



Boletín de Ciencias de la Tierra

ISSN: 0120-3630

rbct@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia  
Colombia

Bustamante-Rúa, Moisés Oswaldo; Daza-Aragón, Alan José; Bustamante-Baena, Pablo;

Barros-Daza, Manuel Julián

Simulación de plantas de procesamiento de minerales a través de MODSIM®

Boletín de Ciencias de la Tierra, núm. 39, enero, 2016, pp. 33-37

Universidad Nacional de Colombia

Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169543502004>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en [redalyc.org](http://redalyc.org)

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Simulation of processing minerals plants in Colombia through MODSIM®

Moisés Oswaldo Bustamante-Rúa<sup>a</sup>, Alan José Daza-Aragón<sup>b</sup>, Pablo Bustamante-Baena<sup>c</sup>  
& Manuel Julián Barros-Daza<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. [mobustam@unal.edu.co](mailto:mobustam@unal.edu.co)

<sup>b</sup>Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. [ajdazaa@unal.edu.co](mailto:ajdazaa@unal.edu.co)

<sup>c</sup>Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. [pabustamanteba@unal.edu.co](mailto:pabustamanteba@unal.edu.co)

<sup>d</sup>Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. [mjbarrosd@unal.edu.co](mailto:mjbarrosd@unal.edu.co)

Received: May 5<sup>th</sup>, 2015. Received in revised form: November 30<sup>th</sup>, 2015. Accepted: December 9<sup>th</sup>, 2015.

## Abstract

The aim of this study was the analysis of two particular scenarios of the mining industry such as kaolin and coal, to determine the usefulness of MODSIM® software in the simulation of mining-metallurgical processing plants. To do this, started from some review of the literature and information obtained as a result of the trips were made to mines that were studied. Among the results, it was clear that the use of this software provides great advantages in learning efficiency in plants mineral processing, as was observed in the batteries of hydrocyclones for separation of kaolin where some problems arise in this operation; while in the specific coal washing process, a good separation is achieved. This is of vital importance in mineral processing plants, since it shows the efficiency of the equipment and, in turn, facilitates the adoption of corrective measures to improve the process, and therefore the final recovery.

**Keywords:** software; simulation; plants; minerals processing; MODSIM®; coal; aggregates; kaolin.

# Simulación de plantas de procesamiento de minerales a través de MODSIM®

## Resumen

Se presentan los resultados del estudio y análisis de dos escenarios particulares en la industria minera como lo son el caolín y el carbón, para determinar la utilidad del software MODSIM® en la simulación de plantas de procesamiento minero-metalúrgicas. Para esto, se partió de datos obtenidos de información tanto bibliográfica como de la obtenida directamente en mediciones que se realizaron a estas minas. Se pudo analizar que el uso de este software aporta grandes ventajas a la hora de conocer la eficiencia en las plantas de beneficio de minerales. En las baterías de hidrociclos para la separación de caolín, se evidencian algunos problemas en la operación; mientras que en el proceso de lavado de carbón, se logra una buena separación. Esto es de vital importancia en las plantas, puesto que permite conocer la eficiencia de los equipos y además, facilita la toma de medidas correctivas para mejorar el proceso.

**Palabras clave:** software, simulación, plantas, minerales, beneficio, MODSIM®, carbón, agregados, caolín.

## 1. Introducción

Uno de los principales problemas a los cuales están expuestas las plantas de beneficio de minerales en su operación, está ligado a la falta de eficiencia de cada uno de los equipos y de la planta global en el proceso de recuperación de minerales. Este problema se debe en gran parte a la toma de decisiones incorrectas al momento de diseñar la planta, como puede ocurrir si se hace una mala

distribución y sobre dimensionamiento de los equipos, si se tiene una sobrecarga o carga inferior a la debida en medios moledores, altos tiempos de residencia que influyen directamente en el consumo de energía y en general, un conjunto de variables de operación que no son totalmente controladas y por tanto, tienden a generar una gran afectación en la recuperación del mineral de interés [1,2].

