

SIMULACIÓN CON DEM Y FEM COMO HERRAMIENTA PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN OPERACIONES, CASO: TOLVA DE ALIMENTACIÓN DE ROCA CHARNOCKITA

Pedro Soler^{1*}, Yllevic Bastidas¹ y Katherine Silva¹

¹Departamento de Minas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

[*Pedrosoler26@yahoo.com](mailto:Pedrosoler26@yahoo.com)

RESUMEN

La simulación con modelo de elementos discreto permite simular el comportamiento de partículas según sus características intrínsecas, a su vez el método de elementos finitos permite conocer la respuesta de una estructura bajo la aplicación de una carga u esfuerzo externo. Por separado cada modelo posee ventajas y desventajas en su aplicación e interpretación, sin embargo, en conjunto se complementan adecuadamente. En el estudio se ha utilizado ambos modelos como una sola herramienta que permita estimar la fuerza compresiva generada por el contacto de la roca charnockita con las paredes internas de una tolva de alimentación de un sistema de trituración. Se simularon distintos escenarios; variando la altura de caída del material en la tolva y el flujo de roca que cae; los resultados finales se representaron gráficamente, permitiendo estudiar la tendencia de la fuerza compresiva. Los resultados mostraron que, al ir aumentando la altura de caída de las partículas, aumentaba los esfuerzos sobre la tolva, situación que se repetía al aumentar el flujo de material, reconociendo las zonas que están sometidas a mayor estado de esfuerzos, pudiendo visualizar las zonas de desgaste en condiciones de trabajo. De este modo se puede simular el comportamiento de la estructura respecto al contacto del flujo de material. Con ayuda de esta información se puede generar lineamientos para el mantenimiento predictivo y correctivo de los equipos de minería.

Palabras Clave: Modelo de elementos discretos, método de los elementos finitos, charnockita, tolva de alimentación.

ABSTRACT

The simulation with the discrete element model allows to simulate the behavior of the particles according to the intrinsic characteristics, as well as the method of the finite elements that allow to know the response of an external load or effort. For example, each model has advantages and disadvantages in its application and interpretation; however, together they complement each other appropriately. In the study both models have been used as a single tool that can estimate the compressive force generated by the contact of the rock with the walls of a feed hopper of a crushing system. Different scenarios were simulated, varying the height of the fall of the material in the hopper and the flow of the falling rock; The final results were represented graphically, along the compressive trend. The results have shown, the height of the particles has increased, the efforts on the hopper have been increased, the flow of material has been repeated, the zones that are at the height of the stress state have been recognized. of wear in working conditions. In this way, the behavior of the structure can be simulated with respect to the contact of the material flow. With the help of this information, guidelines can be generated for predictive and correct maintenance of mining equipment. *Keywords: Discrete element model (DEM), finite element method (FEM), simulation, charnockite, feed hopper.*

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento predictivo en las operaciones mineras son una serie de acciones y técnicas que se aplican con el objetivo de detectar posibles fallas o defectos de maquinarias y estructuras para disminuir el número de paradas operativas en campo. Existen distintas técnicas para la detección de fallas y defectos, desde la utilización de indicadores visuales hasta la utilización de datos de

control de proceso y de control de calidad, uso de herramientas estadísticas, la termografía, la tribología, el análisis de circuitos de motores o el ultrasonido. Esto con el fin de aumentar la confiabilidad mecánica del sistema, lo cual va en función del diseño del equipo; del proceso de fabricación; la operación y el mantenimiento que se realiza [1].

Particularmente en la industria minera se dificulta la planificación del mantenimiento debido a que las rocas y minerales poseen unas características internas particulares. Una estructura puede comportarse de manera diferente al interactuar con distintos tipos de rocas, creando un problema al estandarizar la vida de un equipo sin tomar en cuenta el tipo de roca.

