,115	0:17:15	9,75		17,0	0,490	0,980
0:02:15	8,94		2,0	0,058	0,115	0:17:30	9,75	x	17,5	0,504	1,008
0:02:30	9,01	x	2,5	0,072	0,144	0:17:45	9,75		17,5	0,504	1,008
0:02:45	9,07		2,5	0,072	0,144	0:18:00	9,75	x	18,0	0,519	1,037
0:03:00	9,11	x	3,0	0,086	0,173	0:18:15	9,76		18,0	0,519	1,037
0:03:15	9,16		3,0	0,086	0,173	0:18:30	9,76	x	18,5	0,533	1,066
0:03:30	9,19	x	3,5	0,101	0,202	0:18:45	9,76		18,5	0,533	1,066
0:03:45	9,23		3,5	0,101	0,202	0:19:00	9,76	x	19,0	0,547	1,095
0:04:00	9,25	x	4,0	0,115	0,230	0:19:15	9,77		19,0	0,547	1,095
0:04:15	9,28		4,0	0,115	0,230	0:19:30	9,77	x	19,5	0,562	1,124
0:04:30	9,30	x	4,5	0,130	0,259	0:19:45	9,77		19,5	0,562	1,124
0:04:45	9,33		4,5	0,130	0,259	0:20:00	9,77	x	20,0	0,576	1,152
0:05:00	9,35	x	5,0	0,144	0,288	0:20:15	9,78		20,0	0,576	1,152
0:05:15	9,38		5,0	0,144	0,288	0:20:30	9,78	x	20,5	0,591	1,181
0:05:30	9,39	x	5,5	0,158	0,317	0:20:45	9,79		20,5	0,591	1,181
0:05:45	9,41		5,5	0,158	0,317	0:21:00	9,79	x	21,0	0,605	1,210
0:06:00	9,43	x	6,0	0,173	0,346	0:21:15	9,80		21,0	0,605	1,210
0:06:15	9,45		6,0	0,173	0,346	0:21:30	9,80	x	21,5	0,619	1,239
0:06:30	9,46	x	6,5	0,187	0,375	0:21:45	9,80		21,5	0,619	1,239
0:06:45	9,48		6,5	0,187	0,375	0:22:00	9,81	x	22,0	0,634	1,268
0:07:00	9,49	x	7,0	0,202	0,403	0:22:15	9,81		22,0	0,634	1,268
0:07:15	9,50		7,0	0,202	0,403	0:22:30	9,81	x	22,5	0,648	1,297
0:07:30	9,51	x	7,5	0,216	0,432	0:22:45	9,82		22,5	0,648	1,297
0:07:45	9,53		7,5	0,216	0,432	0:23:00	9,82	x	23,0	0,663	1,325
0:08:00	9,54	x	8,0	0,230	0,461	0:23:15	9,83		23,0	0,663	1,325
0:08:15	9,55		8,0	0,230	0,461	0:23:30	9,83	x	23,5	0,677	1,354
0:08:30	9,56	x	8,5	0,245	0,490	0:23:45	9,84		23,5	0,677	1,354
0:08:45	9,57		8,5	0,245	0,490	0:24:00	9,84	x	24,0	0,691	1,383
0:09:00	9,58	x	9,0	0,259	0,519	0:24:15	9,85		24,0	0,691	1,383
0:09:15	9,59		9,0	0,259	0,519	0:24:30	9,85	x	24,5	0,706	1,412
0:09:30	9,60	x	9,5	0,274	0,547	0:24:45	9,86		24,5	0,706	1,412
0:09:45	9,61		9,5	0,274	0,547	0:25:00	9,86	x	25,0	0,720	1,441
0:10:00	9,62	x	10,0	0,288	0,576	0:25:15	9,87		25,0	0,720	1,441
0:10:15	9,63		10,0	0,288	0,576	0:25:30	9,87	x	25,5	0,735	1,469
0:10:30	9,64	x	10,5	0,303	0,605	0:25:45	9,88		25,5	0,735	1,469
0:10:45	9,65		10,5	0,303	0,605	0:26:00	9,88	x	26,0	0,749	1,498
0:11:00	9,65	x	11,0	0,317	0,634	0:26:15	9,89		26,0	0,749	1,498
0:11:15	9,66		11,0	0,317	0,634	0:26:30	9,89	x	26,5	0,764	1,527
0:11:30	9,66	x	11,5	0,331	0,663	0:26:45	9,90		26,5	0,764	1,527
0:11:45	9,67		11,5	0,331	0,663	0:27:00	9,90	x	27,0	0,778	1,556
0:12:00	9,68	x	12,0	0,346	0,691	0:27:15	9,92		27,0	0,778	1,556
0:12:15	9,69		12,0	0,346	0,691	0:27:30	9,92	x	27,5	0,792	1,585
0:12:30	9,69	x	12,5	0,360	0,720	0:27:45	9,93		27,5	0,792	1,585
0:12:45	9,70		12,5	0,360	0,720	0:28:00	9,93	x	28,0	0,807	1,613
0:13:00	9,70	x	13,0	0,375	0,749	0:28:15	9,94		28,0	0,807	1,613
0:13:15	9,71		13,0	0,375	0,749	0:28:30	9,94	x	28,5	0,821	1,642
0:13:30	9,71	x	13,5	0,389	0,778	0:28:45	9,96		28,5	0,821	1,642
0:13:45	9,72		13,5	0,389	0,778	0:29:00	9,96	x	29,0	0,836	1,671
0:14:00	9,72	x	14,0	0,403	0,807	0:29:15	9,97		29,0	0,836	1,671
0:14:15	9,72		14,0	0,403	0,807	0:29:30	9,97	x	29,5	0,850	1,700
0:14:30	9,72	x	14,5	0,418	0,836	0:29:45	9,99		29,5	0,850	1,700
0:14:45	9,73		14,5	0,418	0,836	0:30:00	9,99	x	30,0	0,864	1,729
0:15:00	9,73	x	15,0	0,432	0,864						

			Cal adicionada total						Cal adicionada total		
Tiempo seg	pH	Adición Cal	Lechada ml	Cal g	Consumo g/l	Tiempo seg	pH	Adición Cal	Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:30:15	10,01		30,0	0,864	1,729	0:45:15	11,24		45,0	1,297	2,593
0:30:30	10,01	x	30,5	0,879	1,758	0:45:30	11,24	x	45,5	1,311	2,622
0:30:45	10,02		30,5	0,879	1,758	0:45:45	11,26		45,5	1,311	2,622
0:31:00	10,03	x	31,0	0,893	1,786	0:46:00	11,26	x	46,0	1,325	2,651
0:31:15	10,05		31,0	0,893	1,786	0:46:15	11,28		46,0	1,325	2,651
0:31:30	10,05	x	31,5	0,908	1,815	0:46:30	11,28	x	46,5	1,340	2,680
0:31:45	10,07		31,5	0,908	1,815	0:46:45	11,29		46,5	1,340	2,680
0:32:00	10,07	x	32,0	0,922	1,844	0:47:00	11,30	x	47,0	1,354	2,708
0:32:15	10,09		32,0	0,922	1,844	0:47:15	11,31		47,0	1,354	2,708
0:32:30	10,10	x	32,5	0,936	1,873	0:47:30	11,32	x	47,5	1,369	2,737
0:32:45	10,12		32,5	0,936	1,873	0:47:45	11,33		47,5	1,369	2,737
0:33:00	10,13	x	33,0	0,951	1,902	0:48:00	11,33	x	48,0	1,383	2,766
0:33:15	10,15		33,0	0,951	1,902	0:48:15	11,34		48,0	1,383	2,766
0:33:30	10,16	x	33,5	0,965	1,930	0:48:30	11,35	x	48,5	1,397	2,795
0:33:45	10,19		33,5	0,965	1,930	0:48:45	11,36		48,5	1,397	2,795
0:34:00	10,20	x	34,0	0,980	1,959	0:49:00	11,37	x	49,0	1,412	2,824
0:34:15	10,25		34,0	0,980	1,959	0:49:15	11,38		49,0	1,412	2,824
0:34:30	10,26	x	34,5	0,994	1,988	0:49:30	11,38	x	49,5	1,426	2,852
0:34:45	10,30		34,5	0,994	1,988	0:49:45	11,39		49,5	1,426	2,852
0:35:00	10,32	x	35,0	1,008	2,017	0:50:00	11,39	x	50,0	1,441	2,881
0:35:15	10,38		35,0	1,008	2,017	0:50:15	11,40		50,0	1,441	2,881
0:35:30	10,40	x	35,5	1,023	2,046	0:50:30	11,41	x	50,5	1,455	2,910
0:35:45	10,46		35,5	1,023	2,046	0:50:45	11,42		50,5	1,455	2,910
0:36:00	10,49	x	36,0	1,037	2,074	0:51:00	11,42	x	51,0	1,469	2,939
0:36:15	10,54		36,0	1,037	2,074	0:51:15	11,43		51,0	1,469	2,939
0:36:30	10,57	x	36,5	1,052	2,103	0:51:30	11,43	x	51,5	1,484	2,968
0:36:45	10,62		36,5	1,052	2,103	0:51:45	11,44		51,5	1,484	2,968
0:37:00	10,65	x	37,0	1,066	2,132	0:52:00	11,44	x	52,0	1,498	2,996
0:37:15	10,69		37,0	1,066	2,132	0:52:15	11,44		52,0	1,498	2,996
0:37:30	10,71	x	37,5	1,080	2,161	0:52:30	11,45	x	52,5	1,513	3,025
0:37:45	10,74		37,5	1,080	2,161	0:52:45	11,45		52,5	1,513	3,025
0:38:00	10,78	x	38,0	1,095	2,190	0:53:00	11,46	x	53,0	1,527	3,054
0:38:15	10,80		38,0	1,095	2,190	0:53:15	11,47		53,0	1,527	3,054
0:38:30	10,82	x	38,5	1,109	2,219	0:53:30	11,47	x	53,5	1,541	3,083
0:38:45	10,85		38,5	1,109	2,219	0:53:45	11,48		53,5	1,541	3,083
0:39:00	10,88	x	39,0	1,124	2,247	0:54:00	11,48	x	54,0	1,556	3,112
0:39:15	10,89		39,0	1,124	2,247	0:54:15	11,49		54,0	1,556	3,112
0:39:30	10,91	x	39,5	1,138	2,276	0:54:30	11,49	x	54,5	1,570	3,140
0:39:45	10,94		39,5	1,138	2,276	0:54:45	11,50		54,5	1,570	3,140
0:40:00	10,96	x	40,0	1,152	2,305	0:55:00	11,50	x	55,0	1,585	3,169
0:40:15	10,97		40,0	1,152	2,305	0:55:15	11,51		55,0	1,585	3,169
0:40:30	11,00	x	40,5	1,167	2,334	0:55:30	11,51	x	55,5	1,599	3,198
0:40:45	11,01		40,5	1,167	2,334	0:55:45	11,51		55,5	1,599	3,198
0:41:00	11,02	x	41,0	1,181	2,363	0:56:00	11,51	x	56,0	1,613	3,227
0:41:15	11,04		41,0	1,181	2,363	0:56:15	11,52		56,0	1,613	3,227
0:41:30	11,05	x	41,5	1,196	2,391	0:56:30	11,52	x	56,5	1,628	3,256
0:41:45	11,07		41,5	1,196	2,391	0:56:45	11,53		56,5	1,628	3,256
0:42:00	11,09	x	42,0	1,210	2,420	0:57:00	11,53	x	57,0	1,642	3,285
0:42:15	11,10		42,0	1,210	2,420	0:57:15	11,54		57,0	1,642	3,285
0:42:30	11,11	x	42,5	1,225	2,449	0:57:30	11,54	x	57,5	1,657	3,313
0:42:45	11,13		42,5	1,225	2,449	0:57:45	11,54		57,5	1,657	3,313
0:43:00	11,13	x	43,0	1,239	2,478	0:58:00	11,54	x	58,0	1,671	3,342
0:43:15	11,15		43,0	1,239	2,478	0:58:15	11,55		58,0	1,671	3,342
0:43:30	11,17	x	43,5	1,253	2,507	0:58:30	11,55	x	58,5	1,685	3,371
0:43:45	11,17		43,5	1,253	2,507	0:58:45	11,55		58,5	1,685	3,371
0:44:00	11,18	x	44,0	1,268	2,535	0:59:00	11,56	x	59,0	1,700	3,400
0:44:15	11,19		44,0	1,268	2,535	0:59:15	11,56		59,0	1,700	3,400
0:44:30	11,21	x	44,5	1,282	2,564	0:59:30	11,56	x	59,5	1,714	3,429
0:44:45	11,22		44,5	1,282	2,564	0:59:45	11,56		59,5	1,714	3,429
0:45:00	11,22	x	45,0	1,297	2,593	1:00:00	11,57	x	60,0	1,729	3,457

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
1:00:15	11,57		60,0	1,729	3,457
1:00:30	11,57	x	60,5	1,743	3,486
1:00:45	11,58		60,5	1,743	3,486
1:01:00	11,58	x	61,0	1,758	3,515
1:01:15	11,58		61,0	1,758	3,515
1:01:30	11,58	x	61,5	1,772	3,544
1:01:45	11,58		61,5	1,772	3,544
1:02:00	11,59	x	62,0	1,786	3,573
1:02:15	11,59		62,0	1,786	3,573
1:02:30	11,59	x	62,5	1,801	3,601
1:02:45	11,59		62,5	1,801	3,601
1:03:00	11,60	x	63,0	1,815	3,630
1:03:15	11,60		63,0	1,815	3,630
1:03:30	11,60	x	63,5	1,830	3,659
1:03:45	11,60		63,5	1,830	3,659
1:04:00	11,60	x	64,0	1,844	3,688
1:04:15	11,61		64,0	1,844	3,688
1:04:30	11,61	x	64,5	1,858	3,717
1:04:45	11,61		64,5	1,858	3,717
1:05:00	11,61	x	65,0	1,873	3,746
1:05:15	11,62		65,0	1,873	3,746
1:05:30	11,62	x	65,5	1,887	3,774
1:05:45	11,62		65,5	1,887	3,774
1:06:00	11,62	x	66,0	1,902	3,803
1:06:15	11,62		66,0	1,902	3,803
1:06:30	11,63	x	66,5	1,916	3,832
1:06:45	11,63		66,5	1,916	3,832
1:07:00	11,63	x	67,0	1,930	3,861
1:07:15	11,63		67,0	1,930	3,861
1:07:30	11,63	x	67,5	1,945	3,890
1:07:45	11,64		67,5	1,945	3,890
1:08:00	11,64	x	68,0	1,959	3,918
1:08:15	11,64		68,0	1,959	3,918
1:08:30	11,64	x	68,5	1,974	3,947
1:08:45	11,64		68,5	1,974	3,947
1:09:00	11,65	x	69,0	1,988	3,976
1:09:15	11,65		69,0	1,988	3,976
1:09:30	11,65	x	69,5	2,002	4,005
1:09:45	11,65		69,5	2,002	4,005
1:10:00	11,65	x	70,0	2,017	4,034
1:10:15	11,66		70,0	2,017	4,034
1:10:30	11,66	x	70,5	2,031	4,062
1:10:45	11,66		70,5	2,031	4,062
1:11:00	11,66	x	71,0	2,046	4,091
1:11:15	11,66		71,0	2,046	4,091
1:11:30	11,66	x	71,5	2,060	4,120
1:11:45	11,66		71,5	2,060	4,120
1:12:00	11,66		71,5	2,060	4,120

