ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE SEDIMENTACIÓN DE PULPAS CRUDA DE LOS MINERALES LATERÍTICOS DE BAJA CALIDAD.

STUDY OF THE PROPERTIES OF RAW SEDIMENTATION OF PULPS OF THE MINERAL LATERÍTICOS OF LOW QUALITY

Osvel Abrahan Isla [(1)], José Castellanos Suárez[(1)], Esteban Luis Alfonso Olmo[(1)], María Elena Trujillo Nieves[(1)], María de Fátima Bugallo Davis[(1)], José A. Alonso[(2)], Antonio Sanabria de la Torre[(1)], Rodnie Cárdenas Meralla[(1)], Abdel Casanova[(1)]

En el presente trabajo se realiza una clasificación a los minerales lateríticos como de buena y mala calidad de sedimentación de acuerdo a los porcientos de sólidos alcanzados a las 72 horas; estableciéndose que los minerales de baja calidad presentan porcientos de sólidos máximos de 34-36%, mientras que los minerales de buena calidad reportan un 39-46% de sólidos. Se realizan pruebas de sedimentación empleando como aditivos sales de hierro, aluminio y sodio. Con el objetivo de buscar una explicación al comportamiento en la sedimentación al mineral de baja calidad, se realizaron estudios de Rx y análisis de la distribución del tamaño de partículas. Los análisis mineralógicos muestran que las diferencias más notables están en la fracción gruesa del mineral, que posee un contenido 4.5 veces mayor de Litioforita Asbolana y 2 veces mayor de Espinelas en los minerales de mala calidad de sedimentación, ambas fases son de minerales de baja densidad. Existe un predominio de serpentina en los minerales de buena calidad de sedimentación. El promedio de tamaño de partícula de los minerales de mala calidad es 3 veces menor que los minerales de buena calidad.

Palabras clave: Sedimentación, mineral, tamaño de partícula.

In this work the minerals studied as good and poor quality of sedimentation are classified according to him% solids achieved at 72hrs. It was established that the present low-grade ores% solids maxima 34-36, while the reported good 39-46% mineral solids. Settling tests are conducted using as additive salts of iron, aluminum, sodium, etc. This is done in order to find an explanation to the sedimentation behavior in low-grade material, Rx studies and analysis of the particle size distribution were made. Mineralogical analyzes show that the main differences are in the coarse fraction of the ore, there is a 4.5 times higher content of Litioforita asbolana and 2 times higher Spinels in mineral shoddy sedimentation mineral phases are both low density. There is a predominance of serpentine mineral sediment quality. Particles of poor quality ores have an average particle size less than 3 times the good quality ores.

Keywords: Sedimentation, ore, particle size.

Recibido: 2 de marzo del 2015
Aprobado en su forma original: 1 de junio del 2015

(1) Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), Varona 12028 Km1 1/2 Boyeros, La Habana, Cuba, CP-10800 Correo electrónico: osbel@cipimm.minem.cu
(2) Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca No. 1002 entre Río Luyanó y Prolongación de la Calzada de Güines, Reparto Los Ángeles, municipio San Miguel del Padrón, CP 11000, provincia La Habana. Cuba.
Correo electrónico: jose@igp.minem.cu

INTRODUCCIÓN

Cuba posee grandes yacimientos de minerales de níquel, los cuales se procesan por dos tecnologías: el proceso carbonato amoniacal y lixiviación ácida a presión.