El uso de herramientas como el software MODSIM® adquiere un alto grado de importancia en esta problemática,

puesto que pueden ayudar a mejorar la eficiencia en la recuperación de una planta en específica, de acuerdo a sus exigencias y a los equipos que esta puede manejar. MODSIM® es un software especializado en la simulación minero metalúrgica de plantas de beneficio de minerales, el cual otorga grandes ventajas al proceso, puesto que permite predecir con simples simulaciones los resultados que se van obtener y por otro lado, permite tener control en caso de tener variables erróneas en alguna operación en específica, para que estas se puedan corregir a tiempo y no genere una mayor afectación en la recuperación [1,2].

## 2. Metodología

Para conocer la utilidad del software MODSIM®, se procedió inicialmente con la revisión bibliográfica para saber si anteriormente ya se habían realizado estudios de plantas específicas en Colombia implementando este software. Se estudiaron dos tipos de plantas de beneficio, una típicamente de recuperación de arcillas caoliníticas (Saavedra Gómez & Bustamante Rúa, 2008) y otra planta típica de lavado de carbones térmicos (Cerrejón, 2015).

Este proceso parte en el momento en que la materia prima es depositada por medio de un cargador a una tolva. En la parte inferior de esta se encuentra una banda trasportadora que guía el material a un tromel, que saca la grava mayor a 4 cm y homogeniza el material. El resto del material llega a una cuba que envía el material al primer hidrociclón de fondo plano (1006). El sobre flujo se dirige a la primera batería de hidrociclos (2002), mientras que el material que se va por el bajo flujo se dirige al proceso de arenas silíceas, en el cual se encuentran dos hidroclasificadores. El primero es alimentado con el bajo flujo del Hidrociclón (1006), el rebose del hidroclasificador va para una cuba la cual alimenta el segundo Hidrociclón (1012), el bajo flujo del hidroclasificador va a un segundo hidroclasificador, el rebose de este segundo se dirige a una cuba la cual envía el material a un tercer Hidrociclón, pero este es de fondo cónico (1016B), el bajo flujo de este se dirige a una zaranda la cual nos entrega como producto la arena gruesa [3].

Los tres sobre flujos de los hidrociclos 1006, 1012 y 1016B, se dirigen a la primera batería de hidrociclos (2002), a partir de esta etapa comienza el proceso del caolín. El material llega a la primera batería (2002) conformada por 12 hidrociclos el sobre flujo de la batería (2002), se dirige a otras dos baterías de hidrociclos (2004A y B). El bajo flujo del 2004A y B va a una cuba la cual alimenta la batería (2006), y el sobre flujo de la batería 2004A y B es material final. El sobre flujo de la batería (2006) se dirige a una cuba la cual alimenta la última batería de hidrociclos (2010), el bajo flujo de la 2006 son colas, mientras que el sobre flujo de la batería 2010 es material final y el bajo flujo va a la cuba que envía el material a la batería 2006 [3].

La modelación se efectuó sobre el sistema de baterías de hidrociclos que son: la 2002, 2004A, 2004B, y 2006, en estas baterías se efectúa el proceso de caolín. Para esto fue

necesario, realizar el diagrama de flujo del proceso de la planta en MODSIM®.

Otra planta que fue objeto de estudio, fue la de lavado de carbón de la mina Cerrejón que está ubicada entre los municipios de Maicao al norte y Barrancas al sur. El yacimiento está dividido en tres zonas definidas así: Zona Norte, Zona Centro las cuales se encuentran en explotación y Zona Sur que se encuentra en exploración. La mina cubre aproximadamente un área de 78.000 hectáreas [4].

