

Modelos de simulación: selección y reemplazo de equipos para proyectos mineros

Mario Baudino, Veronica Gil-Costa, Andrea Giubergia, Roberto Guerrero, Marcela Printista

Departamento de Minería
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales
Universidad Nacional de San Luis
Chacabuco y Pedernera. (02664-4436531)

RESUMEN

Una de las tareas importantes involucradas en el proceso de minería es la selección adecuada del equipo o maquinaria a utilizar durante dicho proceso. Estos equipos difieren según el trabajo que realicen, y para ello deben ser seleccionados de manera tal que se logre obtener el mayor beneficio y eficiencia de cada uno de ellos. La importancia de esta tarea radica en que durante el proceso minero intervienen muchas variables técnicas, geométricas (características propias del yacimiento) y económicas. Además existen muchas marcas, modelos y tamaños de equipamientos que compiten y que muchas veces entregan resultados similares a los realmente esperados por el usuario.

Actualmente el ingeniero que efectúa la selección no cuenta con una herramienta automática confiable y apropiada para evaluar estos equipos y decidir cuál de ellos es mejor para su proyecto. Generalmente esta tarea se realiza a "mano" en función a la experiencia. Dicha tarea de selección se facilitaría si en lugar de hacerla manualmente, se dispusiera de un programa que conociendo las características de los equipos disponibles en el mercado y las condiciones de trabajo permitan realizar en forma automática la mejor selección.

La simulación es una técnica computacional que ayuda a efectuar esta selección, dando al ingeniero diferentes posibilidades que se adecúen a un problema en particular. Por un lado, se puede utilizar la simulación determinística para simular la producción de una operación y de esta manera elegir el equipamiento más adecuado tanto en

perforación, carga y transporte. Por otro lado, se puede utilizar la simulación probabilística para simular modelos de carga y transporte con diferentes combinaciones de maquinarias para luego elegir el más apropiado según las características de la operación.

Teniendo en cuenta esto, una herramienta que permite lograr ese objetivo es un programa de simulación donde se evalúe y determine computacionalmente cuál es el equipo óptimo.

El trabajo de investigación a abordar en esta propuesta involucra el estudio y análisis mediante el uso de herramientas de simulación, de un yacimiento minero para obtener las características relevantes que permitan definir la maquinaria más adecuada.

Palabras clave: Procesos Mineros, Simulación, Selección de equipamientos, Computación Paralela, Realidad Virtual.

CONTEXTO

Esta propuesta de trabajo ha sido presentada para su evaluación dentro del sistema de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de San Luis para proyectos de Investigación Promocionados correspondientes a la Fac. de Cs. Físico, Mat. y Nat. Las tareas se desarrollarán en los laboratorios del Departamento de Minería.

1. INTRODUCCION

La explotación minera se caracteriza por ser una industria que utiliza una gran cantidad de equipos de alto costo monetario. Existe una

gran variedad de modelos, marcas y tamaños de dichos equipos. Es decir, existen diferentes modelos y marcas que proveen características y desempeños similares. Los ingenieros a cargo de la operación deben analizar con cuidado las propuestas recibidas (Annels, 1991) para elegir la combinación de equipos que mejor se adecúe a las características del proyecto y les permita optimizar su desarrollo.

Un aspecto importante durante la selección de equipos es que generalmente a mayor tamaño mayor es el costo de los mismos, el cual puede llegar a los millones de dólares. Por lo tanto, es importante planificar adecuadamente la obra y seleccionar el equipo requerido para no exceder los costos estimados, y al mismo tiempo cumplir con los objetivos del proyecto en tiempo y forma. El uso ineficiente de los equipos durante la operación minera y los tiempos muertos (tiempos en los cuales los equipos se encuentran inutilizados por una falla en la planificación) pueden aumentar los costos inicialmente estimados.

En los casos en que la eficiencia del equipo disminuye con el tiempo de uso, éstos suelen reemplazarse o repararse parcialmente para restablecer su eficiencia original. Para ello, se determinan los tiempos en los cuales se deben aplicar dichos reemplazos para poder alcanzar una medida deseada de efectividad. Algunas de las causas predominantes de reemplazo son: (a) deterioro físico (amortización del equipo), (b) cambios en la necesidad, lo que los convierte en inadecuados, (c) adelantos tecnológicos incorporados a nuevos modelos, frente a los cuales el equipo existente resulte en desventaja (Barreto, 2008).