Los minerales a procesar por la tecnología ácida a presión son lateritas, procedentes de las cortezas de intemperismo, caracterizadas por un alto grado de alteración, donde el 85 % del material pasa por debajo de 0.045 mm (malla 325) concentrándose el níquel. La fase predominante de estos minerales es la Goethita, de ahí su característica limonítica. (García y otros 1970)

El proceso previo a la lixiviación ácida a presión consiste en preparar pulpas minerales con 20 – 25 % de sólidos y someterlas a beneficio, mediante clasificación a un punto de corte (0.84 mm), con vista a eliminar fracciones de bajo contenido de níquel y de alto contenido de Mg (concreciones de serpentinas). Posteriormente las pulpas clasificadas son enviadas a espesadores donde se deben densificar, por diseño, hasta 48 %, pasando al proceso de lixiviación a presión con ácido sulfúrico concentrado donde mediante bombas especiales se introducen en las autoclaves. Las pulpas lixiviadas se someten a un nuevo proceso de espesamiento cuyo objetivo es lograr la clarificación del licor rico en Ni y Co que posteriormente se someterá al proceso de precipitación.

Durante el precalentamiento directo mediante vapor de agua, disminuye su densidad por condensación de dicho vapor, bajando el % de sólidos a (40-42) %. Un incremento del % de sólido aumentará significativamente la productividad de las autoclaves a presión, lo que reportará una disminución de los costos de producción.

Diferentes investigaciones han sido desarrolladas para determinar las causas que afectan la sedimentación de las pulpas. En general se ha llegado a establecer que sobre los procesos de sedimentación de estas pulpas influyen varios factores, entre los que se encuentran: la composición granulométrica, composición iónica, pH y la composición mineralógica.

El Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM) ha venido trabajando durante varios años en el desarrollo de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de nuestros minerales niquelíferos. Estas tecnologías han tenido como base fundamental la modificación de las propiedades físico-químicas de las pulpas por diferentes vías. Desde el año 2006 se encuentra aplicada en la industria (Empresa Cdte Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A.) con resultados satisfactorios la Tecnología 1 (con el uso de aditivos Sulfato ferroso + ácido sulfúrico) del CIPIMM, donde se logró un incremento de la productividad con un % de sólidos más alto.

Teniendo en cuenta que se prevé procesar minerales de baja calidad (con una velocidad empírica menor de 130 mm/2 horas), se espera una caída en la productividad al disminuir la compactación de la pulpa y el % de sólidos, por lo que se requiere realizar estudios de estos minerales con el objetivo de mejorar sus propiedades reológicas y pronosticar el impacto que se tendrá en el proceso de sedimentación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se emplearon indistintamente mineral extraído directamente de la mina, pulpa de mineral de (22-25) % de sólidos y pulpa de fondo de un espesador de pulpa cruda.

La empresa Pedro Soto Alba envió 2 minerales (mineral 3 fraccionado en 5 muestras y el mineral 4) clasificados por ellos como de mala calidad de sedimentación según el valor de la velocidad de sedimentación empírica obtenida en la fábrica.

Para los estudios realizados se emplearon muestras de mineral denominadas: Mineral 0, Mineral 1, Mineral 2, Mineral 6, mineral del fondo del espesador Mineral 5, y Mineral 6. En la Tabla I se identifican los minerales de acuerdo a su calidad de sedimentación.

Tabla I: Identificación de los minerales estudiados.

No Mineral	Yacimiento	Identificación	Calidad de Sedimentación
Mineral 0	-	Pulpa de fondo del espesador	buena
Mineral 1	-	ROM	buena
Mineral 2	Moa Oriental (50%) y Camarioca Norte (50%),	ROM	buena
Mineral 3	Moa Oriental Área 35	ROM	mala
Mineral 4	Camarioca Sur	ROM	mala
Mineral 5	-	Pulpa de fondo del espesador	buena
Mineral 6	-	Mineral en pulpa 22-25% de S	buena

ROM: mineral extraído directamente de la mina.

Caracterización de las muestras

Química: Los análisis se ejecutaron según los procedimientos establecidos por el Departamento de Caracterización de Materiales del CIPIMM sobre la base de las normas de empresas cubanas e internacionales. Las concentraciones de los elementos se determinaron mediante el uso de la técnica analítica avanzada Espectrometría de Absorción Atómica. En la Tabla II se presenta la composición química de algunos de los minerales empleados en el estudio.