Prueba 2: Agua de mar - Cal (Reposo)

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total			Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l				Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:00:00	7,48		0,0	0,00	0,000	0:15:15	10,10		15,0	0,432	0,864
0:00:15	7,49		0,0	0,00	0,000	0:15:30	10,10	x	15,5	0,447	0,893
0:00:30	7,49	x	0,5	0,014	0,029	0:15:45	10,09		15,5	0,447	0,893
0:00:45	8,53		0,5	0,014	0,029	0:16:00	10,10	x	16,0	0,461	0,922
0:01:00	8,70	x	1,0	0,029	0,058	0:16:15	10,10		16,0	0,461	0,922
0:01:15	9,29		1,0	0,029	0,058	0:16:30	10,09	x	16,5	0,475	0,951
0:01:30	9,44	x	1,5	0,043	0,086	0:16:45	10,09		16,5	0,475	0,951
0:01:45	9,69		1,5	0,043	0,086	0:17:00	10,08	x	17,0	0,490	0,980
0:02:00	9,74	x	2,0	0,058	0,115	0:17:15	10,09		17,0	0,490	0,980
0:02:15	9,80		2,0	0,058	0,115	0:17:30	10,08	x	17,5	0,504	1,008
0:02:30	9,83	x	2,5	0,072	0,144	0:17:45	10,09		17,5	0,504	1,008
0:02:45	9,87		2,5	0,072	0,144	0:18:00	10,08	x	18,0	0,519	1,037
0:03:00	9,87	x	3,0	0,086	0,173	0:18:15	10,09		18,0	0,519	1,037
0:03:15	9,90		3,0	0,086	0,173	0:18:30	10,08	x	18,5	0,533	1,066
0:03:30	9,92	x	3,5	0,101	0,202	0:18:45	10,09		18,5	0,533	1,066
0:03:45	9,93		3,5	0,101	0,202	0:19:00	10,08	x	19,0	0,547	1,095
0:04:00	9,93	x	4,0	0,115	0,230	0:19:15	10,09		19,0	0,547	1,095
0:04:15	9,94		4,0	0,115	0,230	0:19:30	10,08	x	19,5	0,562	1,124
0:04:30	9,95	x	4,5	0,130	0,259	0:19:45	10,10		19,5	0,562	1,124
0:04:45	9,96		4,5	0,130	0,259	0:20:00	10,08	x	20,0	0,576	1,152
0:05:00	9,97	x	5,0	0,144	0,288	0:20:15	10,09		20,0	0,576	1,152
0:05:15	9,98		5,0	0,144	0,288	0:20:30	10,11	x	20,5	0,591	1,181
0:05:30	9,99	x	5,5	0,158	0,317	0:20:45	10,10		20,5	0,591	1,181
0:05:45	10,00		5,5	0,158	0,317	0:21:00	10,09	x	21,0	0,605	1,210
0:06:00	10,00	x	6,0	0,173	0,346	0:21:15	10,10		21,0	0,605	1,210
0:06:15	10,02		6,0	0,173	0,346	0:21:30	10,10	x	21,5	0,619	1,239
0:06:30	10,01	x	6,5	0,187	0,375	0:21:45	10,11		21,5	0,619	1,239
0:06:45	10,03		6,5	0,187	0,375	0:22:00	10,10	x	22,0	0,634	1,268
0:07:00	10,04	x	7,0	0,202	0,403	0:22:15	10,12		22,0	0,634	1,268
0:07:15	10,04		7,0	0,202	0,403	0:22:30	10,11	x	22,5	0,648	1,297
0:07:30	10,04	x	7,5	0,216	0,432	0:22:45	10,13		22,5	0,648	1,297
0:07:45	10,05		7,5	0,216	0,432	0:23:00	10,12	x	23,0	0,663	1,325
0:08:00	10,05	x	8,0	0,230	0,461	0:23:15	10,14		23,0	0,663	1,325
0:08:15	10,06		8,0	0,230	0,461	0:23:30	10,13	x	23,5	0,677	1,354
0:08:30	10,06	x	8,5	0,245	0,490	0:23:45	10,15		23,5	0,677	1,354
0:08:45	10,07		8,5	0,245	0,490	0:24:00	10,16	x	24,0	0,691	1,383
0:09:00	10,07	x	9,0	0,259	0,519	0:24:15	10,17		24,0	0,691	1,383
0:09:15	10,08		9,0	0,259	0,519	0:24:30	10,16	x	24,5	0,706	1,412
0:09:30	10,09	x	9,5	0,274	0,547	0:24:45	10,18		24,5	0,706	1,412
0:09:45	10,09		9,5	0,274	0,547	0:25:00	10,17	x	25,0	0,720	1,441
0:10:00	10,08	x	10,0	0,288	0,576	0:25:15	10,19		25,0	0,720	1,441
0:10:15	10,09		10,0	0,288	0,576	0:25:30	10,18	x	25,5	0,735	1,469
0:10:30	10,09	x	10,5	0,303	0,605	0:25:45	10,20		25,5	0,735	1,469
0:10:45	10,09		10,5	0,303	0,605	0:26:00	10,19	x	26,0	0,749	1,498
0:11:00	10,10	x	11,0	0,317	0,634	0:26:15	10,22		26,0	0,749	1,498
0:11:15	10,10		11,0	0,317	0,634	0:26:30	10,20	x	26,5	0,764	1,527
0:11:30	10,10	x	11,5	0,331	0,663	0:26:45	10,24		26,5	0,764	1,527
0:11:45	10,10		11,5	0,331	0,663	0:27:00	10,22	x	27,0	0,778	1,556
0:12:00	10,10	x	12,0	0,346	0,691	0:27:15	10,25		27,0	0,778	1,556
0:12:15	10,10		12,0	0,346	0,691	0:27:30	10,24	x	27,5	0,792	1,585
0:12:30	10,10	x	12,5	0,360	0,720	0:27:45	10,26		27,5	0,792	1,585
0:12:45	10,10		12,5	0,360	0,720	0:28:00	10,26	x	28,0	0,807	1,613
0:13:00	10,10	x	13,0	0,375	0,749	0:28:15	10,28		28,0	0,807	1,613
0:13:15	10,10		13,0	0,375	0,749	0:28:30	10,27	x	28,5	0,821	1,642
0:13:30	10,10	x	13,5	0,389	0,778	0:28:45	10,30		28,5	0,821	1,642
0:13:45	10,11		13,5	0,389	0,778	0:29:00	10,29	x	29,0	0,836	1,671
0:14:00	10,10	x	14,0	0,403	0,807	0:29:15	10,32		29,0	0,836	1,671
0:14:15	10,11		14,0	0,403	0,807	0:29:30	10,32	x	29,5	0,850	1,700
0:14:30	10,10	x	14,5	0,418	0,836	0:29:45	10,36		29,5	0,850	1,700
0:14:45	10,11		14,5	0,418	0,836	0:30:00	10,35	x	30,0	0,864	1,729
0:15:00	10,11	x	15,0	0,432	0,864						

			Cal adicionada total						Cal adicionada total		
Tiempo seg	pH	Adición Cal	Lechada ml	Cal g	Consumo g/l	Tiempo seg	pH	Adición Cal	Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:30:15	10,39		30,0	0,864	1,729	0:45:15	11,65		45,0	1,297	2,593
0:30:30	10,38	x	30,5	0,879	1,758	0:45:30	11,65	x	45,5	1,311	2,622
0:30:45	10,43		30,5	0,879	1,758	0:45:45	11,66		45,5	1,311	2,622
0:31:00	10,42	x	31,0	0,893	1,786	0:46:00	11,66	x	46,0	1,325	2,651
0:31:15	10,47		31,0	0,893	1,786	0:46:15	11,67		46,0	1,325	2,651
0:31:30	10,46	x	31,5	0,908	1,815	0:46:30	11,67	x	46,5	1,340	2,680
0:31:45	10,53		31,5	0,908	1,815	0:46:45	11,68		46,5	1,340	2,680
0:32:00	10,53	x	32,0	0,922	1,844	0:47:00	11,68	x	47,0	1,354	2,708
0:32:15	10,61		32,0	0,922	1,844	0:47:15	11,69		47,0	1,354	2,708
0:32:30	10,61	x	32,5	0,936	1,873	0:47:30	11,69	x	47,5	1,369	2,737
0:32:45	10,71		32,5	0,936	1,873	0:47:45	11,70		47,5	1,369	2,737
0:33:00	10,78	x	33,0	0,951	1,902	0:48:00	11,70	x	48,0	1,383	2,766
0:33:15	10,83		33,0	0,951	1,902	0:48:15	11,71		48,0	1,383	2,766
0:33:30	10,85	x	33,5	0,965	1,930	0:48:30	11,71	x	48,5	1,397	2,795
0:33:45	10,95		33,5	0,965	1,930	0:48:45	11,71		48,5	1,397	2,795
0:34:00	10,97	x	34,0	0,980	1,959	0:49:00	11,72	x	49,0	1,412	2,824
0:34:15	11,04		34,0	0,980	1,959	0:49:15	11,72		49,0	1,412	2,824
0:34:30	11,08	x	34,5	0,994	1,988	0:49:30	11,72	x	49,5	1,426	2,852
0:34:45	11,11		34,5	0,994	1,988	0:49:45	11,73		49,5	1,426	2,852
0:35:00	11,13	x	35,0	1,008	2,017	0:50:00	11,73	x	50,0	1,441	2,881
0:35:15	11,18		35,0	1,008	2,017	0:50:15	11,73		50,0	1,441	2,881
0:35:30	11,19	x	35,5	1,023	2,046	0:50:30	11,73	x	50,5	1,455	2,910
0:35:45	11,24		35,5	1,023	2,046	0:50:45	11,74		50,5	1,455	2,910
0:36:00	11,25	x	36,0	1,037	2,074	0:51:00	11,74	x	51,0	1,469	2,939
0:36:15	11,29		36,0	1,037	2,074	0:51:15	11,74		51,0	1,469	2,939
0:36:30	11,29	x	36,5	1,052	2,103	0:51:30	11,74	x	51,5	1,484	2,968
0:36:45	11,32		36,5	1,052	2,103	0:51:45	11,74		51,5	1,484	2,968
0:37:00	11,33	x	37,0	1,066	2,132	0:52:00	11,74	x	52,0	1,498	2,996
0:37:15	11,35		37,0	1,066	2,132						
0:37:30	11,36	x	37,5	1,080	2,161						
0:37:45	11,39		37,5	1,080	2,161						
0:38:00	11,39	x	38,0	1,095	2,190						
0:38:15	11,42		38,0	1,095	2,190						
0:38:30	11,43	x	38,5	1,109	2,219						
0:38:45	11,44		38,5	1,109	2,219						
0:39:00	11,44	x	39,0	1,124	2,247						
0:39:15	11,47		39,0	1,124	2,247						
0:39:30	11,47	x	39,5	1,138	2,276						
0:39:45	11,49		39,5	1,138	2,276						
0:40:00	11,49	x	40,0	1,152	2,305						
0:40:15	11,51		40,0	1,152	2,305						
0:40:30	11,51	x	40,5	1,167	2,334						
0:40:45	11,53		40,5	1,167	2,334						
0:41:00	11,53	x	41,0	1,181	2,363						
0:41:15	11,53		41,0	1,181	2,363						
0:41:30	11,53	x	41,5	1,196	2,391						
0:41:45	11,56		41,5	1,196	2,391						
0:42:00	11,56	x	42,0	1,210	2,420						
0:42:15	11,57		42,0	1,210	2,420						
0:42:30	11,58	x	42,5	1,225	2,449						
0:42:45	11,59		42,5	1,225	2,449						
0:43:00	11,59	x	43,0	1,239	2,478						
0:43:15	11,60		43,0	1,239	2,478						
0:43:30	11,61	x	43,5	1,253	2,507						
0:43:45	11,62		43,5	1,253	2,507						
0:44:00	11,62	x	44,0	1,268	2,535						
0:44:15	11,63		44,0	1,268	2,535						
0:44:30	11,63	x	44,5	1,282	2,564						
0:44:45	11,64		44,5	1,282	2,564						
0:45:00	11,64	x	45,0	1,297	2,593						

Prueba 3: Agua de mar - Cal (Pretratamiento)