Para seleccionar el equipo adecuado los ingenieros necesitan disponer de herramientas que evalúen a los equipos de los fabricantes y/o combinación de ellos en conjunción con las características técnicas, geométricas y económicas del proyecto, los cuales sean fáciles de utilizar y entreguen un resultado óptimo en un corto plazo de tiempo (Suboleski, 1992).

Como se mencionó anteriormente, en la actualidad la selección (Llera, 1987) del equipo para un proyecto minero se realiza manualmente basado en dos aspectos: 1) la experiencia o información obtenida al operar en algún yacimiento y 2) por el temor a fracasar (Ortiz, 2007).

Los modelos son abstracciones de los sistemas. Para poder diseñar nuevos sistemas y optimizar los ya existentes, se utilizan modelos, ya que experimentar con el sistema mismo puede ser muy costoso, puede destruirse el sistema o por lo menos interrumpirse temporalmente en su funcionamiento, o simplemente puede ser imposible experimentar con él. Para llevar a cabo un buen modelo, es importante conocer el tiempo de operación de un equipo, por ejemplo para un camión se debe conocer el tiempo de viaje, tiempo de carga, tiempo de descarga y tiempo de viaje vacío. Estos mismos tiempos son requeridos para modelar un equipo subterráneo LHD (Load Haul Dump, conocidos como scoop), o cintas transportadoras para proyectos subterráneos. Estas medidas de tiempo pueden sufrir variaciones debido a los factores intervinientes tales como condición del camino, del conductor y la distancia del recorrido, fallas mecánicas, etc. Generalmente, estas medidas de tiempo son utilizados en modelos de simulación para el análisis de las operaciones y así, de esta manera, poder determinar los puntos débiles del sistema que deben ser optimizados. Estas medidas constituyen los parámetros de la simulación y de ellos depende la precisión de los estudios realizados. La simulación debe ser capaz de describir las características más relevantes de las operaciones y los datos de entrada deben describir las características del equipo.

Para la generación de un modelo existen en el mercado diferentes herramientas tales como software de simulación de uso específico o lenguajes de propósito general como C++Sim, libcppsim-0.2.1 (Marzola, 2004). Algunos fabricantes, como CATERPILLAR (Caterpillar, 1990), han desarrollado su propio

modelo y simuladores para sus equipos (excavadoras, equipos de obras, etc.) y hacen recomendaciones a sus clientes en base a la información entregada por cada usuario.

Por otro lado, desde un punto de vista computacional, los modelos de simulación pueden abordarse a partir de diferentes métodos como la simulación determinística, estocástica, estática, dinámica, etc. El tipo de simulación utilizada depende del diseño del modelo. En particular, la simulación determinística es aquella que utiliza únicamente datos de entrada determinísticos, no utiliza ningún dato de entrada aleatorio. Usa valores constantes para los parámetros como tiempos de carga, viaje, descarga y demoras. Por otro lado, la simulación probabilística incorpora algunos datos de entrada que siguen una cierta tendencia o distribución de probabilidad. Es decir que en este tipo de simulación una o más variables independientes son probabilísticas, es decir, siguen una determinada distribución de probabilidad. Requiere curvas de densidad de probabilidad para generar tiempos de carga, descarga, posicionamiento para cargar y descargar, viajes ida y regreso, demoras y destreza del operador (Ramani, 1990).

Actualmente, existen en el mercado algunos simuladores bastante compactos y fáciles de entender por los usuarios (Sanchez, 2005) (Dyer, 2006) (Cortés, 2004). Algunos simuladores ampliamente utilizados son: GPSS, Automod II, Slam IV producido por la empresa Prisker Corp y Arena, que fue creado por Pedgen en 1982.

Sin embargo, estos simuladores son de propósito general. Es decir, que los ingenieros deben desarrollar el modelo del yacimiento que desean estudiar e implementarlo utilizando estos simuladores. Para ello, los ingenieros deben comprender un universo de objetos, reglas y especificaciones propias de los procesos de simulación junto con las directivas y propiedades del software seleccionado. Cuando los ingenieros se familiarizan con el funcionamiento del simulador, la ejecución de

los programas suele ser rápida y de fácil manipulación.

Algunos trabajos relacionados a la propuesta de este trabajo de investigación se pueden encontrar en (Ortiz,2007) y (Hudson,2003). En el trabajo de Baldon y Omar (Bcialdon ,2005) se presenta un modelo de simulación para un yacimiento que incluye el movimiento de un volquete y carga y descarga del material. Por otro lado, el trabajo presentado en (Hudson, 2003) muestra un análisis de los factores que influyen en la productividad y el costo del transporte de minerales como las pendientes y la resistencia de la rodadura.