Tabla II. Composición química de los minerales.

Mineral	Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	Mg (%)	SiO_2 (%)
Mineral 1	1.38	0.11	45.44	0.46	3.48
Mineral 2	0,54	0,053	43,99	0,49	3,26
Mineral 3	0.87	0.177	44.30	0.20	3.0

Mineralógica: Análisis mineralógicos por medio de un equipo de difracción de rayos X para polvos marca Philips modelo PW 1710. Para ello la pulpa espesada se clasificó por un tamiz de 0,1mm y las fracciones obtenidas por encima y por debajo de este corte se pusieron a secar en la estufa a 110 ºC, una vez las muestras secas se pulverizaron y se enviaron para su análisis.

Granulométrica: La distribución del tamaño de partícula de la pulpa cruda se determinó por difracción laser HORIBA LA250 V2. El método de análisis empleado fue el de vía húmeda.

Agua: Para la preparación de las pulpas se emplearon diferentes tipos de agua enviadas por la planta, ellas son: agua de proceso, y agua del tanque 7 de CCD (última etapa de lavado).

Reactivos:

- $FeSO_4$ * $7H_2O$ grado técnico, (obtenido por donación de la Empresa)
- H_2SO_4 comercial densidad 1,84 y pureza 98 %
- $AL_2(SO_4)_3$* $18H_2O$ grado técnico
- Na_2SO_4 grado técnico
- Solución de Fe^{2+} y Fe^{3+} Preparado a partir de una solución que contenía 7 g/L de Fe^{2+} y 18,7 g/L de Fe^{3+}.
- $NaNO_3$: Reactivo puro para análisis
- NaOH: Reactivo puro para análisis

- HNO_3: Reactivo puro para análisis

Aditivos: Los aditivos empleados en los diferentes grupos de pruebas de sedimentación fueron:

- Sales de Fe, Al y Na.

Equipos y utensilios:

- Probetas graduadas de 1 L
- Vaso de precipitado graduado de 200 mL
- Agitador vertical manual.
- Tamiz de 0.8 mm
- Varillas de agitación de cristal
- Balanza digital (DENVER INSTRUMENT SI-4002 max.4000g d 0,01g)
- Balanza Analítica de Precisión Sartorius
- Agitador de hélice IKA RW 20 digital
- Balanza de determinación de humedad o de sólido por secado (DENVER INSTRUMENT IR 35)
- Bomba de vacío EDWARDS Modelo RV8
- Agitador magnético Yelow MAG H57
- pH metro digital P107 CONSORT.
- Estufa MEMMERT. UNE 200 temperatura máxima 260 ºC.
- Cubetas plásticas de 20 L
- Equipo de difracción de rayos X para polvos marca Philips modelo PW 1710.
- Equipo de determinación del tamaño de partículas difracción laser HORIBA Partica LA250 V2.

Determinación de la velocidad empírica de sedimentación

Para la determinación de la velocidad de sedimentación empírica de un mineral se siguió el procedimiento establecido en el Manual de Normas del Área de espesadores de la empresa Cdte. Pedro Soto Alba. Este procedimiento consiste en preparar una pulpa con agua de proceso al 12,5 % de sólido a partir de la pulpa de mineral alimentado a la planta. Una vez preparada la pulpa se vierte en probetas de 1 L y se agita 10 veces hacia arriba y hacia abajo con un agitador manual, posteriormente se deja en reposo la muestra durante 2 horas, al cabo de 1 hora se lee la distancia en milímetros de la altura de la capa clara. La misma operación de lectura se repite a las 2 horas.

Este es un método predictivo que tiene establecido la Planta para determinar si se alcanzarán los niveles requeridos de la concentración de sólidos de la pulpa espesada. Si el valor de la velocidad obtenida es menor de 130 mm/2 horas se considera que el mineral es de mala calidad de sedimentación.