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total			Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l				Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:00:00	9,63		10,0	0,288	0,576	0:15:15	10,19		25,0	0,720	1,441
0:00:15	9,63		10,0	0,288	0,576	0:15:30	10,17	x	25,5	0,735	1,469
0:00:30	9,63	x	10,5	0,303	0,605	0:15:45	10,21		25,5	0,735	1,469
0:00:45	9,80		10,5	0,303	0,605	0:16:00	10,19	x	26,0	0,749	1,498
0:01:00	9,79	x	11,0	0,317	0,634	0:16:15	10,22		26,0	0,749	1,498
0:01:15	9,87		11,0	0,317	0,634	0:16:30	10,20	x	26,5	0,764	1,527
0:01:30	9,85	x	11,5	0,331	0,663	0:16:45	10,24		26,5	0,764	1,527
0:01:45	9,90		11,5	0,331	0,663	0:17:00	10,22	x	27,0	0,778	1,556
0:02:00	9,88	x	12,0	0,346	0,691	0:17:15	10,26		27,0	0,778	1,556
0:02:15	9,91		12,0	0,346	0,691	0:17:30	10,23	x	27,5	0,792	1,585
0:02:30	9,89	x	12,5	0,360	0,720	0:17:45	10,28		27,5	0,792	1,585
0:02:45	9,92		12,5	0,360	0,720	0:18:00	10,26	x	28,0	0,807	1,613
0:03:00	9,89	x	13,0	0,375	0,749	0:18:15	10,30		28,0	0,807	1,613
0:03:15	9,93		13,0	0,375	0,749	0:18:30	10,28	x	28,5	0,821	1,642
0:03:30	9,91	x	13,5	0,389	0,778	0:18:45	10,33		28,5	0,821	1,642
0:03:45	9,94		13,5	0,389	0,778	0:19:00	10,30	x	29,0	0,836	1,671
0:04:00	9,91	x	14,0	0,403	0,807	0:19:15	10,35		29,0	0,836	1,671
0:04:15	9,95		14,0	0,403	0,807	0:19:30	10,33	x	29,5	0,850	1,700
0:04:30	9,92	x	14,5	0,418	0,836	0:19:45	10,38		29,5	0,850	1,700
0:04:45	9,96		14,5	0,418	0,836	0:20:00	10,36	x	30,0	0,864	1,729
0:05:00	9,93	x	15,0	0,432	0,864	0:20:15	10,42		30,0	0,864	1,729
0:05:15	9,97		15,0	0,432	0,864	0:20:30	10,40	x	30,5	0,879	1,758
0:05:30	9,94	x	15,5	0,447	0,893	0:20:45	10,45		30,5	0,879	1,758
0:05:45	9,98		15,5	0,447	0,893	0:21:00	10,44	x	31,0	0,893	1,786
0:06:00	9,95	x	16,0	0,461	0,922	0:21:15	10,51		31,0	0,893	1,786
0:06:15	9,99		16,0	0,461	0,922	0:21:30	10,49	x	31,5	0,908	1,815
0:06:30	9,96	x	16,5	0,475	0,951	0:21:45	10,57		31,5	0,908	1,815
0:06:45	10,00		16,5	0,475	0,951	0:22:00	10,56	x	32,0	0,922	1,844
0:07:00	9,97	x	17,0	0,490	0,980	0:22:15	10,65		32,0	0,922	1,844
0:07:15	10,01		17,0	0,490	0,980	0:22:30	10,64	x	32,5	0,936	1,873
0:07:30	9,98	x	17,5	0,504	1,008	0:22:45	10,75		32,5	0,936	1,873
0:07:45	10,01		17,5	0,504	1,008	0:23:00	10,75	x	33,0	0,951	1,902
0:08:00	9,99	x	18,0	0,519	1,037	0:23:15	10,88		33,0	0,951	1,902
0:08:15	10,02		18,0	0,519	1,037	0:23:30	10,89	x	33,5	0,965	1,930
0:08:30	10,00	x	18,5	0,533	1,066	0:23:45	11,00		33,5	0,965	1,930
0:08:45	10,04		18,5	0,533	1,066	0:24:00	11,02	x	34,0	0,980	1,959
0:09:00	10,01	x	19,0	0,547	1,095	0:24:15	11,11		34,0	0,980	1,959
0:09:15	10,05		19,0	0,547	1,095	0:24:30	11,12	x	34,5	0,994	1,988
0:09:30	10,02	x	19,5	0,562	1,124	0:24:45	11,19		34,5	0,994	1,988
0:09:45	10,06		19,5	0,562	1,124	0:25:00	11,20	x	35,0	1,008	2,017
0:10:00	10,03	x	20,0	0,576	1,152	0:25:15	11,26		35,0	1,008	2,017
0:10:15	10,07		20,0	0,576	1,152	0:25:30	11,27	x	35,5	1,023	2,046
0:10:30	10,04	x	20,5	0,591	1,181	0:25:45	11,31		35,5	1,023	2,046
0:10:45	10,07		20,5	0,591	1,181	0:26:00	11,32	x	36,0	1,037	2,074
0:11:00	10,05	x	21,0	0,605	1,210	0:26:15	11,36		36,0	1,037	2,074
0:11:15	10,07		21,0	0,605	1,210	0:26:30	11,36	x	36,5	1,052	2,103
0:11:30	10,07	x	21,5	0,619	1,239	0:26:45	11,40		36,5	1,052	2,103
0:11:45	10,09		21,5	0,619	1,239	0:27:00	11,41	x	37,0	1,066	2,132
0:12:00	10,07	x	22,0	0,634	1,268	0:27:15	11,44		37,0	1,066	2,132
0:12:15	10,11		22,0	0,634	1,268	0:27:30	11,44	x	37,5	1,080	2,161
0:12:30	10,09	x	22,5	0,648	1,297	0:27:45	11,47		37,5	1,080	2,161
0:12:45	10,11		22,5	0,648	1,297	0:28:00	11,47	x	38,0	1,095	2,190
0:13:00	10,10	x	23,0	0,663	1,325	0:28:15	11,50		38,0	1,095	2,190
0:13:15	10,13		23,0	0,663	1,325	0:28:30	11,50	x	38,5	1,109	2,219
0:13:30	10,12	x	23,5	0,677	1,354	0:28:45	11,52		38,5	1,109	2,219
0:13:45	10,15		23,5	0,677	1,354	0:29:00	11,52	x	39,0	1,124	2,247
0:14:00	10,12	x	24,0	0,691	1,383	0:29:15	11,55		39,0	1,124	2,247
0:14:15	10,16		24,0	0,691	1,383	0:29:30	11,55	x	39,5	1,138	2,276
0:14:30	10,14	x	24,5	0,706	1,412	0:29:45	11,57		39,5	1,138	2,276
0:14:45	10,18		24,5	0,706	1,412	0:30:00	11,57	x	40,0	1,152	2,305
0:15:00	10,15	x	25,0	0,720	1,441						

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:30:15	11,59		40,0	1,152	2,305
0:30:30	11,59	x	40,5	1,167	2,334
0:30:45	11,61		40,5	1,167	2,334
0:31:00	11,61	x	41,0	1,181	2,363
0:31:15	11,62		41,0	1,181	2,363
0:31:30	11,62	x	41,5	1,196	2,391
0:31:45	11,64		41,5	1,196	2,391
0:32:00	11,64	x	42,0	1,210	2,420
0:32:15	11,65		42,0	1,210	2,420
0:32:30	11,66	x	42,5	1,225	2,449
0:32:45	11,67		42,5	1,225	2,449
0:33:00	11,67	x	43,0	1,239	2,478
0:33:15	11,68		43,0	1,239	2,478
0:33:30	11,68	x	43,5	1,253	2,507
0:33:45	11,69		43,5	1,253	2,507
0:34:00	11,70	x	44,0	1,268	2,535
0:34:15	11,71		44,0	1,268	2,535
0:34:30	11,71	x	44,5	1,282	2,564
0:34:45	11,71		44,5	1,282	2,564
0:35:00	11,71	x	45,0	1,297	2,593

Anexo D

Mediciones pruebas de contacto para sistemas “agua de mar-cal-mineral”

Prueba 4: Agua de mar – Cal - Mineral

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total			Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l				Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:00:00	6,60		0,0	0,00	0,000	0:15:15	9,97		15,0	0,432	0,864
0:00:15	6,60		0,0	0,00	0,000	0:15:30	9,98	x	15,5	0,447	0,893
0:00:30	6,60	x	0,5	0,014	0,029	0:15:45	9,97		15,5	0,447	0,893
0:00:45	7,47		0,5	0,014	0,029	0:16:00	9,96	x	16,0	0,461	0,922
0:01:00	7,69	x	1,0	0,029	0,058	0:16:15	9,98		16,0	0,461	0,922
0:01:15	7,90		1,0	0,029	0,058	0:16:30	9,97	x	16,5	0,475	0,951
0:01:30	8,41	x	1,5	0,043	0,086	0:16:45	9,99		16,5	0,475	0,951
0:01:45	8,72		1,5	0,043	0,086	0:17:00	9,98	x	17,0	0,490	0,980
0:02:00	8,82	x	2,0	0,058	0,115	0:17:15	9,99		17,0	0,490	0,980
0:02:15	8,98		2,0	0,058	0,115	0:17:30	9,98	x	17,5	0,504	1,008
0:02:30	9,05	x	2,5	0,072	0,144	0:17:45	10,00		17,5	0,504	1,008
0:02:45	9,17		2,5	0,072	0,144	0:18:00	9,99	x	18,0	0,519	1,037
0:03:00	9,21	x	3,0	0,086	0,173	0:18:15	10,01		18,0	0,519	1,037
0:03:15	9,27		3,0	0,086	0,173	0:18:30	10,00	x	18,5	0,533	1,066
0:03:30	9,34	x	3,5	0,101	0,202	0:18:45	10,02		18,5	0,533	1,066
0:03:45	9,39		3,5	0,101	0,202	0:19:00	10,01	x	19,0	0,547	1,095
0:04:00	9,42	x	4,0	0,115	0,230	0:19:15	10,03		19,0	0,547	1,095
0:04:15	9,47		4,0	0,115	0,230	0:19:30	10,02	x	19,5	0,562	1,124
0:04:30	9,49	x	4,5	0,130	0,259	0:19:45	10,04		19,5	0,562	1,124
0:04:45	9,54		4,5	0,130	0,259	0:20:00	10,03	x	20,0	0,576	1,152
0:05:00	9,55	x	5,0	0,144	0,288	0:20:15	10,05		20,0	0,576	1,152
0:05:15	9,59		5,0	0,144	0,288	0:20:30	10,03	x	20,5	0,591	1,181
0:05:30	9,60	x	5,5	0,158	0,317	0:20:45	10,05		20,5	0,591	1,181
0:05:45	9,63		5,5	0,158	0,317	0:21:00	10,04	x	21,0	0,605	1,210
0:06:00	9,65	x	6,0	0,173	0,346	0:21:15	10,07		21,0	0,605	1,210
0:06:15	9,68		6,0	0,173	0,346	0:21:30	10,05	x	21,5	0,619	1,239
0:06:30	9,69	x	6,5	0,187	0,375	0:21:45	10,08		21,5	0,619	1,239
0:06:45	9,71		6,5	0,187	0,375	0:22:00	10,07	x	22,0	0,634	1,268
0:07:00	9,72	x	7,0	0,202	0,403	0:22:15	10,08		22,0	0,634	1,268
0:07:15	9,75		7,0	0,202	0,403	0:22:30	10,08	x	22,5	0,648	1,297
0:07:30	9,76	x	7,5	0,216	0,432	0:22:45	10,09		22,5	0,648	1,297
0:07:45	9,78		7,5	0,216	0,432	0:23:00	10,09	x	23,0	0,663	1,325
0:08:00	9,78	x	8,0	0,230	0,461	0:23:15	10,12		23,0	0,663	1,325
0:08:15	9,80		8,0	0,230	0,461	0:23:30	10,11	x	23,5	0,677	1,354
0:08:30	9,81	x	8,5	0,245	0,490	0:23:45	10,14		23,5	0,677	1,354
0:08:45	9,83		8,5	0,245	0,490	0:24:00	10,13	x	24,0	0,691	1,383
0:09:00	9,83	x	9,0	0,259	0,519	0:24:15	10,15		24,0	0,691	1,383
0:09:15	9,85		9,0	0,259	0,519	0:24:30	10,15	x	24,5	0,706	1,412
0:09:30	9,85	x	9,5	0,274	0,547	0:24:45	10,17		24,5	0,706	1,412
0:09:45	9,87		9,5	0,274	0,547	0:25:00	10,16	x	25,0	0,720	1,441
0:10:00	9,86	x	10,0	0,288	0,576	0:25:15	10,19		25,0	0,720	1,441
0:10:15	9,88		10,0	0,288	0,576	0:25:30	10,18	x	25,5	0,735	1,469
0:10:30	9,89	x	10,5	0,303	0,605	0:25:45	10,21		25,5	0,735	1,469
0:10:45	9,89		10,5	0,303	0,605	0:26:00	10,20	x	26,0	0,749	1,498
0:11:00	9,89	x	11,0	0,317	0,634	0:26:15	10,22		26,0	0,749	1,498
0:11:15	9,90		11,0	0,317	0,634	0:26:30	10,23	x	26,5	0,764	1,527
0:11:30	9,91	x	11,5	0,331	0,663	0:26:45	10,25		26,5	0,764	1,527
0:11:45	9,91		11,5	0,331	0,663	0:27:00	10,23	x	27,0	0,778	1,556
0:12:00	9,91	x	12,0	0,346	0,691	0:27:15	10,27		27,0	0,778	1,556
0:12:15	9,91		12,0	0,346	0,691	0:27:30	10,26	x	27,5	0,792	1,585
0:12:30	9,92	x	12,5	0,360	0,720	0:27:45	10,30		27,5	0,792	1,585
0:12:45	9,93		12,5	0,360	0,720	0:28:00	10,28	x	28,0	0,807	1,613
0:13:00	9,93	x	13,0	0,375	0,749	0:28:15	10,30		28,0	0,807	1,613
0:13:15	9,94		13,0	0,375	0,749	0:28:30	10,31	x	28,5	0,821	1,642
0:13:30	9,94	x	13,5	0,389	0,778	0:28:45	10,36		28,5	0,821	1,642
0:13:45	9,95		13,5	0,389	0,778	0:29:00	10,35	x	29,0	0,836	1,671
0:14:00	9,94	x	14,0	0,403	0,807	0:29:15	10,40		29,0	0,836	1,671
0:14:15	9,95		14,0	0,403	0,807	0:29:30	10,39	x	29,5	0,850	1,700
0:14:30	9,95	x	14,5	0,418	0,836	0:29:45	10,45		29,5	0,850	1,700
0:14:45	9,95		14,5	0,418	0,836	0:30:00	10,44	x	30,0	0,864	1,729
0:15:00	9,95	x	15,0	0,432	0,864						

