

UTILIZACIÓN DE ESTUDIOS DE POTENCIAL ZETA EN EL DESARROLLO DE UN PROCESO ALTERNATIVO DE FLOTACIÓN DE MINERAL FELDESPÁTICO

APPLICATION OF ZETA POTENTIAL STUDIES IN THE DEVELOPMENT OF AN ALTERNATIVE PROCESS FOR THE FLOTATION OF FELDSPAR MINERALS

CESAR MANTILLA

Grupo de Investigaciones en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

JULIO PEDRAZA

Grupo de Investigaciones en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

DIONISIO LAVERDE

*Grupo de Investigaciones en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga
dlaverde@uis.edu.co*

Recibido para revisar Octubre 08 de 2003, aceptado Febrero 25 de 2004, versión final Marzo 16 de 2007

RESUMEN: Se presentan los resultados de un estudio experimental de flotación de feldespato usando mezcla de colectores. La evaluación de la hidrofobicidad de las partículas se realiza mediante la medición del potencial Z de los principales minerales del sistema particulado (Cuarzo-Feldespato)

Se encuentra que la mezcla de colectores mejora fuertemente la hidrofobicidad del feldespato, mientras que se disminuye la flotabilidad del cuarzo, lo cual está asociado a fuertes cambios del potencial Z.

PALABRAS CLAVE: Potencial Z, flotación, feldespatos, cuarzo, mezcla de colectores

ABSTRACT: The results of an experimental study of flotation separation of feldspar using a collector mix are presented. The hydrofobicity evaluation of the particles was made by zeta potential measurements in the mains minerals in the system (quartz – feldspar).

It was found that the collector mix drastically increase the hydrofobicity of the feldspar, whereas the floatability of the quartz was decreased, which is associated with strong changes in the zeta potential.

KEYWORDS: Zeta potential, flotation, feldspar, quartz, collector mix.

1. INTRODUCCIÓN

Como parte de los análisis requeridos con el fin de desarrollar nuevas estrategias de flotación se encuentra que el estudio de las propiedades superficiales de los diferentes minerales en contacto con los reactivos en medio acuoso,

generan teorías sostenibles sobre la humectabilidad de minerales. Dichos estudios pueden incluir análisis de carga superficial, adsorción de reactivos, medición de ángulos de contacto, entre otros.

La medición del potencial zeta es una técnica que proporciona la información suficiente de la

distribución de carga superficial en la interfase sólido/agua. Es en este sentido que el estudio del potencial superficial puede ser utilizado para la evaluación y conocimiento de los procesos de separación por flotación espumante.

Según el modelo de la doble capa eléctrica, los potenciales de repulsión están ligados a las fuerzas eléctricas de repulsión, mientras que los potenciales de atracción están sujetos a las Fuerzas de interacción de London (Colloidal Science of Flotation, A. Nguyen & H. Schulze, M. Dekker, 2004, New York). Una representación gráfica de dicho modelo se puede observar en la figura 1 [1].

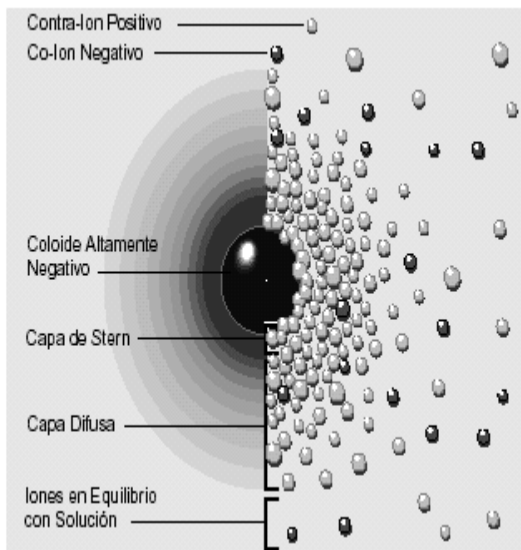


Figura 1. Doble capa eléctrica [1]

Figure 1. Electric double layer [1]

En suspensiones acuosas de minerales, las partículas adquieren carga eléctrica superficial debido al desbalance eléctrico generado por la rotura de enlaces en la superficie. Esto genera una concentración de contraiones en la solución en la cercanía de la superficie de las partículas. Esta concentración disminuye al incrementar la distancia entre las partículas, provocando una diferencia de potencial entre la superficie de la partícula y el seno de la solución.

