

DIMENSIONAMIENTO DE FLOTA EN LAS OPERACIONES DE CARGUÍO Y TRANSPORTE USANDO MODELOS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Osmar Lins de Noronha
Grupo Pirineus. Goiás, Brasil
sac@grupopirineus.com.br

Alcides Eloy Cano Nuñez / Adeline F. dos Reis
canoalcides@hotmail.com / delinereis@yahoo.com.br
Universidade Federal de Goiás. Goiás, Brasil

Carlos Enrique Arroyo Ortiz
Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, Brasil
carroyo@ufop.edu.br

Resumen

El estudio aborda aspectos que deben ser considerados en el dimensionamiento de equipamiento de carguío y transporte de material (mineral y desmonte) en una mina a cielo abierto localizada en el centro-oeste de Brasil. Este proceso es complejo ya que está involucrada en el análisis una significativa cantidad de variables que limitan las actividades intrínsecas a las operaciones de carguío y transporte, tales como: tasas de producción por unidad de tiempo, características físico-mecánicas del material, distancias de transporte, topografía, diseño de accesos, vías de transporte, ciclos y rendimiento de la flota (camión, pala); adicionalmente, existen otras variables externas que también condicionan la normal operación, dentro las cuales podemos citar lluvia, nieve, neblina y movimiento sísmico. El trabajo tiene como finalidad dimensionar la flota de los equipos de carguío y transporte que atienda el requerimiento de planta de procesamiento de manera eficiente.

Palabras clave: dimensionamiento de flota, análisis estocástico, análisis determinístico

Abstract

Fleet sizing in loading and hauling operations using systems simulation models

The present study addresses aspects that must be considered in the sizing of the equipment for material loading and haulage (ore and waste) in an open-pit mine in the Central-West Region of Brazil. This is a complex process because a significant number of variables that limit the activities intrinsic to the loading and hauling operations are involved in the analysis. Such variables are: production rates per unit of time, physical-mechanical characteristics of the material, hauling distances, topography, access design, hauling routes, cycles, and fleet performance (truck, shovel). Additionally, there are other external variables that also condition a normal operation, such as rain, snow, fog and seismic movement. The purpose of this study is to size the fleet of the loading and hauling equipment that fulfills the processing plant requirements in an efficient manner.

Keywords: fleet sizing, stochastic, deterministic

1. Introducción

Los costos en las operaciones de carguío y transporte de mineral y desmante representan una suma considerable en los costos de producción del mineral. Por consiguiente, el dimensionamiento adecuado de estas operaciones es de extrema importancia a fin de reducir dichos costos. Pinto y Saliby (1999) sostienen que la extracción del mineral a cielo abierto se caracteriza por ser una actividad de alto costo de inversión y el comportamiento estocástico del sistema la hace más compleja, así como también cualquier toma de decisión.

De acuerdo con Koppe (2007), pocas minas consiguen armonizar la relación entre la producción requerida y la capacidad de los equipamientos.

Para definir el tipo de equipamiento y sistema que será requerido, deben considerarse y evaluarse variables tales como: capacidad real de los equipos, distancia de transporte, topografía del terreno, infraestructura disponible en la región, interferencias con el medio ambiente, economía, entre otros (Silva, 2009).

Este estudio de dimensionamiento de flota de carguío y transporte vía simulación fue realizado con la información de una mina de caliza localizada en el centro-oeste brasileño. La mina en cuestión es productora de material para la industria de construcción, agrícola, industria de tintas y fibrocementos. Con los resultados obtenidos será posible proponer alternativas y estrategias de producción que permitan atender los requerimientos de la planta concentradora.

Esta investigación tuvo como objetivo principal realizar un apropiado dimensionamiento de flota a través de técnicas avanzadas de programación estocástica. De este modo se podía abordar el problema real usando modelos de simulación, cuyo propósito es evaluar los escenarios de producción. También se buscó predecir el comportamiento del sistema de carguío y transporte de materiales y analizar la utilización de los equipamientos para determinar de manera objetiva el tamaño de la flota que atiende los requerimientos de producción exigidos por la planta. Finalmente, esta investigación se propuso realizar una comparación entre dimensionamiento analítico versus estocástico y, de este modo, obtener mayores elementos de análisis para una toma de decisiones más acertada.