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total			Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l				Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:30:15	10,50		30,0	0,864	1,729	0:45:15	11,62		45,0	1,297	2,593
0:30:30	10,50	x	30,5	0,879	1,758	0:45:30	11,63	x	45,5	1,311	2,622
0:30:45	10,57		30,5	0,879	1,758	0:45:45	11,64		45,5	1,311	2,622
0:31:00	10,58	x	31,0	0,893	1,786	0:46:00	11,64	x	46,0	1,325	2,651
0:31:15	10,66		31,0	0,893	1,786	0:46:15	11,65		46,0	1,325	2,651
0:31:30	10,68	x	31,5	0,908	1,815	0:46:30	11,65	x	46,5	1,340	2,680
0:31:45	10,75		31,5	0,908	1,815	0:46:45	11,66		46,5	1,340	2,680
0:32:00	10,78	x	32,0	0,922	1,844	0:47:00	11,66	x	47,0	1,354	2,708
0:32:15	10,84		32,0	0,922	1,844	0:47:15	11,68		47,0	1,354	2,708
0:32:30	10,87	x	32,5	0,936	1,873	0:47:30	11,68	x	47,5	1,369	2,737
0:32:45	10,93		32,5	0,936	1,873	0:47:45	11,68		47,5	1,369	2,737
0:33:00	10,95	x	33,0	0,951	1,902	0:48:00	11,68	x	48,0	1,383	2,766
0:33:15	11		33,0	0,951	1,902	0:48:15	11,68		48,0	1,383	2,766
0:33:30	11,02	x	33,5	0,965	1,930	0:48:30	11,69	x	48,5	1,397	2,795
0:33:45	11,03		33,5	0,965	1,930	0:48:45	11,69		48,5	1,397	2,795
0:34:00	11,08	x	34,0	0,980	1,959	0:49:00	11,7	x	49,0	1,412	2,824
0:34:15	11,11		34,0	0,980	1,959	0:49:15	11,7		49,0	1,412	2,824
0:34:30	11,13	x	34,5	0,994	1,988	0:49:30	11,7	x	49,5	1,426	2,852
0:34:45	11,15		34,5	0,994	1,988	0:49:45	11,71		49,5	1,426	2,852
0:35:00	11,17	x	35,0	1,008	2,017	0:50:00	11,71	x	50,0	1,441	2,881
0:35:15	11,2		35,0	1,008	2,017	0:50:15	11,71		50,0	1,441	2,881
0:35:30	11,21	x	35,5	1,023	2,046	0:50:30	11,71	x	50,5	1,455	2,910
0:35:45	11,24		35,5	1,023	2,046	0:50:45	11,71		50,5	1,455	2,910
0:36:00	11,25	x	36,0	1,037	2,074	0:51:00	11,71	x	51,0	1,469	2,939
0:36:15	11,27		36,0	1,037	2,074	0:51:15	11,71		51,0	1,469	2,939
0:36:30	11,28	x	36,5	1,052	2,103	0:51:30	11,71	x	51,5	1,484	2,968
0:36:45	11,31		36,5	1,052	2,103	0:51:45	11,71		51,5	1,484	2,968
0:37:00	11,32	x	37,0	1,066	2,132	0:52:00	11,71	x	52,0	1,498	2,996
0:37:15	11,33		37,0	1,066	2,132	0:52:15	11,71		52,0	1,498	2,996
0:37:30	11,34	x	37,5	1,080	2,161	0:52:30	11,71	x	52,5	1,513	3,025
0:37:45	11,36		37,5	1,080	2,161	0:52:45	11,71		52,5	1,513	3,025
0:38:00	11,37	x	38,0	1,095	2,190	0:53:00	11,71	x	53,0	1,527	3,054
0:38:15	11,38		38,0	1,095	2,190	0:53:15	11,71		53,0	1,527	3,054
0:38:30	11,4	x	38,5	1,109	2,219	0:53:30	11,71	x	53,5	1,541	3,083
0:38:45	11,42		38,5	1,109	2,219	0:53:45	11,71		53,5	1,541	3,083
0:39:00	11,42	x	39,0	1,124	2,247	0:54:00	11,71	x	54,0	1,556	3,112
0:39:15	11,44		39,0	1,124	2,247	0:54:15	11,71		54,0	1,556	3,112
0:39:30	11,44	x	39,5	1,138	2,276	0:54:30	11,71	x	54,5	1,570	3,140
0:39:45	11,44		39,5	1,138	2,276	0:54:45	11,71		54,5	1,570	3,140
0:40:00	11,46	x	40,0	1,152	2,305	0:55:00	11,71	x	55,0	1,585	3,169
0:40:15	11,48		40,0	1,152	2,305	0:55:15	11,71		55,0	1,585	3,169
0:40:30	11,49	x	40,5	1,167	2,334	0:55:30	11,71	x	55,5	1,599	3,198
0:40:45	11,5		40,5	1,167	2,334	0:55:45	11,71		55,5	1,599	3,198
0:41:00	11,51	x	41,0	1,181	2,363	0:56:00	11,71	x	56,0	1,613	3,227
0:41:15	11,51		41,0	1,181	2,363	0:56:15	11,71		56,0	1,613	3,227
0:41:30	11,51	x	41,5	1,196	2,391	0:56:30	11,71	x	56,5	1,628	3,256
0:41:45	11,52		41,5	1,196	2,391	0:56:45	11,71		56,5	1,628	3,256
0:42:00	11,53	x	42,0	1,210	2,420	0:57:00	11,71	x	57,0	1,642	3,285
0:42:15	11,54		42,0	1,210	2,420	0:57:15	11,71		57,0	1,642	3,285
0:42:30	11,55	x	42,5	1,225	2,449	0:57:30	11,71	x	57,5	1,657	3,313
0:42:45	11,55		42,5	1,225	2,449	0:57:45	11,71		57,5	1,657	3,313
0:43:00	11,56	x	43,0	1,239	2,478	0:58:00	11,71	x	58,0	1,671	3,342
0:43:15	11,57		43,0	1,239	2,478	0:58:15	11,71		58,0	1,671	3,342
0:43:30	11,57	x	43,5	1,253	2,507	0:58:30	11,71	x	58,5	1,685	3,371
0:43:45	11,58		43,5	1,253	2,507	0:58:45	11,71		58,5	1,685	3,371
0:44:00	11,59	x	44,0	1,268	2,535	0:59:00	11,71	x	59,0	1,700	3,400
0:44:15	11,6		44,0	1,268	2,535	0:59:15	11,71		59,0	1,700	3,400
0:44:30	11,6	x	44,5	1,282	2,564	0:59:30	11,71	x	59,5	1,714	3,429
0:44:45	11,61		44,5	1,282	2,564	0:59:45	11,71		59,5	1,714	3,429
0:45:00	11,62	x	45,0	1,297	2,593	1:00:00	11,71	x	60,0	1,729	3,457

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
1:00:15	11,71		60,0	1,729	3,457
1:00:30	11,71	x	60,5	1,743	3,486
1:00:45	11,71		60,5	1,743	3,486
1:01:00	11,71	x	61,0	1,758	3,515
1:01:15	11,71		61,0	1,758	3,515
1:01:30	11,71	x	61,5	1,772	3,544
1:01:45	11,71		61,5	1,772	3,544
1:02:00	11,71	x	62,0	1,786	3,573
1:02:15	11,71		62,0	1,786	3,573
1:02:30	11,71	x	62,5	1,801	3,601
1:02:45	11,71		62,5	1,801	3,601
1:03:00	11,71	x	63,0	1,815	3,630
1:03:15	11,71		63,0	1,815	3,630
1:03:30	11,71	x	63,5	1,830	3,659
1:03:45	11,71		63,5	1,830	3,659
1:04:00	11,71	x	64,0	1,844	3,688
1:04:15	11,71		64,0	1,844	3,688
1:04:30	11,71	x	64,5	1,858	3,717
1:04:45	11,71		64,5	1,858	3,717
1:05:00	11,71	x	65,0	1,873	3,746
1:05:15	11,71		65,0	1,873	3,746
1:05:30	11,71	x	65,5	1,887	3,774
1:05:45	11,71		65,5	1,887	3,774
1:06:00	11,71	x	66,0	1,902	3,803
1:06:15	11,71		66,0	1,902	3,803
1:06:30	11,71	x	66,5	1,916	3,832
1:06:45	11,71		66,5	1,916	3,832
1:07:00	11,71	x	67,0	1,930	3,861
1:07:15	11,71		67,0	1,930	3,861
1:07:30	11,71	x	67,5	1,945	3,890
1:07:45	11,71		67,5	1,945	3,890
1:08:00	11,71	x	68,0	1,959	3,918
1:08:15	11,71		68,0	1,959	3,918
1:08:30	11,71	x	68,5	1,974	3,947
1:08:45	11,71		68,5	1,974	3,947
1:09:00	11,71	x	69,0	1,988	3,976
1:09:15	11,71		69,0	1,988	3,976
1:09:30	11,71	x	69,5	2,002	4,005
1:09:45	11,71		69,5	2,002	4,005
1:10:00	11,71	x	70,0	2,017	4,034
1:10:15	11,71		70,0	2,017	4,034
1:10:30	11,71	x	70,5	2,031	4,062
1:10:45	11,71		70,5	2,031	4,062
1:11:00	11,71	x	71,0	2,046	4,091
1:11:15	11,71		71,0	2,046	4,091
1:11:30	11,71	x	71,5	2,060	4,120
1:11:45	11,71		71,5	2,060	4,120
1:12:00	11,71	x	72,0	2,074	4,149

Prueba 5: Agua de mar – Cal - Mineral (Reposo)

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total			Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l				Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:00:00	7,50		0,0	0,00	0,000	0:15:15	10,19		15,0	0,432	0,864
0:00:15	7,49		0,0	0,00	0,000	0:15:30	10,17	x	15,5	0,447	0,893
0:00:30	7,49	x	0,5	0,014	0,029	0:15:45	10,19		15,5	0,447	0,893
0:00:45	8,50		0,5	0,014	0,029	0:16:00	10,18	x	16,0	0,461	0,922
0:01:00	8,63	x	1,0	0,029	0,058	0:16:15	10,19		16,0	0,461	0,922
0:01:15	9,28		1,0	0,029	0,058	0:16:30	10,17	x	16,5	0,475	0,951
0:01:30	9,43	x	1,5	0,043	0,086	0:16:45	10,20		16,5	0,475	0,951
0:01:45	9,65		1,5	0,043	0,086	0:17:00	10,18	x	17,0	0,490	0,980
0:02:00	9,68	x	2,0	0,058	0,115	0:17:15	10,20		17,0	0,490	0,980
0:02:15	9,80		2,0	0,058	0,115	0:17:30	10,18	x	17,5	0,504	1,008
0:02:30	9,81	x	2,5	0,072	0,144	0:17:45	10,21		17,5	0,504	1,008
0:02:45	9,89		2,5	0,072	0,144	0:18:00	10,19	x	18,0	0,519	1,037
0:03:00	9,89	x	3,0	0,086	0,173	0:18:15	10,21		18,0	0,519	1,037
0:03:15	9,94		3,0	0,086	0,173	0:18:30	10,19	x	18,5	0,533	1,066
0:03:30	9,94	x	3,5	0,101	0,202	0:18:45	10,22		18,5	0,533	1,066
0:03:45	9,99		3,5	0,101	0,202	0:19:00	10,20	x	19,0	0,547	1,095
0:04:00	9,99	x	4,0	0,115	0,230	0:19:15	10,23		19,0	0,547	1,095
0:04:15	10,02		4,0	0,115	0,230	0:19:30	10,22	x	19,5	0,562	1,124
0:04:30	10,02	x	4,5	0,130	0,259	0:19:45	10,24		19,5	0,562	1,124
0:04:45	10,05		4,5	0,130	0,259	0:20:00	10,21	x	20,0	0,576	1,152
0:05:00	10,04	x	5,0	0,144	0,288	0:20:15	10,24		20,0	0,576	1,152
0:05:15	10,06		5,0	0,144	0,288	0:20:30	10,23	x	20,5	0,591	1,181
0:05:30	10,07	x	5,5	0,158	0,317	0:20:45	10,26		20,5	0,591	1,181
0:05:45	10,09		5,5	0,158	0,317	0:21:00	10,23	x	21,0	0,605	1,210
0:06:00	10,10	x	6,0	0,173	0,346	0:21:15	10,27		21,0	0,605	1,210
0:06:15	10,11		6,0	0,173	0,346	0:21:30	10,24	x	21,5	0,619	1,239
0:06:30	10,10	x	6,5	0,187	0,375	0:21:45	10,28		21,5	0,619	1,239
0:06:45	10,12		6,5	0,187	0,375	0:22:00	10,27	x	22,0	0,634	1,268
0:07:00	10,12	x	7,0	0,202	0,403	0:22:15	10,30		22,0	0,634	1,268
0:07:15	10,14		7,0	0,202	0,403	0:22:30	10,29	x	22,5	0,648	1,297
0:07:30	10,13	x	7,5	0,216	0,432	0:22:45	10,32		22,5	0,648	1,297
0:07:45	10,15		7,5	0,216	0,432	0:23:00	10,29	x	23,0	0,663	1,325
0:08:00	10,14	x	8,0	0,230	0,461	0:23:15	10,33		23,0	0,663	1,325
0:08:15	10,16		8,0	0,230	0,461	0:23:30	10,30	x	23,5	0,677	1,354
0:08:30	10,15	x	8,5	0,245	0,490	0:23:45	10,35		23,5	0,677	1,354
0:08:45	10,17		8,5	0,245	0,490	0:24:00	10,35	x	24,0	0,691	1,383
0:09:00	10,15	x	9,0	0,259	0,519	0:24:15	10,37		24,0	0,691	1,383
0:09:15	10,17		9,0	0,259	0,519	0:24:30	10,35	x	24,5	0,706	1,412
0:09:30	10,16	x	9,5	0,274	0,547	0:24:45	10,39		24,5	0,706	1,412
0:09:45	10,18		9,5	0,274	0,547	0:25:00	10,36	x	25,0	0,720	1,441
0:10:00	10,17	x	10,0	0,288	0,576	0:25:15	10,41		25,0	0,720	1,441
0:10:15	10,18		10,0	0,288	0,576	0:25:30	10,38	x	25,5	0,735	1,469
0:10:30	10,17	x	10,5	0,303	0,605	0:25:45	10,45		25,5	0,735	1,469
0:10:45	10,18		10,5	0,303	0,605	0:26:00	10,41	x	26,0	0,749	1,498
0:11:00	10,18	x	11,0	0,317	0,634	0:26:15	10,47		26,0	0,749	1,498
0:11:15	10,18		11,0	0,317	0,634	0:26:30	10,44	x	26,5	0,764	1,527
0:11:30	10,17	x	11,5	0,331	0,663	0:26:45	10,51		26,5	0,764	1,527
0:11:45	10,18		11,5	0,331	0,663	0:27:00	10,48	x	27,0	0,778	1,556
0:12:00	10,18	x	12,0	0,346	0,691	0:27:15	10,55		27,0	0,778	1,556
0:12:15	10,18		12,0	0,346	0,691	0:27:30	10,52	x	27,5	0,792	1,585
0:12:30	10,17	x	12,5	0,360	0,720	0:27:45	10,61		27,5	0,792	1,585
0:12:45	10,19		12,5	0,360	0,720	0:28:00	10,59	x	28,0	0,807	1,613
0:13:00	10,17	x	13,0	0,375	0,749	0:28:15	10,68		28,0	0,807	1,613
0:13:15	10,19		13,0	0,375	0,749	0:28:30	10,66	x	28,5	0,821	1,642
0:13:30	10,17	x	13,5	0,389	0,778	0:28:45	10,77		28,5	0,821	1,642
0:13:45	10,19		13,5	0,389	0,778	0:29:00	10,76	x	29,0	0,836	1,671
0:14:00	10,18	x	14,0	0,403	0,807	0:29:15	10,86		29,0	0,836	1,671
0:14:15	10,18		14,0	0,403	0,807	0:29:30	10,86	x	29,5	0,850	1,700
0:14:30	10,17	x	14,5	0,418	0,836	0:29:45	10,96		29,5	0,850	1,700
0:14:45	10,19		14,5	0,418	0,836	0:30:00	10,97	x	30,0	0,864	1,729
0:15:00	10,17	x	15,0	0,432	0,864						

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:30:15	11,06		30,0	0,864	1,729
0:30:30	11,07	x	30,5	0,879	1,758
0:30:45	11,14		30,5	0,879	1,758
0:31:00	11,15	x	31,0	0,893	1,786
0:31:15	11,21		31,0	0,893	1,786
0:31:30	11,22	x	31,5	0,908	1,815
0:31:45	11,27		31,5	0,908	1,815
0:32:00	11,27	x	32,0	0,922	1,844
0:32:15	11,31		32,0	0,922	1,844
0:32:30	11,32	x	32,5	0,936	1,873
0:32:45	11,36		32,5	0,936	1,873
0:33:00	11,36	x	33,0	0,951	1,902
0:33:15	11,4		33,0	0,951	1,902
0:33:30	11,4	x	33,5	0,965	1,930
0:33:45	11,43		33,5	0,965	1,930
0:34:00	11,43	x	34,0	0,980	1,959
0:34:15	11,46		34,0	0,980	1,959
0:34:30	11,46	x	34,5	0,994	1,988
0:34:45	11,49		34,5	0,994	1,988
0:35:00	11,49	x	35,0	1,008	2,017
0:35:15	11,52		35,0	1,008	2,017
0:35:30	11,52	x	35,5	1,023	2,046
0:35:45	11,53		35,5	1,023	2,046
0:36:00	11,54	x	36,0	1,037	2,074
0:36:15	11,56		36,0	1,037	2,074
0:36:30	11,56	x	36,5	1,052	2,103
0:36:45	11,57		36,5	1,052	2,103
0:37:00	11,58	x	37,0	1,066	2,132
0:37:15	11,59		37,0	1,066	2,132
0:37:30	11,6	x	37,5	1,080	2,161
0:37:45	11,61		37,5	1,080	2,161
0:38:00	11,61	x	38,0	1,095	2,190
0:38:15	11,63		38,0	1,095	2,190
0:38:30	11,63	x	38,5	1,109	2,219
0:38:45	11,64		38,5	1,109	2,219
0:39:00	11,64	x	39,0	1,124	2,247
0:39:15	11,66		39,0	1,124	2,247
0:39:30	11,66	x	39,5	1,138	2,276
0:39:45	11,67		39,5	1,138	2,276
0:40:00	11,67	x	40,0	1,152	2,305
0:40:15	11,68		40,0	1,152	2,305
0:40:30	11,69	x	40,5	1,167	2,334
0:40:45	11,69		40,5	1,167	2,334
0:41:00	11,7	x	41,0	1,181	2,363
0:41:15	11,71		41,0	1,181	2,363
0:41:30	11,71	x	41,5	1,196	2,391
0:41:45	11,72		41,5	1,196	2,391
0:42:00	11,72	x	42,0	1,210	2,420
0:42:15	11,73		42,0	1,210	2,420
0:42:30	11,73	x	42,5	1,225	2,449
0:42:45	11,74		42,5	1,225	2,449
0:43:00	11,74	x	43,0	1,239	2,478
0:43:15	11,75		43,0	1,239	2,478
0:43:30	11,75	x	43,5	1,253	2,507
0:43:45	11,75		43,5	1,253	2,507
0:44:00	11,75	x	44,0	1,268	2,535
0:44:15	11,75		44,0	1,268	2,535
0:44:30	11,75	x	44,5	1,282	2,564