Método de preparación de pulpa al % de sólidos deseado

A partir del mineral húmedo (ROM) recibido de la mina se tomó una muestra lo más homogénea posible y se le determinó la humedad. Con este dato y teniendo en cuenta el% de rechazo (≈15 %) se calculó la cantidad de mineral que se debía pesar para preparar 1 L de pulpa al % de sólidos deseado, luego se le añadió 750 mL de agua de proceso, se puso a agitar con un agitador mecánico a una velocidad de 335rpm para lograr la desagregación del mineral. Posteriormente se pasó la pulpa por un tamiz de 0,8 mm para eliminar la fracción rica en serpentina. A la pulpa beneficiada con este punto de corte se le determinó la densidad para corregir el % de sólidos, añadiendo o eliminando agua, según sea el caso.

Pruebas de sedimentación con aditivos

Para la ejecución de estas pruebas, después de preparada la pulpa por el procedimiento descrito con anterioridad y distribuida en las probetas se dejó sedimentar un tiempo tal que permitiera extraer una cantidad de licor clarificado igual a la cantidad que se debía añadir del aditivo a probar. Posteriormente se agitaba 10 veces de arriba hacia abajo con el empleo de un agitador manual, y se dejaba reposar hasta 72 horas. A las 24 y 72 horas se medió el pH en el equipo y se determinó el % de sólido por cálculo, teniendo en cuenta el

volumen de pulpa espesada alcanzada a las horas fijadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Velocidad empírica de sedimentación

Al recibirse las muestras del mineral 3 y del mineral 4 enviadas por la empresa Cdte. Pedro Soto Alba clasificados por ellos como de mala calidad de sedimentación según el valor de la velocidad empírica obtenida en la fábrica, se procede a la comprobación de la calidad de estos minerales usando el mismo procedimiento de la Planta.

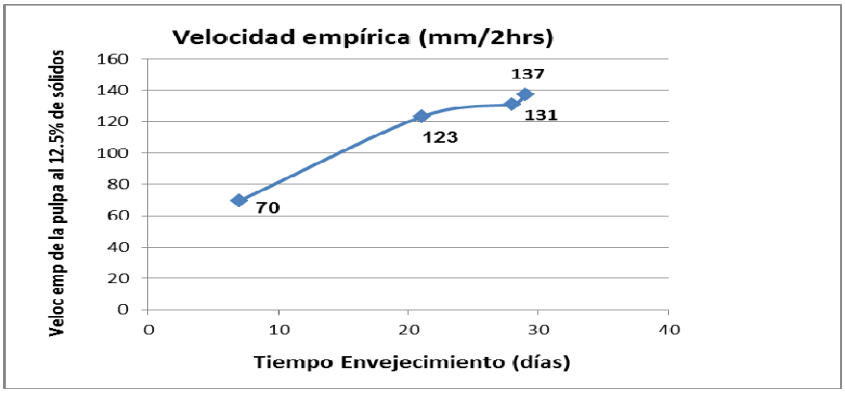


Figura 1: Influencia del tiempo en la velocidad empírica de sedimentación

Pruebas de sedimentación con el Aditivo de la Tecnología 1 del CIPIMM

Desde el año 2006 se encuentra implantada en la Fábrica la utilización de este aditivo compuesto por sulfato ferroso y ácido sulfúrico que logró incrementar el % de sólido y el nivel de compactación en los minerales que se han procesado desde entonces a la fecha lo que ha conllevado al incremento de la productividad.

Por tal motivo uno de los objetivos de este trabajo fue utilizar este aditivo en los minerales de mala calidad que se prevé procesar para comprobar su efecto en la sedimentación de las pulpas.

En la Tabla III. Se observan los resultados con el uso del Aditivo de la Tecnología 1 en los minerales de mala y buena calidad de sedimentación tomado como referencia.