Según el modelo de la doble capa eléctrica, se pueden asumir la existencia de dos capas en la vecindad de la interfase sólido/solución; una capa en la cual se presenta un decaimiento lineal del potencial eléctrico y que permanece fija aun

cuando las partículas se muevan, y una capa difusa con decaimiento exponencial. Esto implica la existencia de un plano de referencia entre la capa fija y la capa difusa y justo el potencial se denomina Potencial Z, o potencial electrodinámico [2, 3,4] (ver Figura 2).

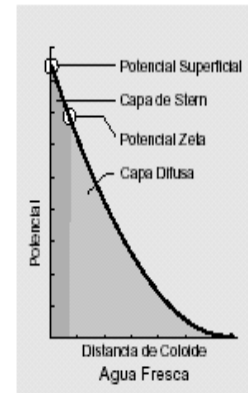


Figura 2. Potencial

Figure 2. Zeta potential

Una de las técnicas más comunes para medir el potencial zeta es usando la denominada técnica de microelectroforesis. Usualmente se utiliza un microscopio de alta calidad para observar cómodamente las partículas que se encuentran dentro de una cámara llamada celda electroforética. Dos electrodos colocados en los extremos de la cámara se conectan a una fuente de potencia, creándose un campo eléctrico que cruza la celda. Las partículas cargadas migran en el campo y su movimiento y dirección están relacionados con su potencial zeta.

Los instrumentos en realidad miden la movilidad electroforética de las partículas, la cual se expresa como micrones/segundo por voltios/centímetro. El primer término, micrones por segundo, representa simplemente la velocidad, mientras que el segundo, voltios por centímetro, es una expresión de la fuerza eléctrica del campo. Se utilizan los valores de potencial zeta debido a que éste expresa el verdadero fenómeno involucrado y no el efecto físico del potencial, el cual es la movilidad.

Respecto a los reactivos colectores, se tiene claro que las diaminas que son de tipo catiónico son adsorbidas cuando se ponen en contacto con minerales cargados negativamente. Es el caso de

algunos silicatos donde los cationes de la red, tales como los iones alcalinos en los feldespatos, son fácilmente solubles cuando se exponen superficies frescas de estos minerales al contacto con las soluciones acuosas de las pulpas de flotación, entonces la carga superficial será negativa y estará controlada por el rompimiento de los enlaces Si-O o por la carga de la cadena estructural del silicato. La presencia, en estos colectores, de dos grupos funcionales correspondientes a bases orgánicas fuertes hace que la actividad catiónica sea alta por lo cual presenta una excelente selectividad [4].

Por otro lado, se ha reportado [5,6], que la mezcla de un colector aniónico con un catiónico, disminuye la repulsión de los radicales positivos del colector catiónico y así se provee una mayor hidrofobicidad a las capas adsorbidas.

El método tradicional para la flotación del feldespato emplea como reactivo colector alquilaminas primarias o secundarias, e implica el uso de fluor, en forma de ácido fluorhídrico, como depresor del cuarzo, pero dadas las fuertes condiciones oxidantes que impone este elemento, se ve conveniente eliminar su uso dentro de los procesos de flotación, debido a la fuerte contribución en la contaminación de los efluentes del proceso, ya que su remoción y neutralización no es económicamente viable [7].

2. SISTEMA EXPERIMENTAL

El mineral de experimentación se tomó de muestras procedentes de una mina feldespática de Berlín (Santander), seleccionando y separando manualmente los cristales de feldespato y cuarzo, con ayuda de una lupa binocular. Posteriormente se realizó conminución de las dos fracciones de minerales por separado hasta tamaño $-35 \mu\text{m}$ para las pruebas de determinación del potencial Z, y hasta $-150 \mu\text{m}$ para las pruebas de flotabilidad. La pureza de la fracción feldespática utilizada fue de 91.08% de feldespato y 6.56% de cuarzo, con composición química de 71.38% SiO_2 , 17.77% Al_2O_3 , 3.64% K_2O , 8.1% Na_2O , 0.16% CaO , 0.88% Fe_2O_3 . La fracción de cuarzo fue de una pureza de 91%.

