



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMAS DE POSTGRADO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



“Floculación y viscosidad de suspensiones de sílice coloidal en presencia de sales de agua de mar”

Tesis presentada a la

DIRECCIÓN DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

para optar al ***Grado de Magíster en Cs. de la Ing. c/m en Ingeniería Química***

Dr. Romel Jiménez C., Director de Postgrados en Ingeniería Química, saluda atentamente a usted y tiene el agrado de invitarle al Examen de Grado del Sr. **Cristian Pablo Romero Shirai**, que se efectuará en el Auditorio Prof. Hugo Segura Gómez, 2do piso, Edificio Gustavo Pizarro Castro, el día miércoles 14 de marzo de 2018 a las 16.00 hrs.

Profesor Guía:

Pedro Toledo R., Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.

Profesor Comisión Interna:

Rodrigo Bórquez Y., Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.

Profesor Comisión Externa:

Fernando Betancourt C., Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.

Concepción, 12 de marzo de 2018.

RESUMEN

En Chile la actividad minera es fundamental para el desarrollo económico y social, sin embargo en el último tiempo la escasez de agua en la Zona Norte y Centro del país se ha planteado como una realidad que dificulta la sustentabilidad de la actividad y por tanto el crecimiento del país. La búsqueda de alternativas al agua fresca condujo al mar, hoy existe al menos una planta concentradora de cobre en Antofagasta que opera con agua de mar directamente, y varias otras que lo hacen con agua de mar parcial o totalmente desalada. La urgencia por el recurso dio paso al empleo de agua de mar sin conocer los efectos de los muchos electrolitos presentes en el agua de mar sobre los distintos procesos de la industria minera. Este escenario impulsa los objetivos de esta tesis que se centran en estudiar los efectos de los electrolitos de agua de mar sobre la floculación y comportamiento viscoso de suspensiones floculadas de sílice coloidal. Es conocido que la conformación de un floculante en agua depende principalmente de la concentración de sal y del pH, y que aumentos en la concentración de sal conducen a conformaciones ovilladas tipo pelotas. Sin embargo, cuando el sistema incluye partículas de sílice, la conformación deja de ser función de la salinidad y del pH, el floculante adopta una conformación estirada aún a concentraciones de sal de 0.5 M, representativa de la fortaleza iónica del agua de mar. Este hallazgo en esta tesis es muy importante porque confirma que un floculante aniónico en presencia de partículas de sílice, también aniónicas, actúa formando puentes poliméricos que son la base de redes tridimensionales de partículas que sedimentan con alguna facilidad. La magnitud del potencial zeta negativo de partículas de sílice como función del pH y en presencia de cationes monovalentes sigue la tendencia $\text{Li}^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Cs}^+$ sugiriendo que la adsorción de estos cationes sobre la superficie de sílice sigue la tendencia $\text{Cs}^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$. En presencia de cationes divalentes, la magnitud del potencial zeta negativo como función del pH disminuye fuertemente y sigue la tendencia $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ sugiriendo que la adsorción es $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$. Respecto del floculante en solución, simulaciones moleculares indican que la repulsión entre las unidades aniónicas de acrilato causan que el polímero adopte conformaciones terciarias expandidas, sin embargo, con cationes esta repulsión disminuye, causando que el polímero adopte una conformación más enrollada, disminuyendo con ello su volumen hidrodinámico. La adsorción de cationes sobre las cadenas del floculante aniónico siguen una tendencia inversa a la adsorción de estos mismos cationes sobre sílice, es decir, $\text{Li}^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Cs}^+$ y $\text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+}$. La diferente habilidad de la sílice para adsorber cationes conduce a campos de fuerza que crean redes tridimensionales de partículas, con resistencias que dependen del catión involucrado. La viscosidad de suspensiones de sílice formuladas a 0.5 M de sal y pH 7 en presencia de floculante aniónico sigue la tendencia $\text{KI} > \text{KCl} > \text{NaCl} > \text{MgCl}_2 > \text{agua}$, y en floculante catiónico $\text{KI} < \text{KCl} < \text{NaCl} < \text{MgCl}_2 < \text{agua}$. En el caso del floculante aniónico el contraión es el mismo para la sílice y el floculante, conduciendo a una fuerte interacción floculante-catión-partícula que produce una elevada viscosidad. En el caso del floculante catiónico, el catión de la sal es el contraión de la sílice, mientras que el anión de la sal es el contraión del floculante, conduciendo en general a interacciones más débiles entre partículas y floculante y como consecuencia a una baja viscosidad. La conclusión es que atmósferas iónicas similares producen redes resistentes en tanto que atmósferas disimilares producen redes débiles, en otras palabras se cumple una vez más la regla empírica de “parecidos adsorben parecidos”. Cuanto mayor sea el pH, mayor es la repulsión y menor la viscosidad de las suspensiones formuladas con cualquiera de los floculantes. Estos resultados, al menos los correspondientes a cationes monovalentes, están muy de acuerdo con las conclusiones de un trabajo anterior sobre la energía de deformación crítica de redes de partículas de sílice floculada. Por otra parte, las suspensiones de sílice en presencia de sales de agua de mar, a pH 7 y con variación de la dosis de floculante de 0 a 136 ppm, muestran mayor velocidad de sedimentación y menor turbidez cuando participan iones divalentes. En la serie monovalente, tanto la velocidad de sedimentación como la turbidez en presencia de LiCl es mayor que en presencia de KCl.

Finalmente, se determina la cinética de crecimiento de agregados de sílice bajo condiciones de interés, esto es, pH 7, 90 ppm de floculante aniónico, diversas sales y niveles de concentración (0.5 y 0.05 M). Los ensayos muestran mayores tasas de crecimiento y a la vez mayores diámetros estables para suspensiones con sales divalentes ($\text{CaCl}_2 \approx \text{MgCl}_2$) que para monovalentes ($\text{KCl} > \text{NaCl} > \text{LiCl}$). El análisis de la evolución temporal del diámetro volumétrico sugiere en principio una pobre cinética de floculación debido al bajo tamaño que se alcanza en el estado estacionario. Sin embargo, cuando se analiza la función de distribución del 90% de partículas más grandes se encuentra que su tamaño efectivamente aumenta, y de manera considerable, especialmente en presencia de cationes divalentes. Los datos sugieren que procesos de transporte de pulpas limitados por su reología se beneficiarían si se eliminan los cationes monovalentes con alta densidad de carga, aparentemente los cationes divalentes con alta densidad de carga no serían problema pero se debe confirmar. Los datos también sugieren que procesos de clarificación de agua para reciclaje son favorecidos en presencia de cationes divalentes con una alta tasa de sedimentación, baja turbidez y mayor crecimiento de flóculos, en cambio en presencia de cationes monovalentes como Li^+ se obtienen tasas bajas de sedimentación y una fracción de partículas persiste en suspensión contribuyendo a altos niveles de turbidez, con tasas de crecimiento de flóculos más bien bajas, en presencia de K^+ las tasas de sedimentación son aún más bajas aunque los niveles de turbidez son más bajos que con Li^+ , y el tamaño de flóculos es comparable al que se obtiene con Li^+ . Estos resultados permiten especular que el Li^+ fomenta la coagulación de partículas, lo que no hace el K^+ , pero ambos cationes floculan con la misma (in)eficiencia. La remoción selectiva de cationes como Li^+ y Na^+ es posible mediante procesos de filtración por lo que de ser necesario se podría hacer. Esta tesis provee sugerencias novedosas acerca del uso de agua de mar en el procesamiento de minerales con impacto directo sobre el transporte de relaves y recuperación de agua.