2. Metodología

Para el abordaje y entendimiento del problema de dimensionamiento de equipamiento de carguío y transporte se realizó una revisión bibliográfica relacionada con carguío y transporte de mineral y dimensionamiento de flota. Seguidamente fue necesario definir los lineamientos y conocimientos técnicos necesarios para estructurar las actividades, las tareas a ser realizadas por el equipo e identificar las variables (tiempos, distancias, operaciones de

equipamientos) y parámetros que intervienen en el problema. Posteriormente se establecieron modelos analíticos y estocásticos que representan el problema. Finalmente, se utilizó *software* como AutoCAD 2014, Mathcad 14.0, Arena 14.0, Excel 2013 y Word 2013 para encontrar los resultados y elaborar los informes correspondientes.

3. Revisión de literatura de operaciones de carguío y transporte de mineral

Las operaciones de carguío y transporte de mineral y desmonte son actividades primarias concernientes a los trabajos de extracción mineral propiamente dicha; la importancia de esta actividad se debe al hecho de formar parte de la cadena productiva del bien mineral. Las excavadoras son equipamientos principales usados en las tareas de carguío y están designadas para cumplir actividades de remoción, carga y descarga del material. Seguidamente, después de que las excavadoras hayan llenado la tolva de los camiones con material rocoso fragmentado, estos últimos transportan la carga a la planta de tratamiento o pila de desmonte, o bien el material podría ser llevado a otras áreas como destino final (Dessureault, 2009).

Los camiones transportan el material en sus tolvas y, según su valor económico, es descargado en planta o pila de desmonte (Bise, 2003). En la figura 1 se muestran las actividades de carguío y transporte de material y se describe gráficamente el ciclo integrado de la producción.

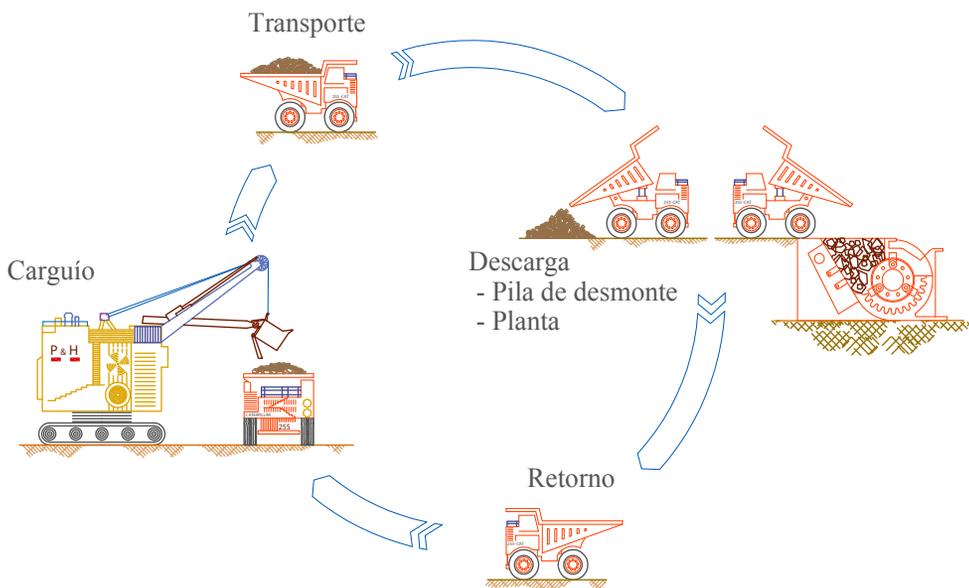


Figura 1. Ciclo de carguío y transporte de mineral o desmonte

Elaboración propia

4. Dimensionamiento de la flota de carguío y transporte de mineral

4.1 Producción en la mina Calcário Ouro Branco

La mina tiene cuatro frentes de explotación: Osvaldo, Grande, Mandacaru y Antônio Ferreira. De cada uno de los frentes de explotación son extraídas materias primas para la producción de cinco derivados: tintas, textura, ración animal, fibrocemento y corrector de acidez del suelo para agricultura. De los cinco productos, solo el corrector de acidez es producido por la propia compañía minera; los otros cuatro son producidos por la mina Fillercal Mineração e Comércio (Grupo Pirineus, 2013). La tabla 1 presenta las unidades mineras y las cantidades extraídas, así como los productos de cada una de ellas.