Tabla III: Pruebas de sedimentación utilizando el aditivo de la Tecnología 1 CIPIMM

No de prueba	Minerales	Aditivo (kg/t)	% de Sólido		pH
			24hrs	72hrs	
	Minerales de buena calidad				
P-1	Mineral 0	1.5 de H_2SO_4+5 de $FeSO_4.7H_2O$	39.34	-	-
P-2	Mineral 1	1 de H_2SO_4+ 2.5 de $FeSO_4.7H_2O$	39.67	42.23	6.42
	Mineral 1	1.5 de H_2SO_4+ 3 de $FeSO_4.7H_2O$	46.75	46.91	5.2
P-3	Mineral 2	1 de H_2SO_4+ 2.5 de $FeSO_4.7H_2O$	38.58	39.15	6.31
P-4	Mineral 6 (pulpa de 22-25% de S)	1.5 de H_2SO_4 + 3 de $FeSO_4$	38.27	39.41	-

	Minerales de mala calidad				
Blanco	Mineral 3 (Compuesta)	-	29,10	31,76	
P-5	Mineral 3 (Compuesta)	1.5 de H_2SO_4+2.5 de $FeSO_4$	35.27	36.24	5.6
Blanco	Mineral 4	-	34.20	34.74	
P-6	Mineral 4	1,5 de H_2SO_4+3 de $FeSO_4.7H_2O$	35.14	35.38	-
P-7		1.5 de H_2SO_4 + 20 de $FeSO_4.7H_2O$	34.71	39.28	3,78

Pruebas con otros aditivos

Con el uso del aditivo de la Tecnología 1 del CIPIMM no se obtienen resultados satisfactorios con los minerales lateríticos de baja calidad de sedimentación. En las pruebas que se muestran a continuación se estudian diferentes aditivos para comprobar si mejoran las propiedades reológicas del mineral .

Tabla IV. Pruebas de sedimentación con otros aditivos

No Prueba	Mineral	Aditivo (kg/t)	% de Sólido	
			24hrs	72hrs
P-8	Mineral 4	Sales de Fe, Al y Na	34.91	35.38
P-9			34.91	35.38
P-10			34.91	35.14
P-11	Compuesta del mineral 3		34.30	35.69

Análisis de distribución del tamaño de partículas.

En la tabla que se muestra a continuación se tiene un resumen de los resultados del análisis de distribución de tamaño de partículas realizados a minerales de mala y buena calidad de sedimentación.
.

Tabla V. Resumen análisis de distribución de tamaño de partículas

No de muestra.	Mineral	Calidad del mineral	Rango de partículas (µm)	Tamaño Promedio de Partículas (µm)	Distribución hasta el 90 % de la muestra (µm)
1	Mineral 3 M1	mala	0.5 – 13.24	3.75	6.62
2	Mineral 3 M2	mala	0.33 – 22.79	5.34	10.32
3	Mineral 3 M3	mala	0.445 – 22.79	5.42	9.89
4	Mineral 3 M4	mala	0.389 – 26.11	6.67	12.35
5	Mineral 3 M5	mala	0.389 – 57.41	8.95	17.57
5	Mineral 1	buena	0.339 - 60.0	12.11	30.70
6	Mineral 5	buena	0.445 – 60.0	12.05	30.99
7	Mineral 6	buena	0.445 – 200.0	26.28	77.98

Caracterización mineralógica

Los minerales de mala y buena calidad de sedimentación fueron caracterizados por difracción de RX para identificar y cuantificar las fases minerales presentes con el objetivo de hallar alguna diferencia que permitiese explicar el comportamiento en la sedimentación.

En la Tabla VI se expresan los resultados obtenidos de la caracterización mineralógica por fracciones y del mineral total respectivamente.

Tabla VI. Resultados del análisis semicuantitativo de minerales por DRX (variante RIR).