La simulación basada en el método de elementos discretos puede desarrollar el conocimiento de los mecanismos actuantes dentro de una maquinaria para entender con profundidad la interacción entre dos materiales (granular y estructural). [2]

El objetivo es simular el comportamiento de dos variables en distintos escenarios, cambiando la altura de caída y el flujo del material, enfocándose en la respuesta del esfuerzo compresivo.

Por otra parte, distintos investigadores han formulado teorías sobre los modelos de contactos entre objetos aplicable al campo de la tribología, ciencia que estudia los efectos de la fricción, el desgaste y la lubricación a nivel micro mecánico para dar una explicación a los fenómenos físicos que se presentan cuando se tienen dos o más cuerpos juntos en movimiento relativo entre ellos [3]. La teoría de desgaste relativo Hertz-Mindlin [4] [5] fue la utilizada en esta investigación, esta permite identificar regiones de desgaste en una estructura sometida a los impactos de partículas. Aunque proporciona valores cuantitativos, no determina una tasa explícita de eliminación de material.

La investigación presenta una herramienta innovadora para el mantenimiento de maquinaria minera, al utilizar simulaciones para predecir el comportamiento de una estructura sometida a condiciones establecidas.

METODOLOGÍA

En el estudio se planteó el uso de dos modelos numéricos, modelo de elementos discretos (según sus siglas en inglés DEM) para representar la roca como un material granular y el método de los elementos finitos (según sus siglas en inglés FEM) para la elaboración del modelo geométrico estructural. De manera, que en conjunto funcionen como una herramienta para predecir la posibilidad fallo y desgaste de una tolva de alimentación que es alimentada con roca charnockita, considerada como una roca abrasiva [6].

Paquetes de software utilizados:

Métodos de elementos finitos: ANSYS Workbench 18.2

Modelo de elementos discretos: LIGGGHTS-Publico

Procedimiento experimental:

1. Se recopiló información sobre las características físicas de la tolva, como dimensiones y material constituyente y las características de la roca, tales como granulometría, densidad, ángulo de reposo, módulo de Young y coeficiente de Poisson.
2. Se elaboró el modelo geométrico de la tolva.
3. Se configuró la simulación con DEM, estableciendo el modelo de contacto a utilizar, las características y flujo del material granular

4. Realizadas tres simulaciones para cada escenario, se varió la altura de caída del material desde cero metros de la apertura superior de la tolva hasta dos metros, con una tasa de incremento de medio metro y el flujo de material que cae en la tolva, iniciando en 50 kg/s hasta 125 kg/s con una tasa de 25 kg/s (ver Figura 1). El tiempo de cada simulación era de 10 segundos y el ángulo de esparción de las partículas al caer era de 30°.

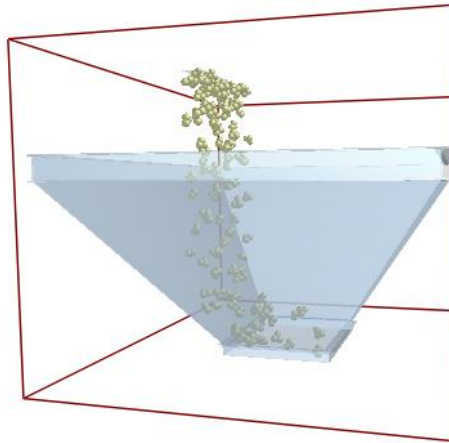


Figura 1. Momento durante la simulación con una configuración de 1,5 m de caída y 125 kg/s de flujo de material.

- 4.1. Obtenido la información de esfuerzos generados, la data se exporto a ANSYS Workbench para analizar el comportamiento estructural de la tolva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el estudio de los esfuerzos compresivos (N), se variaron los parámetros: altura de caída de material (mm) en el eje vertical y el flujo de material (kg/s) de la alimentación (Tabla 1); permitiendo construir diversos escenarios, controlando las variables. Para cada uno de los escenarios se realizaron tres simulaciones en LIGGGHTS, permitiendo calcular la desviación estándar de los resultados obtenidos.