Prueba 6: Agua de mar – Cal - Mineral (Pretratamiento)

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total			Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l				Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:00:00	9,51		10,0	0,288	0,576	0:15:15	10,29		25,0	0,720	1,441
0:00:15	9,51		10,0	0,288	0,576	0:15:30	10,24	x	25,5	0,735	1,469
0:00:30	9,51	x	10,5	0,303	0,605	0:15:45	10,30		25,5	0,735	1,469
0:00:45	9,82		10,5	0,303	0,605	0:16:00	10,28	x	26,0	0,749	1,498
0:01:00	9,80	x	11,0	0,317	0,634	0:16:15	10,28		26,0	0,749	1,498
0:01:15	9,98		11,0	0,317	0,634	0:16:30	10,25	x	26,5	0,764	1,527
0:01:30	9,96	x	11,5	0,331	0,663	0:16:45	10,29		26,5	0,764	1,527
0:01:45	10,06		11,5	0,331	0,663	0:17:00	10,27	x	27,0	0,778	1,556
0:02:00	10,04	x	12,0	0,346	0,691	0:17:15	10,35		27,0	0,778	1,556
0:02:15	10,11		12,0	0,346	0,691	0:17:30	10,33	x	27,5	0,792	1,585
0:02:30	10,08	x	12,5	0,360	0,720	0:17:45	10,34		27,5	0,792	1,585
0:02:45	10,13		12,5	0,360	0,720	0:18:00	10,31	x	28,0	0,807	1,613
0:03:00	10,10	x	13,0	0,375	0,749	0:18:15	10,34		28,0	0,807	1,613
0:03:15	10,13		13,0	0,375	0,749	0:18:30	10,30	x	28,5	0,821	1,642
0:03:30	10,12	x	13,5	0,389	0,778	0:18:45	10,35		28,5	0,821	1,642
0:03:45	10,16		13,5	0,389	0,778	0:19:00	10,34	x	29,0	0,836	1,671
0:04:00	10,13	x	14,0	0,403	0,807	0:19:15	10,36		29,0	0,836	1,671
0:04:15	10,17		14,0	0,403	0,807	0:19:30	10,31	x	29,5	0,850	1,700
0:04:30	10,14	x	14,5	0,418	0,836	0:19:45	10,37		29,5	0,850	1,700
0:04:45	10,17		14,5	0,418	0,836	0:20:00	10,33	x	30,0	0,864	1,729
0:05:00	10,14	x	15,0	0,432	0,864	0:20:15	10,38		30,0	0,864	1,729
0:05:15	10,18		15,0	0,432	0,864	0:20:30	10,34	x	30,5	0,879	1,758
0:05:30	10,15	x	15,5	0,447	0,893	0:20:45	10,39		30,5	0,879	1,758
0:05:45	10,18		15,5	0,447	0,893	0:21:00	10,35	x	31,0	0,893	1,786
0:06:00	10,14	x	16,0	0,461	0,922	0:21:15	10,41		31,0	0,893	1,786
0:06:15	10,18		16,0	0,461	0,922	0:21:30	10,36	x	31,5	0,908	1,815
0:06:30	10,14	x	16,5	0,475	0,951	0:21:45	10,43		31,5	0,908	1,815
0:06:45	10,18		16,5	0,475	0,951	0:22:00	10,38	x	32,0	0,922	1,844
0:07:00	10,14	x	17,0	0,490	0,980	0:22:15	10,45		32,0	0,922	1,844
0:07:15	10,18		17,0	0,490	0,980	0:22:30	10,40	x	32,5	0,936	1,873
0:07:30	10,14	x	17,5	0,504	1,008	0:22:45	10,47		32,5	0,936	1,873
0:07:45	10,18		17,5	0,504	1,008	0:23:00	10,42	x	33,0	0,951	1,902
0:08:00	10,14	x	18,0	0,519	1,037	0:23:15	10,49		33,0	0,951	1,902
0:08:15	10,18		18,0	0,519	1,037	0:23:30	10,45	x	33,5	0,965	1,930
0:08:30	10,14	x	18,5	0,533	1,066	0:23:45	10,52		33,5	0,965	1,930
0:08:45	10,19		18,5	0,533	1,066	0:24:00	10,47	x	34,0	0,980	1,959
0:09:00	10,15	x	19,0	0,547	1,095	0:24:15	10,54		34,0	0,980	1,959
0:09:15	10,20		19,0	0,547	1,095	0:24:30	10,50	x	34,5	0,994	1,988
0:09:30	10,15	x	19,5	0,562	1,124	0:24:45	10,57		34,5	0,994	1,988
0:09:45	10,20		19,5	0,562	1,124	0:25:00	10,53	x	35,0	1,008	2,017
0:10:00	10,15	x	20,0	0,576	1,152	0:25:15	10,60		35,0	1,008	2,017
0:10:15	10,20		20,0	0,576	1,152	0:25:30	10,58	x	35,5	1,023	2,046
0:10:30	10,16	x	20,5	0,591	1,181	0:25:45	10,62		35,5	1,023	2,046
0:10:45	10,22		20,5	0,591	1,181	0:26:00	10,60	x	36,0	1,037	2,074
0:11:00	10,17	x	21,0	0,605	1,210	0:26:15	10,68		36,0	1,037	2,074
0:11:15	10,18		21,0	0,605	1,210	0:26:30	10,64	x	36,5	1,052	2,103
0:11:30	10,18	x	21,5	0,619	1,239	0:26:45	10,72		36,5	1,052	2,103
0:11:45	10,23		21,5	0,619	1,239	0:27:00	10,69	x	37,0	1,066	2,132
0:12:00	10,18	x	22,0	0,634	1,268	0:27:15	10,76		37,0	1,066	2,132
0:12:15	10,21		22,0	0,634	1,268	0:27:30	10,74	x	37,5	1,080	2,161
0:12:30	10,20	x	22,5	0,648	1,297	0:27:45	10,82		37,5	1,080	2,161
0:12:45	10,22		22,5	0,648	1,297	0:28:00	10,80	x	38,0	1,095	2,190
0:13:00	10,20	x	23,0	0,663	1,325	0:28:15	10,88		38,0	1,095	2,190
0:13:15	10,25		23,0	0,663	1,325	0:28:30	10,87	x	38,5	1,109	2,219
0:13:30	10,20	x	23,5	0,677	1,354	0:28:45	10,94		38,5	1,109	2,219
0:13:45	10,24		23,5	0,677	1,354	0:29:00	10,94	x	39,0	1,124	2,247
0:14:00	10,21	x	24,0	0,691	1,383	0:29:15	11,01		39,0	1,124	2,247
0:14:15	10,28		24,0	0,691	1,383	0:29:30	11,01	x	39,5	1,138	2,276
0:14:30	10,26	x	24,5	0,706	1,412	0:29:45	11,07		39,5	1,138	2,276
0:14:45	10,28		24,5	0,706	1,412	0:30:00	11,07	x	40,0	1,152	2,305
0:15:00	10,23	x	25,0	0,720	1,441						

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:30:15	11,15		40,0	1,152	2,305
0:30:30	11,16	x	40,5	1,167	2,334
0:30:45	11,21		40,5	1,167	2,334
0:31:00	11,21	x	41,0	1,181	2,363
0:31:15	11,25		41,0	1,181	2,363
0:31:30	11,25	x	41,5	1,196	2,391
0:31:45	11,28		41,5	1,196	2,391
0:32:00	11,29	x	42,0	1,210	2,420
0:32:15	11,31		42,0	1,210	2,420
0:32:30	11,32	x	42,5	1,225	2,449
0:32:45	11,34		42,5	1,225	2,449
0:33:00	11,35	x	43,0	1,239	2,478
0:33:15	11,37		43,0	1,239	2,478
0:33:30	11,38	x	43,5	1,253	2,507
0:33:45	11,40		43,5	1,253	2,507
0:34:00	11,40	x	44,0	1,268	2,535
0:34:15	11,42		44,0	1,268	2,535
0:34:30	11,42	x	44,5	1,282	2,564
0:34:45	11,45		44,5	1,282	2,564
0:35:00	11,45	x	45,0	1,297	2,593
0:35:15	11,47		45,0	1,297	2,593
0:35:30	11,47	x	45,5	1,311	2,622
0:35:45	11,49		45,5	1,311	2,622
0:36:00	11,49	x	46,0	1,325	2,651
0:36:15	11,51		46,0	1,325	2,651
0:36:30	11,51	x	46,5	1,340	2,680
0:36:45	11,53		46,5	1,340	2,680
0:37:00	11,53	x	47,0	1,354	2,708
0:37:15	11,54		47,0	1,354	2,708
0:37:30	11,55	x	47,5	1,369	2,737
0:37:45	11,55		47,5	1,369	2,737
0:38:00	11,56	x	48,0	1,383	2,766
0:38:15	11,58		48,0	1,383	2,766
0:38:30	11,58	x	48,5	1,397	2,795
0:38:45	11,59		48,5	1,397	2,795
0:39:00	11,60	x	49,0	1,412	2,824
0:39:15	11,60		49,0	1,412	2,824
0:39:30	11,60	x	49,5	1,426	2,852
0:39:45	11,60		49,5	1,426	2,852
0:40:00	11,60	x	50,0	1,441	2,881

Anexo E

Mediciones pruebas de contacto para sistemas “agua de mar-cal-concentrado”

Prueba 7: Agua de mar – Cal - Concentrado

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total			Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l				Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:00:00	6,25		0,0	0,00	0,000	0:15:15	9,76		15,0	0,432	0,864
0:00:15	6,25		0,0	0,00	0,000	0:15:30	9,76	x	15,5	0,447	0,893
0:00:30	6,27	x	0,5	0,014	0,029	0:15:45	9,78		15,5	0,447	0,893
0:00:45	7,13		0,5	0,014	0,029	0:16:00	9,78	x	16,0	0,461	0,922
0:01:00	7,41	x	1,0	0,029	0,058	0:16:15	9,79		16,0	0,461	0,922
0:01:15	7,83		1,0	0,029	0,058	0:16:30	9,79	x	16,5	0,475	0,951
0:01:30	8,01	x	1,5	0,043	0,086	0:16:45	9,81		16,5	0,475	0,951
0:01:45	8,28		1,5	0,043	0,086	0:17:00	9,81	x	17,0	0,490	0,980
0:02:00	8,39	x	2,0	0,058	0,115	0:17:15	9,82		17,0	0,490	0,980
0:02:15	8,53		2,0	0,058	0,115	0:17:30	9,82	x	17,5	0,504	1,008
0:02:30	8,60	x	2,5	0,072	0,144	0:17:45	9,84		17,5	0,504	1,008
0:02:45	8,71		2,5	0,072	0,144	0:18:00	9,84	x	18,0	0,519	1,037
0:03:00	8,75	x	3,0	0,086	0,173	0:18:15	9,86		18,0	0,519	1,037
0:03:15	8,83		3,0	0,086	0,173	0:18:30	9,85	x	18,5	0,533	1,066
0:03:30	8,87	x	3,5	0,101	0,202	0:18:45	9,87		18,5	0,533	1,066
0:03:45	8,94		3,5	0,101	0,202	0:19:00	9,87	x	19,0	0,547	1,095
0:04:00	8,97	x	4,0	0,115	0,230	0:19:15	9,88		19,0	0,547	1,095
0:04:15	9,02		4,0	0,115	0,230	0:19:30	9,88	x	19,5	0,562	1,124
0:04:30	9,05	x	4,5	0,130	0,259	0:19:45	9,89		19,5	0,562	1,124
0:04:45	9,10		4,5	0,130	0,259	0:20:00	9,89	x	20,0	0,576	1,152
0:05:00	9,12	x	5,0	0,144	0,288	0:20:15	9,91		20,0	0,576	1,152
0:05:15	9,16		5,0	0,144	0,288	0:20:30	9,90	x	20,5	0,591	1,181
0:05:30	9,18	x	5,5	0,158	0,317	0:20:45	9,92		20,5	0,591	1,181
0:05:45	9,22		5,5	0,158	0,317	0:21:00	9,92	x	21,0	0,605	1,210
0:06:00	9,23	x	6,0	0,173	0,346	0:21:15	9,93		21,0	0,605	1,210
0:06:15	9,27		6,0	0,173	0,346	0:21:30	9,93	x	21,5	0,619	1,239
0:06:30	9,28	x	6,5	0,187	0,375	0:21:45	9,94		21,5	0,619	1,239
0:06:45	9,31		6,5	0,187	0,375	0:22:00	9,93	x	22,0	0,634	1,268
0:07:00	9,33	x	7,0	0,202	0,403	0:22:15	9,95		22,0	0,634	1,268
0:07:15	9,36		7,0	0,202	0,403	0:22:30	9,94	x	22,5	0,648	1,297
0:07:30	9,37	x	7,5	0,216	0,432	0:22:45	9,96		22,5	0,648	1,297
0:07:45	9,39		7,5	0,216	0,432	0:23:00	9,96	x	23,0	0,663	1,325
0:08:00	9,40	x	8,0	0,230	0,461	0:23:15	9,97		23,0	0,663	1,325
0:08:15	9,43		8,0	0,230	0,461	0:23:30	9,97	x	23,5	0,677	1,354
0:08:30	9,44	x	8,5	0,245	0,490	0:23:45	9,98		23,5	0,677	1,354
0:08:45	9,46		8,5	0,245	0,490	0:24:00	9,98	x	24,0	0,691	1,383
0:09:00	9,47	x	9,0	0,259	0,519	0:24:15	9,99		24,0	0,691	1,383
0:09:15	9,49		9,0	0,259	0,519	0:24:30	9,99	x	24,5	0,706	1,412
0:09:30	9,50	x	9,5	0,274	0,547	0:24:45	10,00		24,5	0,706	1,412
0:09:45	9,52		9,5	0,274	0,547	0:25:00	10,00	x	25,0	0,720	1,441
0:10:00	9,52	x	10,0	0,288	0,576	0:25:15	10,01		25,0	0,720	1,441
0:10:15	9,55		10,0	0,288	0,576	0:25:30	10,01	x	25,5	0,735	1,469
0:10:30	9,55	x	10,5	0,303	0,605	0:25:45	10,03		25,5	0,735	1,469
0:10:45	9,57		10,5	0,303	0,605	0:26:00	10,02	x	26,0	0,749	1,498
0:11:00	9,58	x	11,0	0,317	0,634	0:26:15	10,03		26,0	0,749	1,498
0:11:15	9,60		11,0	0,317	0,634	0:26:30	10,03	x	26,5	0,764	1,527
0:11:30	9,60	x	11,5	0,331	0,663	0:26:45	10,05		26,5	0,764	1,527
0:11:45	9,62		11,5	0,331	0,663	0:27:00	10,04	x	27,0	0,778	1,556
0:12:00	9,62	x	12,0	0,346	0,691	0:27:15	10,06		27,0	0,778	1,556
0:12:15	9,64		12,0	0,346	0,691	0:27:30	10,05	x	27,5	0,792	1,585
0:12:30	9,64	x	12,5	0,360	0,720	0:27:45	10,07		27,5	0,792	1,585
0:12:45	9,66		12,5	0,360	0,720	0:28:00	10,07	x	28,0	0,807	1,613
0:13:00	9,67	x	13,0	0,375	0,749	0:28:15	10,09		28,0	0,807	1,613
0:13:15	9,68		13,0	0,375	0,749	0:28:30	10,08	x	28,5	0,821	1,642
0:13:30	9,69	x	13,5	0,389	0,778	0:28:45	10,10		28,5	0,821	1,642
0:13:45	9,70		13,5	0,389	0,778	0:29:00	10,10	x	29,0	0,836	1,671
0:14:00	9,71	x	14,0	0,403	0,807	0:29:15	10,12		29,0	0,836	1,671
0:14:15	9,72		14,0	0,403	0,807	0:29:30	10,12	x	29,5	0,850	1,700
0:14:30	9,74	x	14,5	0,418	0,836	0:29:45	10,14		29,5	0,850	1,700
0:14:45	9,74		14,5	0,418	0,836	0:30:00	10,13	x	30,0	0,864	1,729
0:15:00	9,75	x	15,0	0,432	0,864						