Tabla 1. Producción planeada y programada en cada unidad

Origen-destino	Production			
	Ene-abr (2016) t/mes	May-nov (2016) t/mes	2017 t/mes	2017 t/día
Osvaldo-planta Ouro Branco (a)	-----	21 400	15 000	625
Grande-planta Ouro Branco (a)	-----	21 400	15 000	625
Mandacaru-planta Fillercal (b)	900	900	4500	188
Antônio Ferreira-planta Fillercal (c)	2300	2300	3000	125
Antônio Ferreira-clasificación	8900	8900	18 720	780
Clasificación-planta Fillercal (b)	8900	8900	18 720	780
Planta Ouro Branco-pila de desmonte	-----	10 300	10 000	417
Total anual	623 700		1 019 280	

(a) insumos para agricultura, (b) insumos para ración animal, (C) insumos para textura, pinturas

Fuente: datos facilitados por la Gerencia del Grupo Pirineus

4.2 Dimensionamiento determinístico de la flota de carguío y transporte de mineral

Para dimensionar los equipos de carguío y transporte es importante revisar el conocimiento técnico referente a las características de cada equipo de carga y transporte.

Sweigard (2002) reúne las principales características que deben ser consideradas en una selección de equipamientos; además se refiere a estudios de diversos autores que han publicado en el área de transporte de materiales.

Sweigard detalla 11 criterios: 1) producción, 2) tasa de producción, 3) disponibilidad, 4) utilización, 5) eficiencia, 6) productividad, 7) capacidad, 8) capacidad nominal, 9) factor de esponjamiento, 10) factor de llenado de la cuchara y 11) ciclo. El autor indica que la utilización

está condicionado por: a) características del material, b) supervisión en el trabajo, c) tiempo de espera en zona de descarga (pila de desmonte o planta), d) falta de camión, e) destreza del operador, f) interrupciones para limpieza del frente de trabajo (limpieza de plaza), g) calidad de la fragmentación, h) capacidad de la cuchara del equipo de carguío e i) pequeñas interrupciones debido a defectos mecánicos que generalmente son imprevistos de mantenimiento.

Las operaciones de carguío en la mina Calcário Ouro Branco son realizadas con cuatro excavadoras CAT 336D para los frentes de Osvaldo, Mandacaru y Antônio Ferreira. Además, dos palas CAT 950H, son usadas en la carga de mineral clasificado, y otra en la carga de desmonte proveniente de la planta en la mina Ouro Branco. El ciclo de trabajo de una excavadora se divide en cuatro actividades realizadas secuencialmente: carguío, maniobra con carga, descarga y maniobra sin carga.

Noronha (2016) determinó a través de informaciones de campo y análisis estadístico que el ciclo de la excavadora CAT 336D es de 0,28 minutos, y de 0,53 minutos el de la excavadora CAT 950H (tales tiempos son valores medios). El transporte de mineral en la mina Calcário Ouro Branco es realizado por medio de volquetes Volvo VM330 de 28,8 t. Estos vehículos realizan seis rutas (circuitos) para el transporte del mineral, una ruta para el desmonte y adicionalmente dos rutas de retorno de pila de desmonte para transporte de mineral.

Los volquetes trabajan en ruta dinámica; por lo tanto, los equipamientos no son exclusivos para una ruta específica. La empresa trabaja dos turnos por día, cada turno de ocho horas programadas y una utilización del turno de 75 %. La tabla 2 muestra la información de distancia y tiempos de ciclo, y la tabla 3 el dimensionamiento determinístico (analítico) para la flota de equipamientos.

Tabla 2. Distancia y tiempos de ciclo para los camiones

Origen-destino	Distancia (2016) km	Tiempo de ciclo (2016) minutos
Mina Osvaldo-planta Ouro Branco (a)	1,0	9,90
Mina Grande-planta Ouro Branco (a)	1,0	9,94
Mina Mandacaru-planta Fillerca (b)	1,8	13,53
Mina Antônio Ferreira-planta Fillerca (c)	2,2	14,85
Mina Antônio Ferreira-Clasificación	0,6	7,68
Clasificación-planta Fillerca (b)	2,2	17,34
Planta Ouro Branco-pila de desmonte	0,6	13,55
Pila de desmonte-mina Osvaldo	1,4	3,25
Pila de desmonte-mina Grande	1,4	3,16