Tabla 1. Parámetros variados durante la alimentación.

Altura de caída (mm)	0	500	1000	1500	2000
Flujo de material (kg/s)	50	75	100	125	

Los esfuerzos compresivos sobre la tolva durante las tres simulaciones de cada escenario se registraron en tablas y se representaron gráficamente (ver Figura 2). Observándose que la tendencia es a mayor cantidad de material y a mayor altura de descarga sobre la tolva los valores de esfuerzos aumentaban, identificándose el escenario máximo de 5096 N a una altura de 2000 mm y un flujo de 100 kg/s.

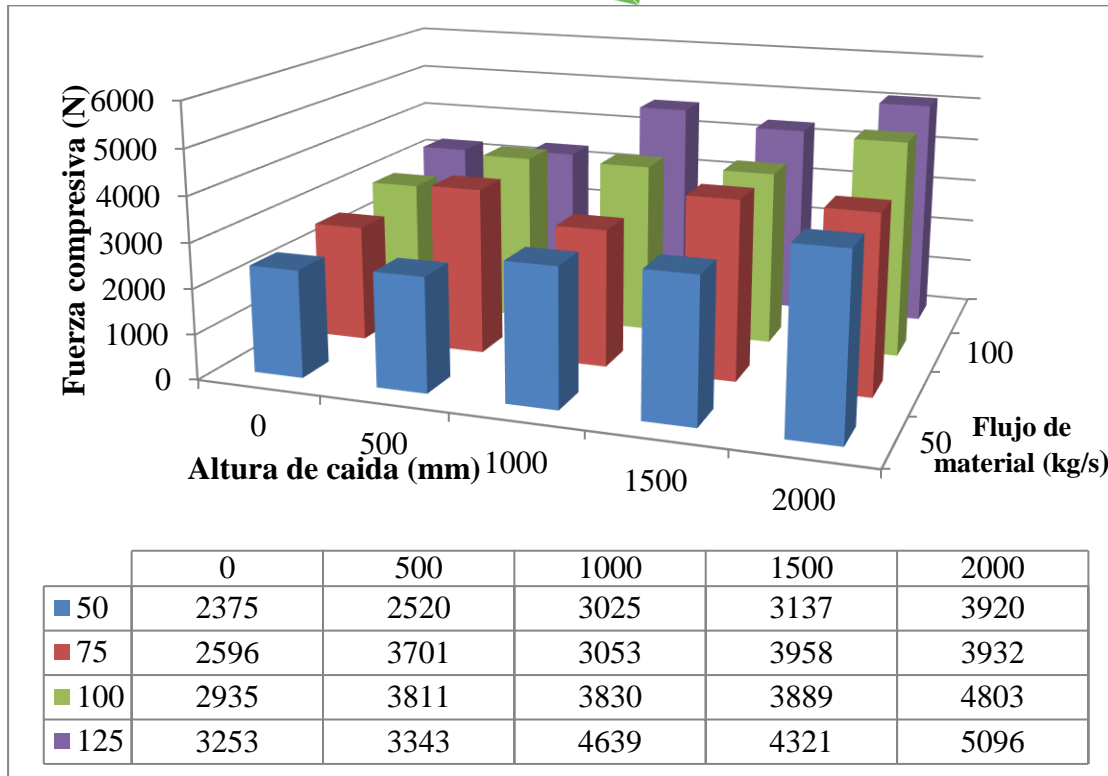
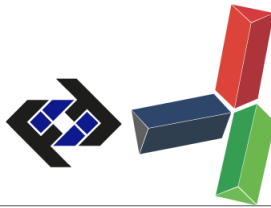


Figura 2. Resultado de los esfuerzos compresivos promedio.

Los resultados permitieron calcular la varianza y desviación estándar de los esfuerzos obtenidos, valores que se representaron gráficamente (Figura 3), mostrando que la desviación de los datos aumentaba con una tendencia diferente a los esfuerzos obtenidos, pudiéndose deber a que cada simulación es un evento independiente, donde el flujo de caída es diferente en cada corrida.