Mineral	Calidad del mineral	Fracción (mm)	%							Dens.Total g/cm^3
			Goet	Hem	Mag	Gibb	Serp	Litiof	Espin	
densidad			**4,26**	**5,31**	**5,0**	**2,43**	**2,6**	**3,36**	**3,42**	
Mineral-3 M1	malo	>0.1	**20,2**	**4,0**	**14,2**	**17,2**	**0**	**15,2**	**29,2**	***3,71***
Mineral-3 M2	malo		**15**	**3,0**	**9**	**35**	**0**	**21**	**17**	***3,39***
Mineral-3 M3	malo		**12**	**0**	**12**	**17**	**9**	**17**	**33**	***3,46***
Mineral-3 M4	malo		**15**	**0**	**18**	**24**	**0**	**20**	**23**	***3,58***
Mineral-3 M5	malo		**11**	**0**	**7**	**20**	**0**	**18**	**44**	***3,41***
Mineral-1	bueno		**24**	**0**	**13**	**23**	**22**	**5**	**13**	***3,42***
Mineral-5	bueno		**21**	**0**	**9**	**35**	**17**	**3**	**15**	***3,25***
Mineral-3 M1	malo	< 0.1	**64**	**11**	**20**	**5**	**0**	**0**	**0**	***4,43***
Mineral-3 M2	malo		**54,5**	**5,2**	**27,2**	**7,1**	**2**	**4**	**0**	***4,31***
Mineral-3 M3	malo		**57**	**7**	**21**	**7**	**3**	**5**	**0**	***4,26***
Mineral-3 M4	malo		**54**	**0**	**34**	**12**	**0**	**0**	**0**	***4,29***
Mineral-3 M5	malo		**77**	**0**	**15**	**5**	**3**	**0**	**0**	***4,22***
Mineral-1	bueno		**67**	**0**	**16**	**9**	**5**	**3**	**0**	***4,10***
Mineral-5	bueno	< 0.1	**62**	**7**	**15**	**10**	**6**	**0**	**0**	***4,16***

En la figura 1 se exponen los resultados de las velocidades de sedimentación empíricas obtenidas a diferentes tiempos de extraída la muestra de los minerales identificados por la Empresa como de mala calidad, podemos observar que los valores obtenidos en el CIPIMM a los 21, 28 y 29 días difieren mucho de los obtenidos por Moa al momento de extraída la muestra. Por el valor de la velocidad de sedimentación empírica obtenida en el CIPIMM, los minerales pudieran clasificarse como de buena calidad de sedimentación sin embargo el % de sólidos obtenido a las 24 y 72 horas se corresponde con pulpas de mala calidad (no mayor de 35-36 % de sólidos).

Este resultado nos indica que el valor de la velocidad de sedimentación empírica tomada como valor predictivo para la clasificación de la calidad de los minerales sólo es válido si se realiza el análisis en un tiempo inmediato a la extracción de la muestra.

Como se muestra en la Tabla 3, los minerales de mala calidad incrementan el % de sólidos

con respecto al blanco pero nunca llegan a alcanzar los valores de % de sólidos que se alcanza con los minerales de buena calidad tomados como referencia. Solamente en la prueba 7 se alcanza un % de sólido de 39,28, con un exceso de $FeSO_4.7H_2O$de 6,6 veces la cantidad utilizada en la planta, pero tiene como inconveniente, además del gasto de reactivo, que el pH alcanza un valor de 3,78, lo que puede provocar problemas de corrosión en la instalación.

Los resultados alcanzados con los distintos aditivos probados tampoco mostraron resultados halagüeños como se puede observar en la Tabla 4. Los % de sólidos alcanzados a las 72 horas no llegan a 36 %.

Como se muestra en la tabla 5 las partículas de los minerales de baja calidad se encuentran en un rango de tamaño menor que las partículas de los minerales de buena calidad de sedimentación.

El 90 % de la muestra está por debajo de los 11.35 µm en los minerales de mala calidad de sedimentación; mientras que los minerales de buena calidad de sedimentación tiene un valor aproximado de 46.55 µm. Además el promedio del tamaño de partícula de los minerales de mala calidad tiene un valor de 6.02 µm, los minerales de buena calidad de sedimentación tienen como promedio 16.81 µm.