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total			Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l				Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:30:15	10,16		30,0	0,864	1,729	0:45:15	11,35		45,0	1,297	2,593
0:30:30	10,15	x	30,5	0,879	1,758	0:45:30	11,35	x	45,5	1,311	2,622
0:30:45	10,18		30,5	0,879	1,758	0:45:45	11,37		45,5	1,311	2,622
0:31:00	10,17	x	31,0	0,893	1,786	0:46:00	11,37	x	46,0	1,325	2,651
0:31:15	10,20		31,0	0,893	1,786	0:46:15	11,39		46,0	1,325	2,651
0:31:30	10,20	x	31,5	0,908	1,815	0:46:30	11,39	x	46,5	1,340	2,680
0:31:45	10,23		31,5	0,908	1,815	0:46:45	11,41		46,5	1,340	2,680
0:32:00	10,22	x	32,0	0,922	1,844	0:47:00	11,42	x	47,0	1,354	2,708
0:32:15	10,26		32,0	0,922	1,844	0:47:15	11,43		47,0	1,354	2,708
0:32:30	10,26	x	32,5	0,936	1,873	0:47:30	11,43	x	47,5	1,369	2,737
0:32:45	10,29		32,5	0,936	1,873	0:47:45	11,45		47,5	1,369	2,737
0:33:00	10,29	x	33,0	0,951	1,902	0:48:00	11,45	x	48,0	1,383	2,766
0:33:15	10,33		33,0	0,951	1,902	0:48:15	11,46		48,0	1,383	2,766
0:33:30	10,33	x	33,5	0,965	1,930	0:48:30	11,47	x	48,5	1,397	2,795
0:33:45	10,37		33,5	0,965	1,930	0:48:45	11,48		48,5	1,397	2,795
0:34:00	10,38	x	34,0	0,980	1,959	0:49:00	11,49	x	49,0	1,412	2,824
0:34:15	10,43		34,0	0,980	1,959	0:49:15	11,50		49,0	1,412	2,824
0:34:30	10,44	x	34,5	0,994	1,988	0:49:30	11,50	x	49,5	1,426	2,852
0:34:45	10,49		34,5	0,994	1,988	0:49:45	11,51		49,5	1,426	2,852
0:35:00	10,51	x	35,0	1,008	2,017	0:50:00	11,52	x	50,0	1,441	2,881
0:35:15	10,54		35,0	1,008	2,017	0:50:15	11,53		50,0	1,441	2,881
0:35:30	10,56	x	35,5	1,023	2,046	0:50:30	11,54	x	50,5	1,455	2,910
0:35:45	10,62		35,5	1,023	2,046	0:50:45	11,54		50,5	1,455	2,910
0:36:00	10,64	x	36,0	1,037	2,074	0:51:00	11,55	x	51,0	1,469	2,939
0:36:15	10,69		36,0	1,037	2,074	0:51:15	11,56		51,0	1,469	2,939
0:36:30	10,7	x	36,5	1,052	2,103	0:51:30	11,56	x	51,5	1,484	2,968
0:36:45	10,75		36,5	1,052	2,103	0:51:45	11,57		51,5	1,484	2,968
0:37:00	10,76	x	37,0	1,066	2,132	0:52:00	11,57	x	52,0	1,498	2,996
0:37:15	10,8		37,0	1,066	2,132	0:52:15	11,58		52,0	1,498	2,996
0:37:30	10,82	x	37,5	1,080	2,161	0:52:30	11,59	x	52,5	1,513	3,025
0:37:45	10,85		37,5	1,080	2,161	0:52:45	11,59		52,5	1,513	3,025
0:38:00	10,87	x	38,0	1,095	2,190	0:53:00	11,60	x	53,0	1,527	3,054
0:38:15	10,9		38,0	1,095	2,190	0:53:15	11,60		53,0	1,527	3,054
0:38:30	10,92	x	38,5	1,109	2,219	0:53:30	11,61	x	53,5	1,541	3,083
0:38:45	10,95		38,5	1,109	2,219	0:53:45	11,61		53,5	1,541	3,083
0:39:00	10,96	x	39,0	1,124	2,247	0:54:00	11,61	x	54,0	1,556	3,112
0:39:15	10,99		39,0	1,124	2,247	0:54:15	11,62		54,0	1,556	3,112
0:39:30	11,00	x	39,5	1,138	2,276	0:54:30	11,63	x	54,5	1,570	3,140
0:39:45	11,03		39,5	1,138	2,276	0:54:45	11,63		54,5	1,570	3,140
0:40:00	11,04	x	40,0	1,152	2,305	0:55:00	11,63	x	55,0	1,585	3,169
0:40:15	11,07		40,0	1,152	2,305	0:55:15	11,64		55,0	1,585	3,169
0:40:30	11,08	x	40,5	1,167	2,334	0:55:30	11,64	x	55,5	1,599	3,198
0:40:45	11,10		40,5	1,167	2,334	0:55:45	11,65		55,5	1,599	3,198
0:41:00	11,11	x	41,0	1,181	2,363	0:56:00	11,65	x	56,0	1,613	3,227
0:41:15	11,14		41,0	1,181	2,363	0:56:15	11,65		56,0	1,613	3,227
0:41:30	11,14	x	41,5	1,196	2,391	0:56:30	11,65	x	56,5	1,628	3,256
0:41:45	11,16		41,5	1,196	2,391	0:56:45	11,66		56,5	1,628	3,256
0:42:00	11,17	x	42,0	1,210	2,420	0:57:00	11,66	x	57,0	1,642	3,285
0:42:15	11,19		42,0	1,210	2,420	0:57:15	11,66		57,0	1,642	3,285
0:42:30	11,20	x	42,5	1,225	2,449	0:57:30	11,67	x	57,5	1,657	3,313
0:42:45	11,22		42,5	1,225	2,449	0:57:45	11,67		57,5	1,657	3,313
0:43:00	11,23	x	43,0	1,239	2,478	0:58:00	11,67	x	58,0	1,671	3,342
0:43:15	11,25		43,0	1,239	2,478	0:58:15	11,68		58,0	1,671	3,342
0:43:30	11,26	x	43,5	1,253	2,507	0:58:30	11,68	x	58,5	1,685	3,371
0:43:45	11,27		43,5	1,253	2,507	0:58:45	11,68		58,5	1,685	3,371
0:44:00	11,28	x	44,0	1,268	2,535	0:59:00	11,68	x	59,0	1,700	3,400
0:44:15	11,30		44,0	1,268	2,535	0:59:15	11,69		59,0	1,700	3,400
0:44:30	11,31	x	44,5	1,282	2,564	0:59:30	11,69	x	59,5	1,714	3,429
0:44:45	11,32		44,5	1,282	2,564	0:59:45	11,69		59,5	1,714	3,429
0:45:00	11,33	x	45,0	1,297	2,593	1:00:00	11,70	x	60,0	1,729	3,457

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
1:00:15	11,70		60,0	1,729	3,457
1:00:30	11,70	x	60,5	1,743	3,486
1:00:45	11,70		60,5	1,743	3,486
1:01:00	11,71	x	61,0	1,758	3,515
1:01:15	11,71		61,0	1,758	3,515
1:01:30	11,71	x	61,5	1,772	3,544
1:01:45	11,71		61,5	1,772	3,544
1:02:00	11,71	x	62,0	1,786	3,573
1:02:15	11,71		62,0	1,786	3,573
1:02:30	11,71	x	62,5	1,801	3,601
1:02:45	11,71		62,5	1,801	3,601
1:03:00	11,71	x	63,0	1,815	3,630
1:03:15	11,71		63,0	1,815	3,630
1:03:30	11,71	x	63,5	1,830	3,659
1:03:45	11,71		63,5	1,830	3,659
1:04:00	11,71	x	64,0	1,844	3,688
1:04:15	11,71		64,0	1,844	3,688
1:04:30	11,71	x	64,5	1,858	3,717
1:04:45	11,71		64,5	1,858	3,717
1:05:00	11,71	x	65,0	1,873	3,746
1:05:15	11,71		65,0	1,873	3,746
1:05:30	11,71	x	65,5	1,887	3,774
1:05:45	11,71		65,5	1,887	3,774
1:06:00	11,71	x	66,0	1,902	3,803
1:06:15	11,71		66,0	1,902	3,803
1:06:30	11,71	x	66,5	1,916	3,832
1:06:45	11,71		66,5	1,916	3,832
1:07:00	11,71	x	67,0	1,930	3,861
1:07:15	11,71		67,0	1,930	3,861
1:07:30	11,71	x	67,5	1,945	3,890
1:07:45	11,71		67,5	1,945	3,890
1:08:00	11,71	x	68,0	1,959	3,918
1:08:15	11,71		68,0	1,959	3,918
1:08:30	11,71	x	68,5	1,974	3,947
1:08:45	11,71		68,5	1,974	3,947
1:09:00	11,71	x	69,0	1,988	3,976
1:09:15	11,71		69,0	1,988	3,976
1:09:30	11,71	x	69,5	2,002	4,005
1:09:45	11,71		69,5	2,002	4,005
1:10:00	11,71	x	70,0	2,017	4,034
1:10:15	11,71		70,0	2,017	4,034
1:10:30	11,71	x	70,5	2,031	4,062
1:10:45	11,71		70,5	2,031	4,062
1:11:00	11,71	x	71,0	2,046	4,091
1:11:15	11,71		71,0	2,046	4,091
1:11:30	11,71	x	71,5	2,060	4,120
1:11:45	11,71		71,5	2,060	4,120
1:12:00	11,71	x	72,0	2,074	4,149

Prueba 8: Agua de mar – Cal - Concentrado (Reposo)