Como colector catiónico se utilizó el R-1,3-diaminopropano (Diamina) elaborado por Akzo Nobel Chemicals Brasil, donde R es un radical proveniente de ácidos grasos [8]. El colector aniónico seleccionado fue Sulfonato de Petróleo de alta pureza elaborado por Cytec Chile. Adicionalmente se utilizaron NaOH, HCl y H_2SO_4 grado reactivo, como modificadores de pH.

Las pruebas para la determinación del potencial zeta (PZ) fueron realizadas en un equipo marca ZETA METER 3.0+ perteneciente al Laboratorio de Yacimientos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Medellín. Para determinar el efecto sobre el potencial zeta de los dos reactivos colectores y sus mezclas, se realizaron medidas de potencial a diferentes concentraciones de las soluciones acuosas obtenidas con los reactivos, individualmente con las dos fracciones de minerales por separado.

Para corroborar los resultados del estudio del potencial zeta se desarrolló un conjunto de pruebas experimentales de flotabilidad de los dos minerales en un Tubo Hallimond, fabricado según diseño propuesto por Fuerstenau D. en 1957.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los potenciales zeta del cuarzo (C) y del feldespato (F) en función del pH en contacto con HCl y H_2SO_4 se observan en la figura 3.

La diferencia entre los efectos del HCl y del H_2SO_4 sobre el potencial zeta de cada mineral es muy pequeña, sin embargo el ión SO_4^{-2} se adsorbe más fuertemente que el ion Cl^- sobre la superficie de los minerales ya que hace más negativo los valores de potencial zeta, tal como se aprecia en la figura 3.

En el caso del ácido sulfúrico el punto isoeléctrico o potencial zeta cero (PZC) para el cuarzo se alcanza a un pH de 2, mientras que en el caso del feldespato, realizando una extrapolación en las curvas presentadas, se alcanzaría a un pH menor a 1,5.

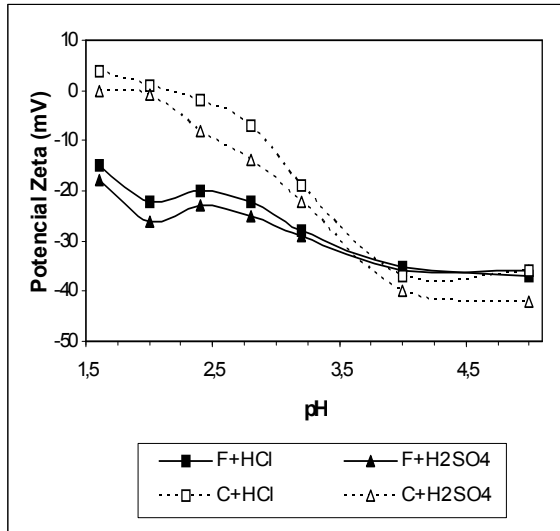


Figura 3. PZ de feldespato y cuarzo en contacto con diferentes ácidos.

Figure 3. ZP of feldspar and quartz in contact with acids

Teniendo en cuenta estos resultados se selecciona al ácido sulfúrico como modificador de pH y un valor de pH de 2 como óptimo para realizar la flotación selectiva de estos dos minerales, ya que a dicho pH el cuarzo se encuentra sin carga, mientras que el feldespato se encuentra cargado negativamente.

En la figura 4 se observa el efecto de la concentración de la diamina, que fue el colector catiónico seleccionado, sobre el potencial zeta de los dos minerales, empleando ácido sulfúrico a pH 2.

Lo primero que se observa es que, a las concentraciones de experimentación, se presenta un comportamiento similar en la adsorción del reactivo sobre los dos minerales al pH establecido. Las superficies se hacen más negativas hasta aproximadamente 7.5×10^{-7} mol/L, después de dicho valor el potencial zeta aumenta a medida que se va incrementando la concentración de diamina en solución, lo cual

implica el inicio de la adsorción del colector sobre la superficie de los minerales. A una concentración de diamina de aproximadamente