Elaboración propia

Tabla 3. Dimensionamiento de flota de carguío y transporte

	M. Osvaldo	M. Grande	M. Ferreira	M. Mandacaru	Clasificación	Pila de desmonte
Modelo de excavadora	CAT336D	CAT336D	CAT336D	CAT336D	CAT950H	CAT950H
Horas por semana	96	96	96	96	96	96
Disponibilidad por turno	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %
Horas efectivas por semana	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80
Días por semana	6	6	6	6	6	6
Semanas por mes	4	4	4	4	4	4
Horas por mes	307,20	307,20	307,20	307,20	307,20	307,20
Capacidad de la cuchara (m ³)	2,55	2,55	2,55	2,55	3,60	3,60
Capacidad operacional	2,295	2,295	2,295	2,295	3,240	3,240
Factor de llenado	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %
Peso específico esponjado (t/m ³)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo de ciclo (min.)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,53	0,53
Factor de eficiencia	72 %	72 %	72 %	72 %	72 %	72 %
Disponibilidad mecánica	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %
Rendimiento (t/h)	531,13	531,13	531,13	531,13	396,14	396,14
Producción por día (t)	625	625	780	188	780	417
Número de excavadoras	0,09	0,09	0,13	0,03	0,15	0,08
Modelo de camión / volquete	VM330	VM330	VM330	VM330	VM330	VM330
Circuito	1	2	3	4	5	6
Horas por semana	96	96	96	96	96	96
Disponibilidad por turno	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %
Horas efectivas por semana	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80
Días trabajados por semana	6	6	6	6	6	6
Semanas por mes	4	4	4	4	4	4
Horas trabajadas por mes	307,20	307,20	307,20	307,20	307,20	307,20

(continúa)

(continuación)

Capacidad de la tolva (m ³)	24	24	24	24	24	24
Capacidad operacional	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
Factor de llenado	80 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %
Peso específico esponjado (t/m ³)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo de ciclo (min.)	10,0	13,5	13,5	15,0	8,0	17,5
Factor de eficiencia	72 %	72 %	72 %	72 %	72 %	72 %
Disponibilidad mecánica	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %
Rendimiento (t/h)	124,42	92,16	92,16	82,94	155,52	71,09
Producción por día (t)	1250	417	188	125	780	780
Número de camiones	0,80	0,40	0,20	0,10	0,40	0,90

Circuito 1: Osvaldo, Grande-Ouro Branco; circuito 2: Ouro Branco-pila de desmonte; circuito 3: Mandacaru-Filleral; circuito 4: A. Ferreira-Filleral; circuito 5: A. Ferreira-Clasificación; circuito 6: clasificación-Filleral.

Fuente: datos facilitados por la Gerencia del Grupo Pirineus

Elaboración propia

4.3 Dimensionamiento estocástico de la flota de carguío y transporte en la mina Ouro Branco

Cabral (2010), sostiene que un modelo de simulación permite expresar problemas complejos y de carácter dinámico. Noronha (2016) menciona los cinco pasos que debe seguir un estudio de investigación de operaciones: definición del problema, construcción del modelo, solución del modelo, validación e implementación. Para la mina en estudio los tiempos establecidos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. *Tiempo empleado por los equipos de carguío y transporte*

Dominio	Origen-destino	Tiempo
		tiempo de viaje vacío
		tiempo de carguío
		tiempo de viaje cargado
		tiempo de descarga