Dentro de las actividades que se desarrollan en esta mina para la extracción del carbón se tiene: un descapote, en el cual se retira cuidadosamente la capa vegetal y se remueve la capa de suelo, la cual se almacena en pilas para la rehabilitación futura de áreas intervenidas en la explotación. Posteriormente se realizan perforaciones y voladuras, en las cuales todo el material estéril excavado es volado utilizando explosivos a base de nitrato de amonio. Para esto, implementan el sistema de voladura bajo manto que busca minimizar la necesidad de perforar y cargar en taludes inclinado. Seguidamente, se procede al cague y acarreo del material estéril, lo cual en su mayoría es realizado por 1 pala, (eléctrica, hidráulica o electrohidráulica), ayudado algunas veces por cargadores frontales. Se utilizan también para la operación 1 o 2 tractores de orugas, y una flota de camiones de 240 y/o 320 toneladas. Por otro lado, se desarrolla el cague y acarreo de carbón, utilizando cargadores frontales que lo depositan a los camiones carboneros CAT 789C (190 toneladas). Este carbón es llevado a la planta de trituración, donde se reduce de tamaño por medio de trituradoras de rodillos, con tamaños de salida de 2 pulgadas hasta 6 pulgadas. Hay dos plantas con capacidad de 3000 ton/h y 1500 ton/h respectivamente. Por último, se realiza el proceso de lavado de carbón para quitarle la ceniza presente en la superficie del material. En la visita no se pudo dar información de este proceso ya que los ingenieros encargados de esta parte no se encontraban en la mina en ese momento. Por tal razón, la simulación se hizo en base a la información suministrada de la mina [3].

La modelación en MODSIM®, se realizará específicamente sobre el lavado de carbón, puesto que es el proceso final, y es donde se busca constatar si se desarrolla una correcta separación de las corrientes, entre el material contaminante y el carbón, ambos con diferente granulometría.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Planta de caolín

Para las corrientes 1, 2 y 3, las cuales corresponden a la alimentación, al bajo flujo y al sobre flujo respectivamente del primer hidrociclón (2002), se tiene el resultado de la modelación que se muestra en la Fig.1.

Para los flujos 5, 6 y 7, que corresponden a la batería de hidrociclos (2004 A y B), y en las cuales se obtiene el primer producto final, se tienen los resultados de la Fig. 2.

Y para la corrientes 13, 14 y 15, que corresponden al hidrociclón (2010), se tienen los resultados de la Fig.3.

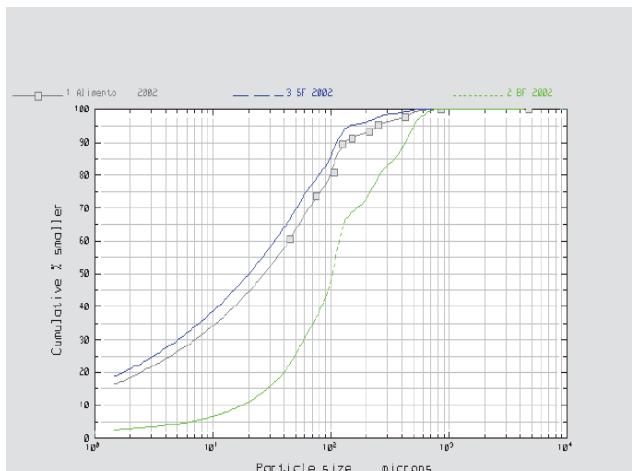


Figura 1. Resultado de la simulación, Tamaño de partículas Vs pasante acumulado.

Fuente: [3]

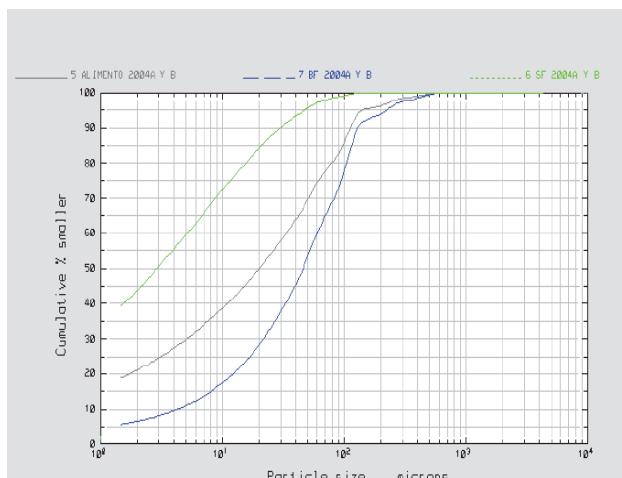


Figura 2. Resultado de la simulación, Tamaño de partículas Vs pasante acumulado.