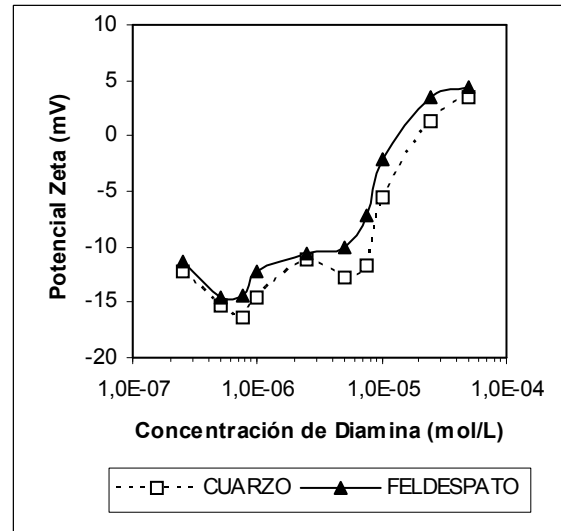


Figura 4. PZ de feldespato y cuarzo en contacto con colector catiónico.

Figure 4. ZP of feldspar and quartz in contact with cationic collector

7.5×10^{-6} mol/L se observa un fuerte incremento en las pendientes de las curvas. Tal incremento se debe a la formación de agregados bidimensionales de los reactivos adsorbidos en la capa de Stern debido a la interacción entre sus cadenas hidrocarbonadas. A esta concentración se le denomina concentración hemi-micelar crítica. En este punto, el fuerte incremento en las pendientes de las curvas de potencial zeta implica un alto incremento de la adsorción del reactivo. Los agregados bidimensionales o hemimicelas interaccionan entre sí formando agregados tridimensionales llamados micelas, confiriendo a su vez flotabilidad parcial al mineral. A concentraciones de diamina superiores a 1×10^{-5} mol/L, su adsorción es tan alta que se presenta un cambio de signo del potencial zeta. En el caso específico del feldespato, con concentraciones cercanas a 1.5×10^{-5} mol/L, se alcanza el PZC o punto cero de carga; mientras que en el caso del cuarzo se alcanza en concentraciones cercanas a 2×10^{-5} mol/L. Lo anterior implica que a una concentración de 1.5×10^{-5} mol/L la superficie de las partículas de feldespato está en condición hidrofóbica, en tanto la de las de cuarzo en condición hidrofílica por tener carga, en este caso negativa.

Los anteriores resultados indican que debido a la similitud en los comportamientos del potencial zeta de los dos minerales, no se puede obtener una separación por flotabilidad total de feldespato y nula del cuarzo empleando únicamente colector catiónico, por lo cual se adiciona colector aniónico (Sulfonato de Petróleo).

En la figura 5 se observa el efecto de diferentes concentraciones de colector aniónico mezclado con colector catiónico 1×10^{-5} mol/L en contacto con el cuarzo y el feldespato, empleando ácido sulfúrico a pH 2.

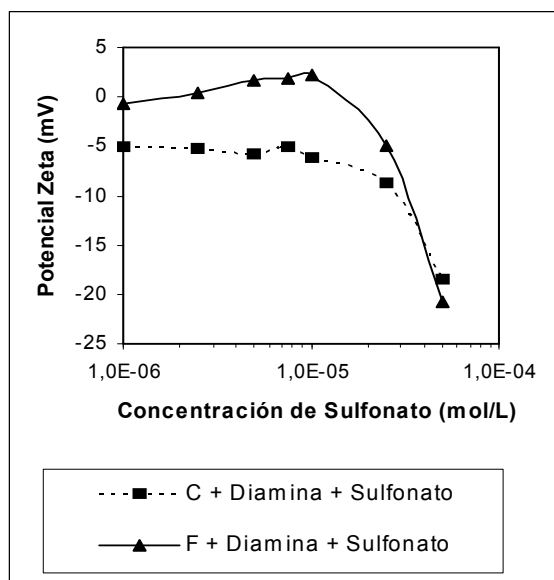


Figura 5. PZ de feldespato y cuarzo en contacto con mezclas de colector catiónico (diamina) y aniónico (Sulfonato).

Figure 5. ZP of feldspar and quartz in contact with collector mix. Cationic (Diamine), anionic (Sulfonate)

Se puede observar que para el feldespato a concentraciones de sulfonato inferiores a la concentración de diamina en mezcla, el potencial zeta aumenta a medida que se incrementa la concentración de sulfonato. En el caso del cuarzo la adición de sulfonato en concentraciones inferiores a la concentración de diamina en solución presenta un efecto despreciable sobre sus valores de potencial zeta.