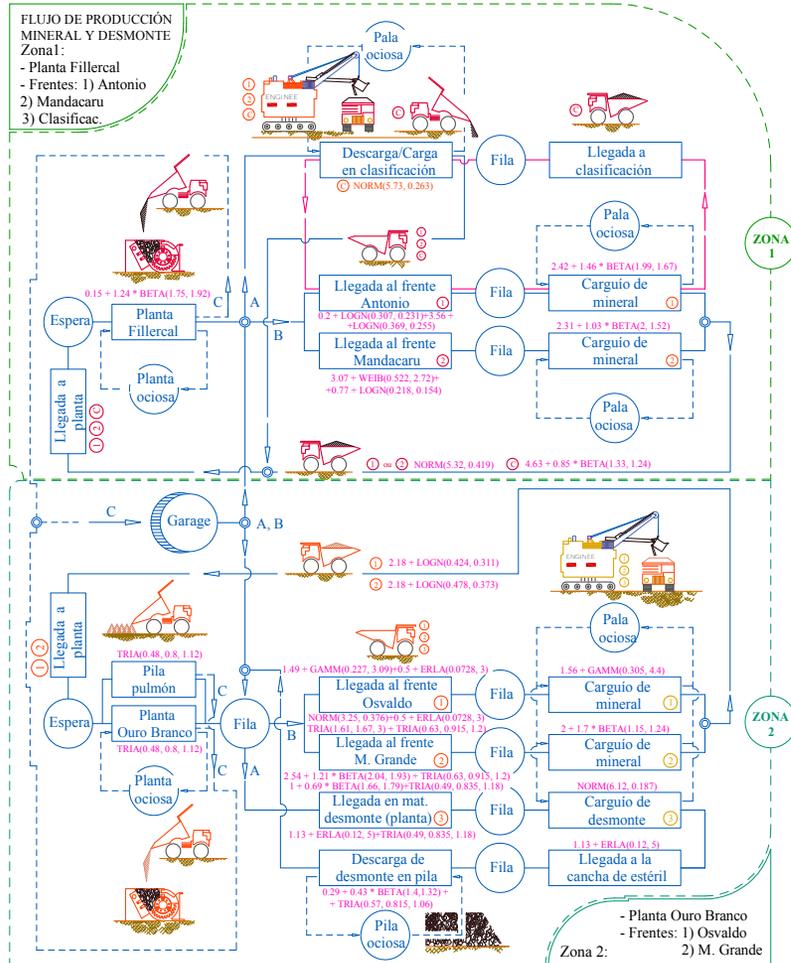
(continúa)

(continuación)

Zona 1	Clasificación-planta Fillercal	$3,59 + 1,24 * BETA (1,58, 1,08)$ NORM (5,73, 0,263) $4,63 + 0,85 * BETA (1,33, 1,24)$ $0,15 + 1,24 * BETA (1,75, 1,92)$
	Antônio Ferreira-planta Fillercal	a) $3,76 + LOGN (0,369, 0,255) + LOGN (0,369, 0,255)$ b) $2,42 + 1,46 * BETA (1,99, 1,67)$ c) NORM (5,32, 0,419) d) $0,15 + 1,24 * BETA (1,75, 1,92)$
	Antônio Ferreira-clasificación	a) $0,93 + WEIB (0,31, 2,08)$ b) $2,42 + 1,46 * BETA (1,99, 1,67)$ c) $1 + 0,7 * BETA (2,08, 1,82)$ d) TRIA (0,34, 0,634, 0,76)
	Mandacaru-planta Fillercal	a) $3,84 + WEIB (0,522, 2,72) + LOGN (0,218, 0,154)$ b) $2,31 + 1,03 * BETA (2, 1,52)$ c) NORM (4,6, 0,244) d) $0,15 + 1,24 * BETA (1,75, 1,92)$
Zona 2	Oswaldo-planta Ouro Branco	a) $1,99 + GAMM (0,227, 3,09) + ERLA (0,0728, 3)$ b) $1,56 + GAMM (0,305, 4,4)$ c) $2,18 + LOGN (0,478, 0,373)$ d) TRIA (0,48, 0,8, 1,12)
	M. Grande-planta en Ouro Branco	a) TRIA (1,61, 1,67, 3) + TRIA (0,63, 0,915, 1,2) b) $2 + 1,7 * BETA (1,15, 1,24)$ c) $2,18 + LOGN (0,478, 0,373)$ d) TRIA (0,48, 0,8, 1,12)
	Pila de desmonte en planta-pila de desmonte	a) $1 + 0,69 * BETA (1,66, 179) + TRIA (0,49, 0,835, 1,18)$ a1) $0,5 + NORM (3,25, 0,376) + ERLA (0,0728, 3)$ a2) $2,54 + 1,21 * BETA (2,04, 1,93) + TRIA (0,63, 0,915, 1,2)$ b) NORM (6,12, 0,187) c) $1,13 + ERLA (0,12, 5)$ d) $0,29 + 0,43 * BETA (1,4, 1,32) + TRIA (0,57, 0,815, 1,06)$ 1 Pila de desmonte a Oswaldo. 2 Pila de desmonte a M. Grande

Fuente: Funciones de tiempo encontradas con el software Input Analyzer ARENA 14, a partir de una base de 25 datos para cada una de las actividades que componen el ciclo de cada operación. Tales informaciones representan medias poblacionales (aplicación y conceptos de teoría de límite central) y fueron tomadas en el año 2016 en campo.