Los objetivos de utilizar la simulación como herramienta para el desarrollo de proyectos mineros son: (a) Minimizar actividades costosas en tiempo y dinero. Esto implica proveer un análisis de riesgo determinando cuáles son los escenarios más optimistas y pesimistas. (b) Disminuir riesgos en la toma de decisiones anticipadas. (c) Utilizar los prototipos virtuales como herramientas fiables. Para ello es necesario realizar una estimación de las variables promediando las respuestas obtenidas en los diferentes escenarios. (d) Cuantificar los parámetros y valores correspondientes a cada función y modo de fallo asociado y obtener una medición de la incertidumbre.

Por otro lado, la aparición de las nuevas computadoras de alto poder computacional y el avance de la tecnología multimedia han permitido el desarrollo de aplicaciones que utilizan tecnologías de Realidad Virtual y Realidad Aumentada para proveer un ambiente de visualización integral. Estas nuevas tecnologías permiten obtener mayor información de los datos de la mina y de la maquinaria (Rodríguez, 1997) y además, puede ser utilizado para validar los resultados entregados por las simulaciones. Los expertos prevén que para el año 2020, la evolución de la visualización digital permitirá disponer de una televisión donde se puedan observar imágenes 3D desde cualquier ángulo, tocar los objetos que aparezcan y olerlos, es decir, interactividad

y sensación de realismo total. Actualmente en la Universidad Nacional de San Luis se está desarrollando la estructura de una Cava de Visualización (Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) con la cual es posible visualizar y experimentar en forma aislada o conjunta las soluciones obtenidas mediante simulaciones.

Este tipo de visualizaciones proporcionan una alternativa de interacción del observador con el objeto/dato visualizado, intensificando la sensación de realidad mediante la simulación de la percepción de diferentes estímulos. Es la percepción de un ambiente tridimensional creado por un ordenador. En este contexto, es posible visualizar el modelo de simulación utilizando los parámetros y características de los equipamientos que permiten optimizar su uso y que han sido seleccionados por los ingenieros en minas mediante la ejecución del software de simulación para rever el proyecto minero originalmente planteado. La principal ventaja es que permite ahorrar costos por evitar el uso de maquinaria real.

2. PROYECTO DE INVESTIGACION y DESARROLLO

El proyecto de investigación propuesto en este trabajo involucra una serie de desarrollos individuales que en su conjunto logran obtener el objetivo planteado: Obtener una metodología que permita seleccionar rápida y eficazmente la maquinaria requerida para ser utilizada en un yacimiento minero particular.

Para ello es necesario estudiar y analizar las características del yacimiento seleccionado. Analizar las diferentes propiedades de la maquinaria que puede ser utilizada mediante un estudio de costo-beneficio. Este estudio implica la simulación de los procesos involucrados en la explotación de un yacimiento.

3. RESULTADOS OBTENIDOS ESPERADOS

El objetivo es crear y diseñar modelos de simulación para un yacimiento minero de forma

tal que el ingeniero pueda seleccionar los equipos de operación buscando los tamaños, modelos y marcas adecuadas.

Este modelo tiene como principal objetivo resolver problemas que habitualmente tienen soluciones poco convenientes en la realidad. Las medidas de efectividad pueden incluir el menor costo por tonelada de material extraído de mina y la máxima producción en la unidad de tiempo. Estos modelos pueden ser posteriormente validados y ampliamente evaluados mediante la visualización digital.

Los resultados esperados son:

- Determinar los ciclos de operatividad de los equipos de carga y transporte en la construcción de accesos y plataformas.
- Reducir los tiempos de espera, realizando una buena programación de los equipos de carga y transporte.
- Evaluar de manera práctica y teórica los equipos
- Desarrollar un modelo de simulación que caracterice los parámetros y variables observadas
- Simular el reemplazo de un equipo por otro.

4. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

Actualmente, se cuenta con dos doctoras y un Magister en ciencias de la computación realizando la investigación teórica y dirección del proyecto propuesto. Por otro lado, se cuenta con dos Ingenieros en Minas. Uno de ellos está realizando actualmente la Maestría en Ing. Del Software. También se cuenta con una alumna de la carrera Ing. En Minas.

Mediante este trabajo de investigación se podrán formar profesionales inter-disciplinarios capaces de modelar, diseñar e implementar herramientas de simulación útiles para la planificación de proyectos mineros.