Debido a que tanto el cuarzo como el feldespato se encuentran cargados negativamente a la concentración de diamina y pH estudiado (Fig. 4), el sulfonato (aniónico) no es adsorbido por dichos minerales, sin embargo éste modifica los valores de carga del feldespato gracias a que se presenta una coadsorción del sulfonato con la diamina adsorbida en la capa de Stern. En la figura 5 el potencial zeta del feldespato se incrementa, pasando de valores negativos a positivos, al incrementar la concentración de sulfonato hasta un valor de 1×10^{-5} mol/L, debido a que la intrusión de sulfonato (aniónico) entre dos moléculas de diamina (catiónico) reduce la repulsión en la superficie del mineral de los radicales amino cargados positivamente, dando como resultado un incremento en la adsorción de diamina. Lo anterior implica una mayor interacción entre las cadenas hidrocarbonadas de los reactivos, incrementando la hidrofobicidad y por ende la flotabilidad del feldespato, ya que la incorporación de sulfonato entre dos diaminas da como resultado una capa adsorbida más compacta. Lo anterior es consecuente con los trabajos realizados por Hanumantha en 1997 [5]. Dado que el cuarzo presenta valores más negativos de potencial zeta a la concentración de diamina evaluada, el sulfonato no genera películas hidrofóbicas debido a la escasez de cationes amino adsorbidos en la superficie de este mineral.

Se aprecia una disminución en los valores de potencial zeta de los dos minerales cuando se emplean concentraciones de sulfonato mayores a la concentración de diamina en solución, lo anterior indica que el sulfonato se coadsorbe con la diamina en una relación 1:1 o menor. Cuando se emplea una relación mayor de sulfonato, los aniones no coadsorbidos con la diamina generan desorden en la orientación de las cadenas hidrocarbonadas y por ende disminución en los valores del potencial zeta y de la hidrofobicidad; del mismo modo, dichos aniones no coadsorbidos pueden ser adsorbidos por interacción entre sus cadenas hidrocarbonadas en dirección contraria (el radical negativo hacia la solución) lo cual también hace que se disminuya el valor del potencial zeta.

Los mejores resultados del estudio de potencial zeta, para el sistema evaluado, se obtuvieron a las siguientes condiciones:

- pH: 2,0.
- Modificador de pH: Ácido Sulfúrico.
- Colector a emplear: Mezcla de colector catiónico (diamina) 7.5×10^{-6} mol/L y colector aniónico (sulfonato) 7.5×10^{-6} mol/L.

Bajo las anteriores condiciones, la superficie de las partículas de feldespato debe tener un comportamiento hidrofóbico, puesto que su carga superficial se anula, es decir se está en su punto de carga cero PZC, mientras que la superficie de las partículas de cuarzo serán hidrofílicas por tener una carga negativa.

En la figura 6 se presentan los resultados del estudio de flotabilidad en Tubo Hallimond realizado a los dos minerales teniendo en cuenta las mejores condiciones obtenidas en los estudios de potencial zeta. Se observa un comportamiento similar al evaluado por medio de los estudios de potencial zeta. A concentraciones de sulfonato inferiores a las concentraciones de diamina en mezcla, la recuperación aumenta a medida que se incrementa la concentración de sulfonato en el caso del feldespato. En el caso del cuarzo la adición de sulfonato en concentraciones inferiores a la concentración de diamina en solución presenta un efecto despreciable sobre sus valores de recuperación.

De acuerdo a los resultados presentados en la figura 6 se puede afirmar que para una buena purificación de una mena feldespática, esto es, una alta flotabilidad del feldespato y una muy baja para el cuarzo, se logra empleando una mezcla de colector catiónico de Diamina a concentración de 7.5×10^{-6} mol/L y colector aniónico de Sulfonato de Petróleo a concentración de 7.5×10^{-6} mol/L, a pH de 2,0, modificado con Ácido Sulfúrico.