Fuente: [3]

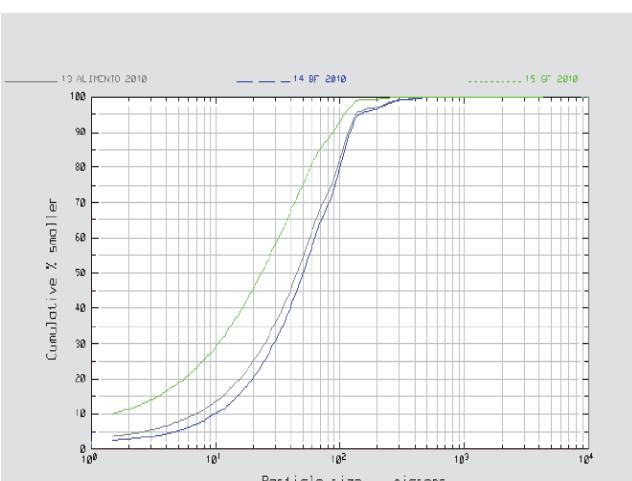


Figura 3. Resultado de la simulación, Tamaño de partículas Vs pasante acumulado.

Fuente: [3]

Para los flujos 5, 6 y 7, que corresponden a la batería de hidrociclos (2004 A y B), y en las cuales se obtiene el primer producto final, se tienen los siguientes resultados: En los resultados de la corriente número 6 como se puede ver en la figura 2, perteneciente al sobre flujo de la batería 2004A y B, para un tamaño de partícula de .465E-04 metros(o equivalentemente de malla 325 o 46 micras) se obtiene un retenido del 5.15% (o equivalentemente a una pasante igual a 94.85%); mientras que en la planta real se tiene un retenido sobre esta malla está en el intervalo de 2.00% a 3.00% [3].

Como se puede apreciar, los resultados obtenidos por el MODSIM® están muy ajustados, aunque la diferencia es alrededor del 2%. Para esta misma corriente se obtiene en la simulación un caudal de sólidos aproximado de 5 Ton/hr; mientras que en la realmente en la planta se tiene un caudal de sólidos de 3.5 ton/hr, obteniéndose una diferencia de 1.5 ton/hr entre ambos resultados [3].

En los resultados mostrados de la corriente número 15, la cual representa el sobre flujo de la batería 2010, que es material final, el retenido sobre malla 325 es de 23 %, en la Torre Eral este retenido varía entre un (6.00-7.00) %, lo que muestra un desfase aproximado de 17%. Esto se debe a la diferencia que se encuentra en las primeras corrientes. El caudal de sólidos dado por el MODSIM® en esta corriente es de 4.40 ton/hr, mientras que en la planta se logra un valor de 3 Ton/hr. Por tanto el desfase es aproximadamente de 1.30 ton/hr [3].

Esto muestra una gran inconsistencia con los datos reales, lo cual se puede deber a varios factores, como malas mediciones reales, la idealización del proceso por parte del MODSIM® eal no tener introducirle todas las variables de operación, entre otros [3].

En este sentido, es importante analizar tanto en la planta física como en el software, los causantes de las diferencias entre ambos resultados, para así tener la certeza realmente de las condiciones con que se está operando. Esta es una gran ventaja que aporta MODSIM®, ya que permite comparar resultados y a su vez, determinar si se están correctas mediciones en la planta.

### 3.2. Planta de lavado de carbón

Al desarrollar esta modelación del proceso de lavado de carbón en el software MODSIM®, se obtuvo el resultado que se muestra en la Figura 4.