5. BIBLIOGRAFIA

- [annels91] Annels, A. E. Minerals deposits evaluation: a practical approach. Chapman & Hall, London. 1991
- [Annon70] Annon, "How much repairs really cost". Rev. Minig Eng. Vol. 22 n°, July 1970 pag. 110-111.
- [Barreto08] Barreto. Criterios de selección y reemplazamiento de equipo para la construcción de accesos y plataformas en la zona de san Antonio, provincia de Yauli-Junín. Tesis de Grado, 2008.
- [Bedón05] Bedón M., Omar C. Aplicación de la simulación para la optimización del acarreo de mineral. Universidad Nacional de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial. 2005.
- [Caterpillar90] Caterpillar Inc. (1990). Fleet production and cost analysis. Caterpillar Tractor Co., Peoria, Illinois,
- [Cortés04] Cortés P., Muñuzuri J., Guadix J., Larrañeta J., Onieva L.. Análisis de la capacidad del Puerto de Sevilla mediante la simulación con Arena. 2004. VIII Congreso de Ingeniería de Organización. Leganés, 9 y 10 de septiembre de 2004.
- [Coss99] Coss Bu Raúl (1999). Simulación. Un enfoque Práctico. Editorial Limusa S.A., México.
- [Dyer06] Dyer T.L., Jacobsen W.L.. Use of simulation to validate load and haul requirements at Cortez Gold Mines. 2006. SME Annual Meeting. Mar. 27- Mar. 29, 2006.
- [Donald92] Donald W. Gentry and William Hustrulid (1992). Surface mine development, Section 13. SME. Mining engineering Handbook, Littleton, Colo USA.
- [Enigi] Enigneering HandBook, V. 1, Ch. 8.3, Littleton Colo. USA.
- [Guerrero71] Guerrero M. El arrendamiento financiero en México y Venezuela, Corporación venezolana de fomento y la institución de servicios industriales y arrendamiento de México S.A. (SIAMSA) 1971
- [Guisado86] Guisado T. M. La evaluación del Leasing. Nuevas consideraciones en el contrato de un esquema financiero mixto como alternativa, alta dirección, Barcelona, 263 –271, julio-agosto 1986.
- [Hudson03] Hudson J. P. Factores que afectan productividad y costo en el carguío y transporte. Informe técnico. 2003. Runge Latin America Ltda.
- (<http://www.editec.cl/mchilena/dic2003/Articulo/informe.htm>).
- [Marzola04] M. Marzolla, LibCppSim: A SIMULA-like, portable process-oriented simulation library in C++. In ESM, 2004.
- [Llera87] Factores Geomecanicos que influyen en la selección de equipos de arranques. Minas y Obras a cielo abierto. J.M. Llera, M.A.Fernandez, C. Jimeno, F. Urbina, J. Santos.
- [Ortiz07] O. S. Ortiz, G.S. Canchari, S.L. Iglesias, M.T. Gonzales. Simulación determinística y estocástica para dimensionar, y seleccionar equipo y elegir alternativas de minado en la explotación minera superficial. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol. 10, N° 19, 38-50 (2007)
- [Ramani90] Ramani R. V. (1990). Haulage systems simulation analysis. Surface Mining, 2nd. edition, Kennedy A. Bruce Editor, SME, Littleton, Colo., USA.
- [Rod97] Manual de evaluación Técnico-Económico de proyectos mineros de inversión. R. Rodriguez, M. Rodriguez, C. Jimeno, A. Rascon, L. Alamo, J. Villalon, F. Ortega, R. Panizo, E. Martin. 1997.
- [Sanchez05] Sanchez O. O. Aplicación del lenguaje GPSS/H a un problema de acarreo minero. 2005. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. Vol. 8, N° 15, 60-68 (2005). Universidad Nacional de San Marcos.
- [Sturgal00] Sturgal J. R. (2000). Optimización y simulación de operaciones mineras. UNI, 2000-II. Ciclo de Charlas de Planeamiento Minero.
- [Suboleski92] Suboleski S.C., Cameron R. E. and Albert E. K. (1992). Sistesms Engineering, SME. Mining
- [Watson88] Watson W. "Equipment problems and their resolutions" .CIM Bulletin, Vol. 8,1 N°913, May 1988 Pag. 21-35
- [Vasak10] Vasak P., Suorineni F. T. Extracting more value from mine data using virtual reality and scientific visualization techniques. In 1st UMAT International Mining and Mineral Conference (2010).