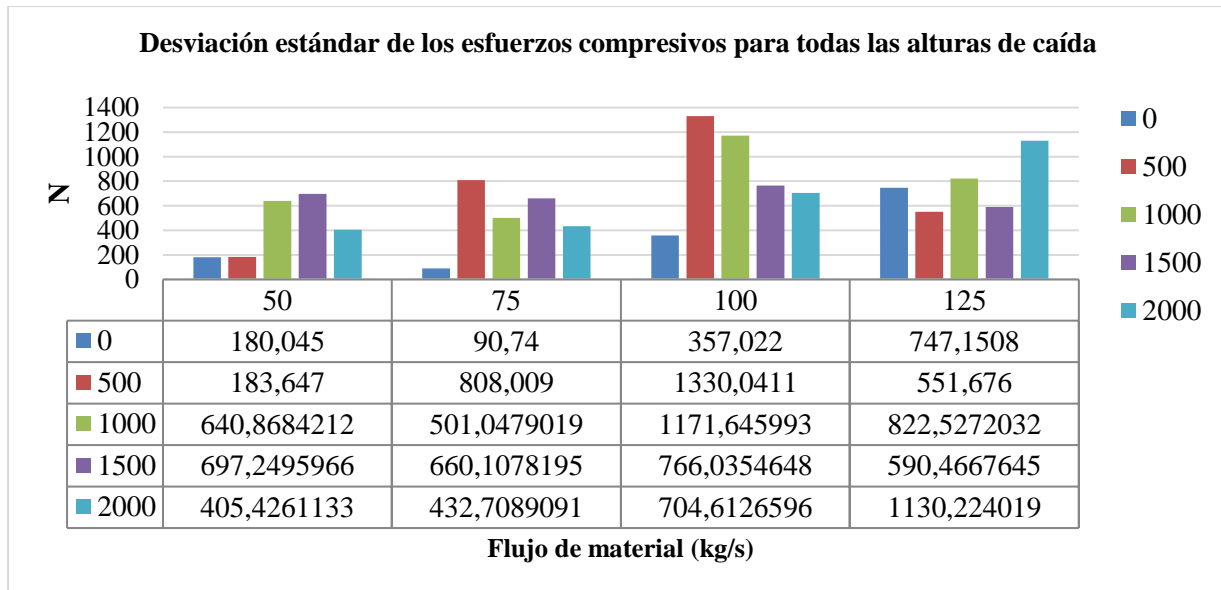
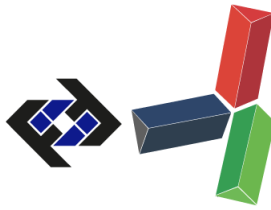


Figura 3. Desviación estándar de los esfuerzos compresivos.



Según el ensayo estático estructural utilizando los valores de esfuerzos máximos 5096 N (Figura 4), la máxima deformación ocurrida es de 0,0418mm, valor menor al milímetro, considerándose unas condiciones operativa sin riesgo de fallo estructural, ubicada en la zona de color rojo, lugar donde impacta el material en su trayectoria de caída, en cuanto a la vida, daño y factor de seguridad estos se encuentran como máximo de acuerdo a las características del acero estructural, lo cual indica que bajo la configuración de los esfuerzos sometidos no hay daños estructural en la tolva, de modo que las otras configuraciones tampoco deben comprometer la estructura de la tolva.