Estos resultados sugieren que el tamaño de partículas es uno de los aspectos que pueden estar incidiendo en el comportamiento de la mala sedimentación de estos minerales, ya que los minerales de buena calidad de sedimentación presentan un mayor tamaño de partículas que los minerales de mala calidad de sedimentación.

El análisis mineralógico mostrado en la Tabla 6, a los dos tipos de muestras caracterizadas (buena y mala calidad de sedimentación), tuvo como resultado que las diferencias principales se aprecian en la fracción más gruesa (>0.1mm), esta fracción es la que más influencia tiene en el proceso de sedimentación, debido a que en ella predominan los minerales de baja densidad (gibbsita, arcillas, litioforita y espinelas), provocando una disminución de la densidad del mineral y esto afecta al proceso de sedimentación, según el criterio de diferentes autores las muestras de buena sedimentación se caracterizan por presentar fases mineralógicas que aportan a los minerales lateríticos alta densidad y favorecen el proceso de sedimentación.

Los resultados muestran un predominio significante de serpentina en los minerales de buena calidad de sedimentación y menores valores de litioforita asbolana, espinelas con respecto a los minerales de mala calidad de sedimentación.

Según los resultados obtenidos en el trabajo se tiene un efecto contario de la influencia de la densidad del mineral y el proceso de sedimentación ya que el predominio de serpentina provoca la disminución de la densidad de los minerales que presentan buena calidad de sedimentación.

Se puede expresar que la presencia de serpentina en los minerales lateríticos no influye en el proceso de sedimentación, ya que los minerales que presentan un incremento considerable de este mineral tienen buena calidad de sedimentación.

CONCLUSIONES

1.- Los minerales de mala calidad de sedimentación no responden de la misma forma que los minerales de buena calidad al aditivo de la Tecnología 1 CIPIMM, pues el máximo valor alcanzado a las 72 horas es de 36.2 % de sólido en la pulpa espesada.

2.- Con ninguno de los otros aditivos probados, ni con el uso de alta dosis de los mismos, se logró obtener valores de % de sólidos similares a los alcanzados con los minerales de buena calidad. El mejor valor obtenido fue de 35.7 % de sólidos.

3.- Las partículas de los minerales de mala calidad tienen un promedio de tamaño de partícula 3 veces menor que los minerales de buena calidad y esto puede ser una influencia considerable en el proceso de sedimentación.

4.- Los resultados del análisis de fase muestran un predominio significante de serpentina en los minerales de buena calidad de sedimentación y menores valores de litioforita asbolana y espinelas con respecto a los minerales de mala calidad de sedimentación. Esto indica que la presencia de serpentina no afecta al proceso de sedimentación, ya que se tienen altos porcientos de sólidos.

RECOMENDACIOES

Se deben continuar los estudios con la evaluación de la morfología de los minerales antes y después del proceso de sedimentación-compactación a través de estudios por MEB-EDAX, determinar imperfecciones cristalinas (tamaño de cristal, desórdenes estructurales) y cristalinidad de los principales minerales limoníticos por DRX antes y después del proceso, evaluar la composición mineralógica de las pulpas por Análisis Térmico, con la finalidad de determinar grado de hidratación de los minerales limoníticos, cristalinidad y contenido de cada fase en las muestras.

BIBLIOGRAFÍA

Alfonso Olmo, E. 2007. Pruebas de sedimentación de pulpas acuosas de mineral de Camarioca Norte

Beyris M. P.E. y J. Falcón H. 2000.Consideraciones del efecto de la composición granulométrica en el proceso de sedimentación.

García, L. 1970.Curso de Mineralogía

Pérez García, Liudmila y otros.2011. Análisis del efecto de las principales variables que determinan el comportamiento reológico de suspensiones limoníticas TECNOLOGÍA QUÍMICA Vol. XXXI, No. 3, septiembre-diciembre del 2011.