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total			Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l				Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:00:00	6,97		0,0	0,00	0,000	0:15:15	10,15		15,0	0,432	0,864
0:00:15	6,98		0,0	0,00	0,000	0:15:30	10,13	x	15,5	0,447	0,893
0:00:30	7,00	x	0,5	0,014	0,029	0:15:45	10,13		15,5	0,447	0,893
0:00:45	7,81		0,5	0,014	0,029	0:16:00	10,14	x	16,0	0,461	0,922
0:01:00	8,04	x	1,0	0,029	0,058	0:16:15	10,14		16,0	0,461	0,922
0:01:15	8,51		1,0	0,029	0,058	0:16:30	10,15	x	16,5	0,475	0,951
0:01:30	8,73	x	1,5	0,043	0,086	0:16:45	10,16		16,5	0,475	0,951
0:01:45	9,15		1,5	0,043	0,086	0:17:00	10,15	x	17,0	0,490	0,980
0:02:00	9,24	x	2,0	0,058	0,115	0:17:15	10,16		17,0	0,490	0,980
0:02:15	9,43		2,0	0,058	0,115	0:17:30	10,15	x	17,5	0,504	1,008
0:02:30	9,46	x	2,5	0,072	0,144	0:17:45	10,17		17,5	0,504	1,008
0:02:45	9,56		2,5	0,072	0,144	0:18:00	10,17	x	18,0	0,519	1,037
0:03:00	9,58	x	3,0	0,086	0,173	0:18:15	10,18		18,0	0,519	1,037
0:03:15	9,64		3,0	0,086	0,173	0:18:30	10,17	x	18,5	0,533	1,066
0:03:30	9,64	x	3,5	0,101	0,202	0:18:45	10,18		18,5	0,533	1,066
0:03:45	9,68		3,5	0,101	0,202	0:19:00	10,18	x	19,0	0,547	1,095
0:04:00	9,70	x	4,0	0,115	0,230	0:19:15	10,19		19,0	0,547	1,095
0:04:15	9,74		4,0	0,115	0,230	0:19:30	10,18	x	19,5	0,562	1,124
0:04:30	9,74	x	4,5	0,130	0,259	0:19:45	10,19		19,5	0,562	1,124
0:04:45	9,78		4,5	0,130	0,259	0:20:00	10,18	x	20,0	0,576	1,152
0:05:00	9,78	x	5,0	0,144	0,288	0:20:15	10,20		20,0	0,576	1,152
0:05:15	9,81		5,0	0,144	0,288	0:20:30	10,19	x	20,5	0,591	1,181
0:05:30	9,81	x	5,5	0,158	0,317	0:20:45	10,21		20,5	0,591	1,181
0:05:45	9,84		5,5	0,158	0,317	0:21:00	10,19	x	21,0	0,605	1,210
0:06:00	9,84	x	6,0	0,173	0,346	0:21:15	10,21		21,0	0,605	1,210
0:06:15	9,87		6,0	0,173	0,346	0:21:30	10,20	x	21,5	0,619	1,239
0:06:30	9,86	x	6,5	0,187	0,375	0:21:45	10,21		21,5	0,619	1,239
0:06:45	9,89		6,5	0,187	0,375	0:22:00	10,20	x	22,0	0,634	1,268
0:07:00	9,88	x	7,0	0,202	0,403	0:22:15	10,22		22,0	0,634	1,268
0:07:15	9,91		7,0	0,202	0,403	0:22:30	10,21	x	22,5	0,648	1,297
0:07:30	9,91	x	7,5	0,216	0,432	0:22:45	10,22		22,5	0,648	1,297
0:07:45	9,93		7,5	0,216	0,432	0:23:00	10,21	x	23,0	0,663	1,325
0:08:00	9,93	x	8,0	0,230	0,461	0:23:15	10,23		23,0	0,663	1,325
0:08:15	9,95		8,0	0,230	0,461	0:23:30	10,21	x	23,5	0,677	1,354
0:08:30	9,94	x	8,5	0,245	0,490	0:23:45	10,24		23,5	0,677	1,354
0:08:45	9,97		8,5	0,245	0,490	0:24:00	10,22	x	24,0	0,691	1,383
0:09:00	9,96	x	9,0	0,259	0,519	0:24:15	10,23		24,0	0,691	1,383
0:09:15	9,98		9,0	0,259	0,519	0:24:30	10,23	x	24,5	0,706	1,412
0:09:30	9,98	x	9,5	0,274	0,547	0:24:45	10,25		24,5	0,706	1,412
0:09:45	10,00		9,5	0,274	0,547	0:25:00	10,23	x	25,0	0,720	1,441
0:10:00	9,99	x	10,0	0,288	0,576	0:25:15	10,26		25,0	0,720	1,441
0:10:15	10,01		10,0	0,288	0,576	0:25:30	10,24	x	25,5	0,735	1,469
0:10:30	10,01	x	10,5	0,303	0,605	0:25:45	10,27		25,5	0,735	1,469
0:10:45	10,02		10,5	0,303	0,605	0:26:00	10,25	x	26,0	0,749	1,498
0:11:00	10,02	x	11,0	0,317	0,634	0:26:15	10,28		26,0	0,749	1,498
0:11:15	10,04		11,0	0,317	0,634	0:26:30	10,26	x	26,5	0,764	1,527
0:11:30	10,03	x	11,5	0,331	0,663	0:26:45	10,28		26,5	0,764	1,527
0:11:45	10,05		11,5	0,331	0,663	0:27:00	10,27	x	27,0	0,778	1,556
0:12:00	10,05	x	12,0	0,346	0,691	0:27:15	10,30		27,0	0,778	1,556
0:12:15	10,07		12,0	0,346	0,691	0:27:30	10,28	x	27,5	0,792	1,585
0:12:30	10,06	x	12,5	0,360	0,720	0:27:45	10,31		27,5	0,792	1,585
0:12:45	10,08		12,5	0,360	0,720	0:28:00	10,29	x	28,0	0,807	1,613
0:13:00	10,08	x	13,0	0,375	0,749	0:28:15	10,31		28,0	0,807	1,613
0:13:15	10,09		13,0	0,375	0,749	0:28:30	10,30	x	28,5	0,821	1,642
0:13:30	10,09	x	13,5	0,389	0,778	0:28:45	10,34		28,5	0,821	1,642
0:13:45	10,10		13,5	0,389	0,778	0:29:00	10,32	x	29,0	0,836	1,671
0:14:00	10,10	x	14,0	0,403	0,807	0:29:15	10,36		29,0	0,836	1,671
0:14:15	10,11		14,0	0,403	0,807	0:29:30	10,34	x	29,5	0,850	1,700
0:14:30	10,11	x	14,5	0,418	0,836	0:29:45	10,37		29,5	0,850	1,700
0:14:45	10,12		14,5	0,418	0,836	0:30:00	10,36	x	30,0	0,864	1,729
0:15:00	10,12	x	15,0	0,432	0,864						

			Cal adicionada total						Cal adicionada total		
Tiempo seg	pH	Adición Cal	Lechada ml	Cal g	Consumo g/l	Tiempo seg	pH	Adición Cal	Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:30:15	10,39		30,0	0,864	1,729	0:45:15	11,55		45,0	1,297	2,593
0:30:30	10,37	x	30,5	0,879	1,758	0:45:30	11,55	x	45,5	1,311	2,622
0:30:45	10,42		30,5	0,879	1,758	0:45:45	11,57		45,5	1,311	2,622
0:31:00	10,40	x	31,0	0,893	1,786	0:46:00	11,57	x	46,0	1,325	2,651
0:31:15	10,44		31,0	0,893	1,786	0:46:15	11,58		46,0	1,325	2,651
0:31:30	10,42	x	31,5	0,908	1,815	0:46:30	11,58	x	46,5	1,340	2,680
0:31:45	10,47		31,5	0,908	1,815	0:46:45	11,59		46,5	1,340	2,680
0:32:00	10,45	x	32,0	0,922	1,844	0:47:00	11,59	x	47,0	1,354	2,708
0:32:15	10,50		32,0	0,922	1,844	0:47:15	11,60		47,0	1,354	2,708
0:32:30	10,50	x	32,5	0,936	1,873	0:47:30	11,60	x	47,5	1,369	2,737
0:32:45	10,53		32,5	0,936	1,873	0:47:45	11,62		47,5	1,369	2,737
0:33:00	10,52	x	33,0	0,951	1,902	0:48:00	11,62	x	48,0	1,383	2,766
0:33:15	10,56		33,0	0,951	1,902	0:48:15	11,63		48,0	1,383	2,766
0:33:30	10,56	x	33,5	0,965	1,930	0:48:30	11,63	x	48,5	1,397	2,795
0:33:45	10,62		33,5	0,965	1,930	0:48:45	11,63		48,5	1,397	2,795
0:34:00	10,62	x	34,0	0,980	1,959	0:49:00	11,64	x	49,0	1,412	2,824
0:34:15	10,68		34,0	0,980	1,959	0:49:15	11,64		49,0	1,412	2,824
0:34:30	10,68	x	34,5	0,994	1,988	0:49:30	11,65	x	49,5	1,426	2,852
0:34:45	10,76		34,5	0,994	1,988	0:49:45	11,66		49,5	1,426	2,852
0:35:00	10,76	x	35,0	1,008	2,017	0:50:00	11,66	x	50,0	1,441	2,881
0:35:15	10,84		35,0	1,008	2,017	0:50:15	11,67		50,0	1,441	2,881
0:35:30	10,84	x	35,5	1,023	2,046	0:50:30	11,67	x	50,5	1,455	2,910
0:35:45	10,92		35,5	1,023	2,046	0:50:45	11,68		50,5	1,455	2,910
0:36:00	10,93	x	36,0	1,037	2,074	0:51:00	11,68	x	51,0	1,469	2,939
0:36:15	10,99		36,0	1,037	2,074	0:51:15	11,68		51,0	1,469	2,939
0:36:30	11,00	x	36,5	1,052	2,103	0:51:30	11,69	x	51,5	1,484	2,968
0:36:45	11,06		36,5	1,052	2,103	0:51:45	11,69		51,5	1,484	2,968
0:37:00	11,07	x	37,0	1,066	2,132	0:52:00	11,69	x	52,0	1,498	2,996
0:37:15	11,11		37,0	1,066	2,132	0:52:15	11,70		52,0	1,498	2,996
0:37:30	11,12	x	37,5	1,080	2,161	0:52:30	11,70	x	52,5	1,513	3,025
0:37:45	11,17		37,5	1,080	2,161	0:52:45	11,70		52,5	1,513	3,025
0:38:00	11,17	x	38,0	1,095	2,190	0:53:00	11,71	x	53,0	1,527	3,054
0:38:15	11,21		38,0	1,095	2,190	0:53:15	11,71		53,0	1,527	3,054
0:38:30	11,22	x	38,5	1,109	2,219	0:53:30	11,71	x	53,5	1,541	3,083
0:38:45	11,25		38,5	1,109	2,219	0:53:45	11,71		53,5	1,541	3,083
0:39:00	11,26	x	39,0	1,124	2,247	0:54:00	11,72	x	54,0	1,556	3,112
0:39:15	11,29		39,0	1,124	2,247	0:54:15	11,72		54,0	1,556	3,112
0:39:30	11,29	x	39,5	1,138	2,276	0:54:30	11,72	x	54,5	1,570	3,140
0:39:45	11,29		39,5	1,138	2,276	0:54:45	11,72		54,5	1,570	3,140
0:40:00	11,32	x	40,0	1,152	2,305	0:55:00	11,72	x	55,0	1,585	3,169
0:40:15	11,35		40,0	1,152	2,305	0:55:15	11,72		55,0	1,585	3,169
0:40:30	11,35	x	40,5	1,167	2,334	0:55:30	11,72	x	55,5	1,599	3,198
0:40:45	11,38		40,5	1,167	2,334						
0:41:00	11,38	x	41,0	1,181	2,363						
0:41:15	11,40		41,0	1,181	2,363						
0:41:30	11,40	x	41,5	1,196	2,391						
0:41:45	11,42		41,5	1,196	2,391						
0:42:00	11,43	x	42,0	1,210	2,420						
0:42:15	11,44		42,0	1,210	2,420						
0:42:30	11,45	x	42,5	1,225	2,449						
0:42:45	11,47		42,5	1,225	2,449						
0:43:00	11,47	x	43,0	1,239	2,478						
0:43:15	11,48		43,0	1,239	2,478						
0:43:30	11,49	x	43,5	1,253	2,507						
0:43:45	11,49		43,5	1,253	2,507						
0:44:00	11,50	x	44,0	1,268	2,535						
0:44:15	11,52		44,0	1,268	2,535						
0:44:30	11,52	x	44,5	1,282	2,564						
0:44:45	11,54		44,5	1,282	2,564						
0:45:00	11,54	x	45,0	1,297	2,593						

Prueba 9: Agua de mar – Cal - Concentrado (Pretratamiento)

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total			Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l				Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:00:00	9,16		10,0	0,288	0,576	0:15:15	10,30		25,0	0,720	1,441
0:00:15	9,16		10,0	0,288	0,576	0:15:30	10,28	x	25,5	0,735	1,469
0:00:30	9,16	x	10,5	0,303	0,605	0:15:45	10,31		25,5	0,735	1,469
0:00:45	9,67		10,5	0,303	0,605	0:16:00	10,29	x	26,0	0,749	1,498
0:01:00	9,67	x	11,0	0,317	0,634	0:16:15	10,32		26,0	0,749	1,498
0:01:15	9,84		11,0	0,317	0,634	0:16:30	10,29	x	26,5	0,764	1,527
0:01:30	9,81	x	11,5	0,331	0,663	0:16:45	10,33		26,5	0,764	1,527
0:01:45	9,91		11,5	0,331	0,663	0:17:00	10,30	x	27,0	0,778	1,556
0:02:00	9,87	x	12,0	0,346	0,691	0:17:15	10,34		27,0	0,778	1,556
0:02:15	9,94		12,0	0,346	0,691	0:17:30	10,31	x	27,5	0,792	1,585
0:02:30	9,91	x	12,5	0,360	0,720	0:17:45	10,35		27,5	0,792	1,585
0:02:45	9,95		12,5	0,360	0,720	0:18:00	10,32	x	28,0	0,807	1,613
0:03:00	9,92	x	13,0	0,375	0,749	0:18:15	10,36		28,0	0,807	1,613
0:03:15	9,98		13,0	0,375	0,749	0:18:30	10,34	x	28,5	0,821	1,642
0:03:30	9,94	x	13,5	0,389	0,778	0:18:45	10,39		28,5	0,821	1,642
0:03:45	10,00		13,5	0,389	0,778	0:19:00	10,35	x	29,0	0,836	1,671
0:04:00	9,96	x	14,0	0,403	0,807	0:19:15	10,39		29,0	0,836	1,671
0:04:15	10,02		14,0	0,403	0,807	0:19:30	10,35	x	29,5	0,850	1,700
0:04:30	9,99	x	14,5	0,418	0,836	0:19:45	10,39		29,5	0,850	1,700
0:04:45	10,03		14,5	0,418	0,836	0:20:00	10,36	x	30,0	0,864	1,729
0:05:00	10,00	x	15,0	0,432	0,864	0:20:15	10,41		30,0	0,864	1,729
0:05:15	10,05		15,0	0,432	0,864	0:20:30	10,38	x	30,5	0,879	1,758
0:05:30	10,01	x	15,5	0,447	0,893	0:20:45	10,42		30,5	0,879	1,758
0:05:45	10,07		15,5	0,447	0,893	0:21:00	10,39	x	31,0	0,893	1,786
0:06:00	10,04	x	16,0	0,461	0,922	0:21:15	10,44		31,0	0,893	1,786
0:06:15	10,08		16,0	0,461	0,922	0:21:30	10,41	x	31,5	0,908	1,815
0:06:30	10,05	x	16,5	0,475	0,951	0:21:45	10,45		31,5	0,908	1,815
0:06:45	10,09		16,5	0,475	0,951	0:22:00	10,42	x	32,0	0,922	1,844
0:07:00	10,07	x	17,0	0,490	0,980	0:22:15	10,50		32,0	0,922	1,844
0:07:15	10,11		17,0	0,490	0,980	0:22:30	10,48	x	32,5	0,936	1,873
0:07:30	10,09	x	17,5	0,504	1,008	0:22:45	10,50		32,5	0,936	1,873
0:07:45	10,13		17,5	0,504	1,008	0:23:00	10,48	x	33,0	0,951	1,902
0:08:00	10,10	x	18,0	0,519	1,037	0:23:15	10,51		33,0	0,951	1,902
0:08:15	10,17		18,0	0,519	1,037	0:23:30	10,49	x	33,5	0,965	1,930
0:08:30	10,16	x	18,5	0,533	1,066	0:23:45	10,55		33,5	0,965	1,930
0:08:45	10,15		18,5	0,533	1,066	0:24:00	10,52	x	34,0	0,980	1,959
0:09:00	10,13	x	19,0	0,547	1,095	0:24:15	10,56		34,0	0,980	1,959
0:09:15	10,16		19,0	0,547	1,095	0:24:30	10,54	x	34,5	0,994	1,988
0:09:30	10,14	x	19,5	0,562	1,124	0:24:45	10,61		34,5	0,994	1,988
0:09:45	10,18		19,5	0,562	1,124	0:25:00	10,58	x	35,0	1,008	2,017
0:10:00	10,15	x	20,0	0,576	1,152	0:25:15	10,64		35,0	1,008	2,017
0:10:15	10,19		20,0	0,576	1,152	0:25:30	10,62	x	35,5	1,023	2,046
0:10:30	10,17	x	20,5	0,591	1,181	0:25:45	10,70		35,5	1,023	2,046
0:10:45	10,20		20,5	0,591	1,181	0:26:00	10,67	x	36,0	1,037	2,074
0:11:00	10,18	x	21,0	0,605	1,210	0:26:15	10,74		36,0	1,037	2,074
0:11:15	10,22		21,0	0,605	1,210	0:26:30	10,75	x	36,5	1,052	2,103
0:11:30	10,20	x	21,5	0,619	1,239	0:26:45	10,80		36,5	1,052	2,103
0:11:45	10,22		21,5	0,619	1,239	0:27:00	10,78	x	37,0	1,066	2,132
0:12:00	10,20	x	22,0	0,634	1,268	0:27:15	10,87		37,0	1,066	2,132
0:12:15	10,24		22,0	0,634	1,268	0:27:30	10,85	x	37,5	1,080	2,161
0:12:30	10,23	x	22,5	0,648	1,297	0:27:45	10,94		37,5	1,080	2,161
0:12:45	10,25		22,5	0,648	1,297	0:28:00	10,93	x	38,0	1,095	2,190
0:13:00	10,23	x	23,0	0,663	1,325	0:28:15	11,01		38,0	1,095	2,190
0:13:15	10,26		23,0	0,663	1,325	0:28:30	11,01	x	38,5	1,109	2,219
0:13:30	10,23	x	23,5	0,677	1,354	0:28:45	11,08		38,5	1,109	2,219
0:13:45	10,26		23,5	0,677	1,354	0:29:00	11,08	x	39,0	1,124	2,247
0:14:00	10,25	x	24,0	0,691	1,383	0:29:15	11,14		39,0	1,124	2,247
0:14:15	10,27		24,0	0,691	1,383	0:29:30	11,14	x	39,5	1,138	2,276
0:14:30	10,25	x	24,5	0,706	1,412	0:29:45	11,20		39,5	1,138	2,276
0:14:45	10,29		24,5	0,706	1,412	0:30:00	11,20	x	40,0	1,152	2,305
0:15:00	10,27	x	25,0	0,720	1,441						