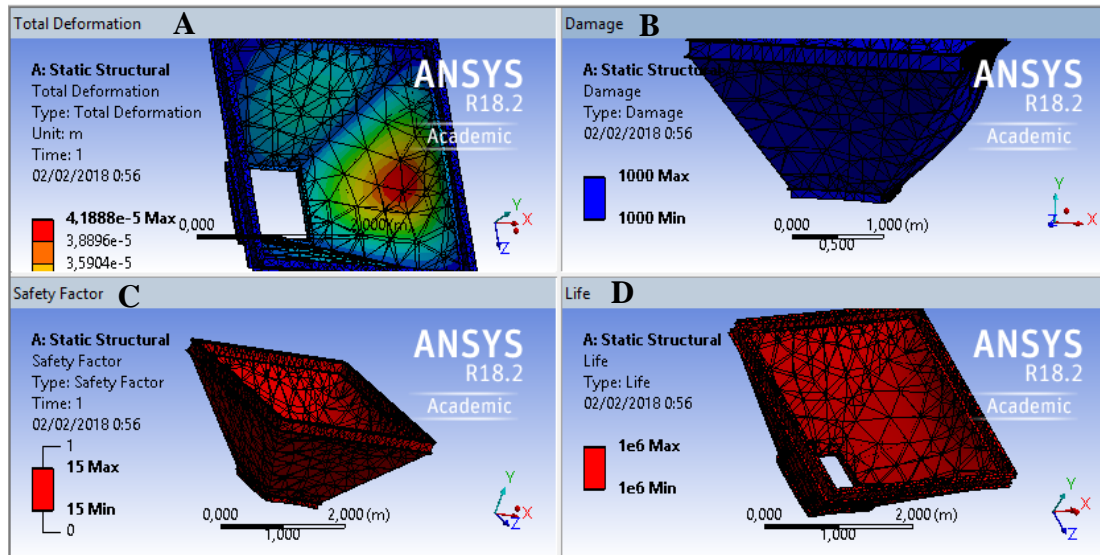


Figura 4. A) Deformación total. B) Daño total. C) Factor de seguridad D) Vida de la tolva bajo el esfuerzo de 5059 N.

CONCLUSIONES

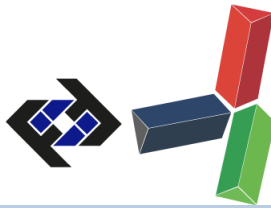
El modelo de elementos discretos se puede adaptarse a distintas condiciones de acuerdo al objetivo de la investigación, en el caso de minería es útil para conocer como interactúa material rocoso con mecanismo y estructuras.

El uso de DEM puede recrear un modelo granular de la roca, teniendo en cuenta que una simulación es solamente una representación “aproximada” de la realidad.

Se establecieron condiciones de alimentación del equipo estudiado (tolva) variando dos parámetros, altura de alimentación y flujo de material durante la alimentación; los valores otorgados a ambos parámetros se establecieron en un rango que se consideró como posibles condiciones reales de operación y se encontró que la tolva no presenta riesgo de fallo estructural.

Establecidos los escenarios con las condiciones de alimentación respectiva, se deben realizar varias corridas para conocer la precisión de los datos resultantes.

El análisis con FEM permite ubicar las zonas de mayor desgaste del equipo bajo condiciones de trabajo operativas, permitiendo relacionar la confiabilidad mecánica y los planes de mantenimiento predictivo con las condiciones reales de trabajo.



JIFI2018
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

REFERENCIAS

- [1] G. Garcia, «Introducción a la teoría de la confiabilidad,» Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2006.
- [2] J. Quist, «DEM Modelling and Simulation of Cone Crushers and High Pressure Grinding Rolls,» Universidad Tecnológica Chalmers, Suecia, 2017.
- [3] B. Bushan, «Principles and applications of tribology,» pp. 141,153, 1999.
- [4] H. Hertz, «On the contact of elastic solids,» *Journal for Pure and Applied Mathematics*, pp. 156-171, 1882.
- [5] R. Mindlin, «Compliance of elastic bodies in contact,» *Journal of Applied Mechanics*, pp. 259-268, 1949.
- [6] R. Nobregas, «Propuesta para reducción de tamaño de minerales no metálicos: caso Charnockita, Cerro La danta sector Cambalache, estado Bolivar,» Caracas, 2016.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>