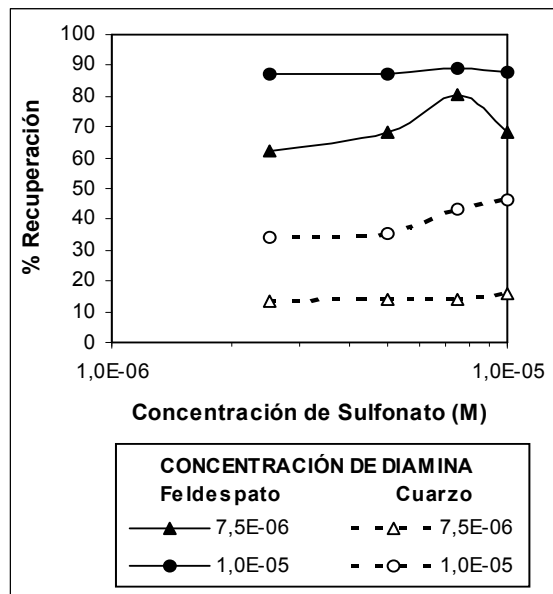


Figura 6. Flotabilidad de feldespato y cuarzo en contacto con mezclas de colector catiónico (diamina) y aniónico (Sulfonato).

Figure 6. Feldspar and quartz flotability in contact with collector mix. Cationic (diamine), anionic (Sulfonate)

4. CONCLUSIONES

Se comprobó que mediante el análisis de la variación del potencial zeta de las dispersiones minerales, con respecto a la adición de diferentes concentraciones de reactivos surfactantes, se puede hacer un seguimiento y evaluación de la hidrofobicidad y de la humectabilidad de las partículas minerales presentes en los sistemas dispersos, y así de este modo poder seleccionar y dosificar los reactivos acondicionadores y colectores necesarios para la separación y concentración de minerales mediante flotación espumante.

De los resultados experimentales se determinó que la mezcla de colectores catiónicos con colectores aniónicos mejora significativamente la hidrofobicidad del feldespato, mientras que se disminuye la flotabilidad del cuarzo, lo cual está asociado a fuertes variaciones del potencial Z. Con este trabajo se pudo desarrollar y proponer un proceso alternativo al convencional para la purificación por flotación espumante de mineral

feldespático, en el cual se elimina el uso del ácido fluorhídrico, reemplazándolo por ácido sulfúrico, y utilizando una mezcla de colector catiónico de Diamina y colector aniónico de Sulfonato de Petróleo.

Los mejores resultados en la flotación en Tubo Hallimond, alta flotabilidad del feldespato y baja del cuarzo, fueron concordantes con los de potencial zeta, alta hidrofobicidad del feldespato y baja para el cuarzo, y se obtuvieron bajo las siguientes condiciones:

- pH: 2,0.
- Modificador de pH: Ácido Sulfúrico.
- Colector a emplear: Mezcla de colector catiónico de Diamina 7.5×10^{-6} mol/L y colector aniónico de Sulfonato de Petróleo 7.5×10^{-6} mol/L.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a Colciencias y a Cerámica Italia por la financiación del proyecto “Selección y evaluación de reactivos alternativos para el proceso de flotación del sistema feldespato/cuarzo”. Así como a la Doctora Dora Patricia Restrepo de la Universidad Nacional de Medellín por su colaboración en las pruebas de potencial zeta.

REFERENCIAS

- [1] Zeta-Meter Inc. Zeta Potencial: A complete Course in 5 Minutes, Stauton, USA, 1998.
- [2] ADAMSON A.W., GAST A. P., Physical Chemistry of Surfaces, John Wiley & Sons, Inc., 1997. [3] HUNTER R. J., Zeta Potentia in Colloid Science. Principles and Applications. Academic Press, 1981.
- [3] HUNTER R. J., Zeta Potentia in Colloid Science. Principles and Applications. Academic Press, 1981.
- [4] CASTRO, S. Fundamentos Fisicoquímicos de la Flotación de Minerales, Univ. de Concepción, 1980.
- [5] VIDYADHAR, A., HANUMANTHA, R., Mixed Cationic/Anionic Collectors in the Flotation Separation of Albite from Greek Stefania Feldspar Ore, International Journal of Mineral Processing, 2000.
- [6] HANUMANTHA R., FORSSBERG K., Mixed Collector Systems in Flotation, Mineral Process 51, USA, 1997.
- [7] IRWIN F, JUERGENS E. Removal of Fluorides from Industrial Wastewaters Using Activated Alumina, 1980
- [8] MALGHAN, S. G. Flotation Separation of Feldspar-Quartz, MRL Reports 76-8-P, Minerals Research Lab, State University College of Engineering, USA, 1976.