Por lo anterior, de acuerdo a la información que se ingresó al software para la modelación, se tiene que el lavado de carbón se puede dar como una distribución de tamaños de partículas, haciendo énfasis que las partículas pequeñas tienden a depimirse y el carbón flota por su naturalidad como hidrófobo. Con este método de lavado se puede disminuir el porcentaje de cenizas del 7-8% al 2-3% y se aumentaría el poder calorífico promedio del carbón que son de 1500-1800, lo cual lo haría más apetitoso comercialmente. Este análisis se obtuvo gracias a las ventajas que aporta la simulación con MODSIM®, teniendo en cuenta aspectos como las variables de entrada y la elección del modelo indicado. Cabe resaltar,

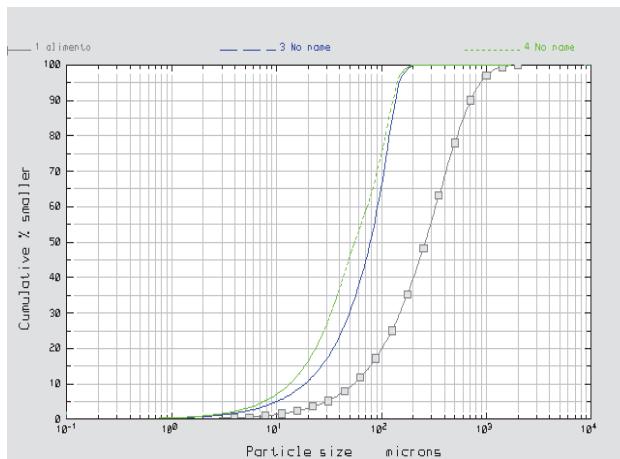


Figura 4. Resultado de la simulación, Tamaño de partículas Vs pasante acumulado.

Fuente: Los Autores

que actualmente este software no se usa en la empresa para de medir la calidad de carbón, pero se espera que la herramienta pueda ser aprovechada en un futuro.

#### 4. Conclusiones

En la figura. 1 que representa la DTP de la batería de hidrociclos que recibe el material inicial para el caso de la simulación de la planta de procesamiento de caolín, se puede observar los granulométricos de los resultados obtenidos por el software MODSIM®, porcentaje acumulado vs. Tamaño de partícula. Esta gráfica es muy importante, ya que muestra las tres corrientes de las baterías, las cuales a su vez expresan la buena o mala separación de las baterías. Por tal razón, entre más separadas estén las curvas, será mucho mejor la clasificación de la batería. En este caso, como se puede evidenciar claramente que las corrientes de alimentación, sobre flujo y bajo flujo están separadas, lo que nos indica una buena separación en la batería.

En la figura. 2, la cual representa la batería que entrega el primer material final, no sucede lo mismo, puesto que si se observan las tres corrientes, se logra analizar que las curvas de alimentación y sobre flujo están muy pegadas. Esto quiere decir que la separación no se realiza correctamente y por tanto no es buena.

En la figura. 3, la cual hace referencia a la batería que entrega el segundo material final, se puede ver que las curvas de sobre flujo y bajo flujo están poco separadas. Esto ocurre debido a que la batería inmediatamente anterior, había entregado un material fino.

Los resultados del hidrociclón (2006) a pesar de que fueron arrojados por el software con la simulación, no se presentaron en este trabajo, puesto que sólo se buscó mostrar aquellos resultados representativos que demostrarían la utilidad de MODSIM®. Por esta razón solo se consideró solamente el primer hidrociclón (2002), la baterías 2004 A y B, y el último hidrociclón.

Con el uso de MODSIM®, se pudo hacer una comparación entre los resultados obtenidos realmente en la

planta de caolín y los que se obtuvieron producto de la simulación con el software, siendo estos últimos un poco diferentes a los reales. Esto se debe principalmente a que la información suministrada por la empresa fue algo limitada, y a su vez a la idealización que realiza el software en algunos casos si no se le ingresa completamente todos los datos que requiere.

Para el caso de lavado de carbón, se puede evidenciar en la figura. 4 que también se logra una separación entre las partículas pequeñas y las partículas de carbón. Esto era de suponerse, puesto que el carbón por su carácter hidrófobo, tiende a flotar y separarse de las demás partículas.