Tiempo seg	pH	Adición Cal	Cal adicionada total		
			Lechada ml	Cal g	Consumo g/l
0:30:15	11,25		40,0	1,152	2,305
0:30:30	11,27	x	40,5	1,167	2,334
0:30:45	11,29		40,5	1,167	2,334
0:31:00	11,29	x	41,0	1,181	2,363
0:31:15	11,33		41,0	1,181	2,363
0:31:30	11,33	x	41,5	1,196	2,391
0:31:45	11,36		41,5	1,196	2,391
0:32:00	11,36	x	42,0	1,210	2,420
0:32:15	11,40		42,0	1,210	2,420
0:32:30	11,40	x	42,5	1,225	2,449
0:32:45	11,42		42,5	1,225	2,449
0:33:00	11,42	x	43,0	1,239	2,478
0:33:15	11,45		43,0	1,239	2,478
0:33:30	11,45	x	43,5	1,253	2,507
0:33:45	11,48		43,5	1,253	2,507
0:34:00	11,48	x	44,0	1,268	2,535
0:34:15	11,50		44,0	1,268	2,535
0:34:30	11,50	x	44,5	1,282	2,564
0:34:45	11,52		44,5	1,282	2,564
0:35:00	11,52	x	45,0	1,297	2,593
0:35:15	11,54		45,0	1,297	2,593
0:35:30	11,54	x	45,5	1,311	2,622
0:35:45	11,56		45,5	1,311	2,622
0:36:00	11,56	x	46,0	1,325	2,651
0:36:15	11,58		46,0	1,325	2,651
0:36:30	11,58	x	46,5	1,340	2,680
0:36:45	11,60		46,5	1,340	2,680
0:37:00	11,60	x	47,0	1,354	2,708
0:37:15	11,61		47,0	1,354	2,708
0:37:30	11,61	x	47,5	1,369	2,737
0:37:45	11,63		47,5	1,369	2,737
0:38:00	11,63	x	48,0	1,383	2,766
0:38:15	11,64		48,0	1,383	2,766
0:38:30	11,65	x	48,5	1,397	2,795
0:38:45	11,66		48,5	1,397	2,795
0:39:00	11,66	x	49,0	1,412	2,824
0:39:15	11,66		49,0	1,412	2,824
0:39:30	11,66	x	49,5	1,426	2,852

Anexo F

Cinéticas de flotación

Prueba 10: Cinética pH 8,2 Sin MBS

- *Condiciones de la prueba*

P80	180	micron
Peso muestra	2000	g
Ley Cu muestra	1,71	%
Ley FeS2 muestra	3,62	%
Porcentaje de sólidos	33	%
pH prueba	8,2	
Reactivos		
Colector 3926	20	g/t
Colector 3418A	5	g/t
Espumante MIBC	15	g/t
Cal		
Pureza Cal	90	%
CaO% en Ca(OH)2	75,7	%
Consumo de Cal (Molienda)		
Consumo Ca(OH)2	100	g/t
Consumo CaO	68,1	g/t
Consumo de Cal (flotación)		
Consumo Ca(OH)2	248,8	g/t
Consumo CaO	169,5	g/t
Total consumo de CaO	238	g/t
Metabisulfito de Sodio (NaMBS)	0	g/t

- *Resultados experimentales*

Bandeja Nº	Tiempo (min)	Peso mineral seco (g)	Sólido %	Peso agua (g)	Ley Cu %	Ley FeS2 %	Rec Cu %	Rec FeS2 %
Alim	0	1972,8	32,03	4186,4	1,70	3,642		
1	0,75	54,2	5,87	869,1	37,64	31,66	60,79	23,88
2	2	29,8	3,27	881,5	19,47	43,61	78,08	41,97
3	8	110,4	6,12	1693,5	2,95	21,88	87,78	75,59
4	30	126,4	3,08	3977,5	0,76	3,03	90,65	80,92
5	Relave	1652	-	-	0,19	0,83	9,35	19,08

- *Ajuste modelos cinéticos Cu*

MODELOS CINETICOS Cu						
			PRIMER ORDEN SIMPLE		KLIMPEL	
Parametro	Tiempo medición	Rec Cu (%)	Rec 1er orden (%)	Error ²	Rec klimpel (%)	Error ²
Alim	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,75	60,79	58,72	4,30	60,36	0,19
2	2	78,08	83,03	24,51	79,28	1,44
3	8	87,78	87,56	0,05	87,79	0,00
4	30	90,65	87,56	9,50	89,87	0,60
				38,37	2,22	

Parámetro	Unidad	Primer orden simple	Klimpel
k	1/min	1,48	3,99
R infinito	%	87,56	90,63

- *Ajuste modelos cinéticos FeS₂*

MODELOS CINETICOS FeS ₂						
			PRIMER ORDEN SIMPLE		KLIMPEL	
Parametro	Tiempo medición	Rec FeS ₂ (%)	Rec 1er orden (%)	Error ²	Rec klimpel (%)	Error ²
Alim	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,75	23,88	20,51	11,36	19,29	21,06
2	2	41,97	43,68	2,94	55,50	183,05
3	8	75,59	76,55	0,92	71,79	14,41
4	30	80,92	79,93	0,98	75,77	26,46
				16,20	244,98	

Parametro	Unidad	Primer orden simple	Klimpel
k	1/min	0,40	1,78
R infinito	%	79,93	77,22

Prueba 11: Cinética pH 8,5 Sin MBS

- *Condiciones de la prueba*

P80	180	micron
Peso muestra	2000	g
Ley Cu muestra	1,72	%
Ley FeS2 muestra	3,64	%
Porcentaje de sólidos	33	%
pH prueba	8,5	
Reactivos		
Colector 3926	20	g/t
Colector 3418A	5	g/t
Espumante MIBC	15	g/t
Cal		
Pureza Cal	90	%
CaO% en Ca(OH)2	75,7	%
Consumo de Cal (Molienda)		
Consumo Ca(OH)2	100	g/t
Consumo CaO	68,1	g/t
Consumo de Cal (flotación)		
Consumo Ca(OH)2	420,0	g/t
Consumo CaO	286,1	g/t
Total consumo de CaO	354	g/t
Metabisulfito de Sodio (NaMBS)	0	g/t

- *Resultados experimentales*

Bandeja Nº	Tiempo (min)	Peso mineral seco (g)	Sólido %	Peso agua (g)	Ley Cu %	Ley FeS2 %	Rec Cu %	Rec FeS2 %
Alim	0	1975,2	32,61	4081,8	1,69	3,65		
1	0,75	64,8	6,29	965,4	32,46	9,17	63,12	8,23
2	2	41	3,88	1015,7	12,13	22,71	78,05	21,14
3	8	141,3	7,24	1810,4	2,53	16,98	88,78	54,38
4	30	159,1	3,15	4891,7	0,97	7,97	93,41	71,95
5	Relave	1569	-	-	0,14	1,29	6,59	28,05

- *Ajuste modelos cinéticos Cu*

MODELOS CINETICOS Cu						
			PRIMER ORDEN SIMPLE		KLIMPEL	
Parametro	Tiempo medición	Rec Cu (%)	Rec 1er orden (%)	Error ²	Rec klimpel (%)	Error ²
Alim	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,75	63,12	60,51	6,83	62,11	1,03
2	2	78,05	84,63	43,31	80,79	7,53
3	8	88,78	88,85	0,01	89,20	0,18
4	30	93,41	88,85	20,79	91,26	4,63
				70,93	13,37	

Parametro	Unidad	Primer orden simple	Klimpel
k	1/min	1,52	4,10
R infinito	%	88,85	92,00

- *Ajuste modelos cinéticos FeS₂*

MODELOS CINETICOS FeS ₂						
			PRIMER ORDEN SIMPLE		KLIMPEL	
Parametro	Tiempo medición	Rec FeS ₂ (%)	Rec 1er orden (%)	Error ²	Rec klimpel (%)	Error ²
Alim	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,75	8,23	8,79	0,31	1,80	41,37
2	2	21,14	21,13	0,00	38,83	313,21
3	8	54,38	54,20	0,03	55,50	1,24
4	30	71,95	72,02	0,01	59,57	153,31
				0,34	509,13	

Parametro	Unidad	Primer orden simple	Klimpel
k	1/min	0,17	1,37
R infinito	%	72,44	61,05

Prueba 12: Cinética pH 9,0 Sin MBS

- *Condiciones de la prueba*

P80	180	micron
Peso muestra	2000	g
Ley Cu muestra	1,72	%
Ley FeS ₂ muestra	3,75	%
Porcentaje de sólidos	33	%
pH prueba	9	
Reactivos		
Colector 3926	20	g/t
Colector 3418A	5	g/t
Espumante MIBC	15	g/t
Cal		
Pureza Cal	90	%
CaO% en Ca(OH) ₂	75,7	%
Consumo de Cal (Molienda)		
Consumo Ca(OH) ₂	100	g/t
Consumo CaO	68,1	g/t
Consumo de Cal (flotación)		
Consumo Ca(OH) ₂	841,6	g/t
Consumo CaO	573,4	g/t
Total consumo de CaO	642	g/t
Metabisulfito de Sodio (NaMBS)	0	g/t

- *Resultados experimentales*

Bandeja N°	Tiempo (min)	Peso mineral seco (g)	Sólido %	Peso agua (g)	Ley Cu %	Ley FeS ₂ %	Rec Cu %	Rec FeS ₂ %
Alim	0	1980,0	32,61	4091,8	1,74	3,73		
1	0,75	52,6	6,29	783,6	41,38	6,21	63,35	4,43
2	2	39,2	3,88	971,1	14,31	3,93	79,68	6,51
3	8	98,5	7,24	1262,0	3,43	13,68	89,52	24,77
4	30	120,7	3,15	3711,0	0,91	20,98	92,71	59,07
5	Relave	1669	-	-	0,15	1,81	7,29	40,93

- *Ajuste modelos cinéticos Cu*

MODELOS CINETICOS Cu						
			PRIMER ORDEN SIMPLE		KLIMPEL	
Parametro	Tiempo medición	Rec Cu (%)	Rec 1er orden (%)	Error ²	Rec klimpel (%)	Error ²
Alim	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,75	63,35	61,24	4,49	62,78	0,33
2	2	79,68	85,17	30,11	81,27	2,52
3	8	89,52	89,22	0,09	89,59	0,01
4	30	92,71	89,22	12,18	91,63	1,18
				46,87		4,04

Parametro	Unidad	Primer orden simple	Klimpel
k	1/min	1,55	4,16
R infinito	%	89,22	92,36

- *Ajuste modelos cinéticos FeS₂*

MODELOS CINETICOS FeS ₂						
			PRIMER ORDEN SIMPLE		KLIMPEL	
Parametro	Tiempo medición	Rec FeS ₂ (%)	Rec 1er orden (%)	Error ²	Rec klimpel (%)	Error ²
Alim	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,75	4,43	2,75	2,79	-2,47	47,51
2	2	6,51	7,13	0,38	23,63	293,00
3	8	24,77	24,79	0,00	35,37	112,48
4	30	59,07	59,07	0,00	38,24	433,90
				3,17		886,88

Parametro	Unidad	Primer orden simple	Klimpel
k	1/min	0,05	1,25
R infinito	%	76,99	39,29

Prueba 13: Cinética pH 8,5 Con MBS

- *Condiciones de la prueba*

P80	180	micron
Peso muestra	2000	g
Ley Cu muestra	1,7	%
Ley FeS2 muestra	3,28	%
Porcentaje de sólidos	33	%
pH prueba	8,5	
Reactivos		
Colector 3926	20	g/t
Colector 3418A	5	g/t
Espumante MIBC	15	g/t
Cal		
Pureza Cal	90	%
CaO% en Ca(OH)2	75,7	%
Consumo de Cal (Molienda)		
Consumo Ca(OH)2	100	g/t
Consumo CaO	68,1	g/t
Consumo de Cal (flotación)		
Consumo Ca(OH)2	406,1	g/t
Consumo CaO	276,7	g/t
Total consumo de CaO	345	g/t
Metabisulfito de Sodio (NaMBS)	25	g/t

- *Resultados experimentales*

Bandeja Nº	Tiempo (min)	Peso mineral seco (g)	Sólido %	Peso agua (g)	Ley Cu %	Ley FeS2 %	Rec Cu %	Rec FeS2 %
Alim	0	1959,9	32,52	4066,9	1,70	3,64		
1	0,75	51,9	13,87	322,3	44,37	9,43	69,09	6,86
2	2	32,8	6,34	484,6	13,81	14,82	82,68	13,67
3	8	75,8	4,58	1579,2	2,59	16,37	88,57	31,06
4	30	140	3,15	4304,4	0,35	5,38	90,04	41,62
5	Relave	1659,4	-	-	0,20	2,51	9,96	58,38

- *Ajuste modelos cinéticos Cu*

MODELOS CINETICOS Cu						
			PRIMER ORDEN SIMPLE		KLIMPEL	
Parametro	Tiempo medición	Rec Cu (%)	Rec 1er orden (%)	Error ²	Rec klimpel (%)	Error ²
Alim	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,75	69,09	68,31	0,61	69,13	0,00
2	2	82,68	86,26	12,79	82,56	0,01
3	8	88,57	87,85	0,52	88,61	0,00
4	30	90,04	87,85	4,79	90,09	0,00
				18,70		0,02

Parametro	Unidad	Primer orden simple	Klimpel
k	1/min	2,00	5,62
R infinito	%	87,85	90,62

- *Ajuste modelos cinéticos FeS₂*

MODELOS CINETICOS FeS ₂						
			PRIMER ORDEN SIMPLE		KLIMPEL	
Parametro	Tiempo medición	Rec FeS ₂ (%)	Rec 1er orden (%)	Error ²	Rec klimpel (%)	Error ²
Alim	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,75	6,86	5,44	2,01	3,34	12,40
2	2	13,67	12,97	0,50	23,25	91,82
3	8	31,06	32,16	1,20	32,22	1,33
4	30	41,62	41,18	0,20	34,41	52,04
				3,91		157,58

Parametro	Unidad	Primer orden simple	Klimpel
k	1/min	0,19	1,47
R infinito	%	41,32	35,20