Es muy importante hacer énfasis que en la medida en que se le suministre una información más completa al software, garantizando a su vez que esta sea correcta, se podrán obtener mejores resultados, los cuales pueden aproximarse mucho más a la realidad. Esto quiere decir que MODSIM® es muy útil, aunque puede ser mejorada.

#### Agradecimientos

Programa Nacional De Semilleros De Investigación, Creación E Innovación De La Universidad Nacional De Colombia 2013-2015, proyecto 25661de la Universidad Nacional de Colombia, e Instituto de Minerales CIMEX.

#### Referencias

- [1] King, R.P. Modeling and simulation of mineral processing systems, 2 Ed., Colorado, USA SME, 2012, pp. 1-5.
- [2] King, R.P. Modular simulator for mineral processing plants. 7<sup>th</sup> Ed., Salt Lake City, USA, Mineral Technologies International, 2003, pp. 1-2.
- [3] Saavedra-Gómez, O.I y Bustamante-Rúa M.O., Simulación de una planta de caolín a través de MODSIM®, Trabajo de grado, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2008, 43 P.
- [4] Cerrejón minería responsable, nuestra empresa - Calidad del producto, [Online] 2015. Disponible en: <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa/calidad-del-producto.aspx>

**M.O. Bustamante-Rúa**, es Ing. de Minas y Metalurgia de la Universidad Nacional de Colombia, MSc en Ciencias de la Ingeniería con Mención en Metalurgia Extractiva - Mención – Mineralurgia de la Universidad de Concepción –Chile, DSc, en Ciencias de la Ingeniería con Mención en Metalurgia Extractiva – Minería de la Universidad de Concepción – Chile. Profesor Titular de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Director e Investigador del Instituto de Minerales CIMEX – Facultad de Minas, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín ha dirigido e integrado proyectos de investigación en las áreas de concentración y beneficio de minerales, modelación y optimización matemática de procesos y operaciones mineras, reología de suspensiones y pastas, ha publicado artículos en revistas científicas y participado como expositor en congresos y simposios nacionales e internacionales. Además ha sido director de diversas tesis de Maestría y Doctorado.  
ORCID: 0000-0002-1692-991X

**A.J. Daza-Aragón**, es ingeniero de Minas y Metalurgia de la Universidad Nacional de Colombia, finalizó sus estudios en 2015. Estudiante Auxiliar del Instituto de Minerales CIMEX, donde participó en dos semilleros en asociación con el Programa Nacional de Semilleros de Investigación, Creación e Innovación de la Universidad Nacional de Colombia 2013-2015: Recuperación de oro ultrafino y modelación de plantas minero-metalúrgicas

a través del software MODSIM. Sus intereses actualmente se centran procesamiento de minerales.  
ORCID: 0000-0001-7596-9666

**M.J. Barros-Daza**, es Ingeniero de Minas y Metalurgia de la Universidad Nacional de Colombia, finalizó sus estudios en 2015. Ganador del Concurso Mejores Trabajos de Grado de Ingeniería de Minas y Metalurgia del Año 2015. Es estudiante auxiliar del Instituto de Minerales CIMEX, donde también participó en dos semilleros acerca Recuperación de oro ultrafino y modelación de plantas minero-metalúrgicas a través del software MODSIM. Sus intereses actualmente se centran en procesamiento de minerales, minería subterránea en ventilación minera y flotación de minerales.

ORCID: 0000-0002-3481-4331

**P. Bustamante-Baena**, es Ingeniero de Minas y Metalurgia de la Universidad Nacional de Colombia, finalizó sus estudios en 2014. Ganador del Concurso Mejores Trabajos de Grado del Año 2015, fue estudiante auxiliar del Instituto de Minerales CIMEX. Donde también participó en dos semilleros en asociación con COLCIENCIAS de: Recuperación de oro ultrafino y modelación de plantas minero-metalúrgicas a través del software MODSIM. Sus intereses actualmente se centran en procesamiento de minerales.

ORCID: 0000-0002-8409-5531