Para la implementación del modelo que simula las operaciones de carguío y transporte en la mina Caliza Ouro Branco fue necesario realizar el Diagrama de Ciclo de Actividades (DCA) de producción (figura 2) de la mina en estudio.



Entidades permanentes: pala, volquete, chancadora, pila

ATRIBUTOS:

- Capacidad del volquete: 28,8 t
- Volquete trabajando en clasificación \odot
- N.º volquetes para Fillercal: 03
- N.º volquetes para Ouro Branco: 02
- Turno de trabajo (t) = 16 horas/día (12HET)

DESVIACIONES:

- t = t - 1
- A, B : t > 0
- C : t = 0

Figura 2. Diagrama de ciclo de actividades de producción mineral en la mina Ouro Branco

Elaboración propia

El modelo de dimensionamiento de carguío y transporte representado en la figura 3 está expresado en el *software* ARENA 14 (desarrollado inicialmente por Systems Modeling en 1993, como sucesor de SIMAN y CINEMA, que fueron presentados en 1982 y 1984 respectivamente). En el citado modelo son usados módulos integrados de simulación (CREATE, ASSIGN, DECIDE, RECORD, PROCESS) para eventos discretos, los cuales expresan las actividades desarrolladas por las unidades (camión) y realizadas por los recursos (excavadora). Tales unidades y recursos realizan actividades (carga, transporte, descarga, espera) definidas y condicionadas por expresiones de variable aleatoria, que es definida por un requerimiento de producción. En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos en ARENA 14.

Tabla 5. Resultados de la simulación para la flota de carguío y transporte

SIMULACIÓN 1	Equipos		Réplicas o rodadas						
	(a)	(b)	2	3	5	10	20	30	100
Tiempo de simulación - Horas por ciclo			84	120	180	360	480	600	1200
- Producción de Mina-Fillercal (t/h)	3	3	318.67	317.10	317.15	317.41	317.57	317.73	317.78
- Producción de Mina - Ouro Branco (t/h)	2	3	233.00	234.81	234.73	235.89	234.81	235.60	235.44
SIMULACIÓN 2	Equipos		Réplicas o rodadas						
	(a)	(b)	2	2	2	2	2	2	2
Tiempo de simulación - Horas por ciclo			84	96	108	144	156	168	672
- Producción de Mina-Fillercal (t/h)	2	3	217.50	217.88	218.30	219.43	218.53	218.00	218.90
PRODUCCIÓN MEDIA CONSIDERANDO LOS ESCENARIOS DE PRODUCCIÓN			Análisis Estocástico			Análisis Determinístico			
Producción media de mina para la planta en Fillercal:			317.71 t/h (218.31 t/h (2c))			330.62 t/h			
Producción media de mina para la planta en Ouro Branco:			235.08 t/h			216.58 t/h			
Producción media de desmonte:			80.67 t/h			71.09 t/h			
OTRAS INFORMACIONES OBTENIDAS CON EL SOFTWARE ARENA V. 14									
UTILIZACIÓN Y DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS									
Equipos de Carguío	Cantidad	Utilización	Disponibile						
* M. Mandacaru	1	0.09	0.91						
* M. Antonio Ferreira	1	0.50	0.50						
* Clasificación	1	0.37	0.63						
* M. Osvaldo	1	0.20	0.80						
* M. Grande	1	0.20	0.80						
* Desmonte	1	0.29	0.71						
Equipos de Transporte	Cantidad	Utilización	Disponibile						
* Flota Fillercal	3	0.29	0.71						
* Flota Fillercal	2	0.41	0.59						
* Flota Ouro Branco	2	0.44	0.56						
Equipos de Chancado	Cantidad	Utilización	Disponibile						
* Chancadora Fillercal	1	0.19	0.81						
* Chancadora Ouro B.	1	0.11	0.89						
							Observaciones:		
							(a) Cantidad de camiones		
							(b) Cantidad de excavadoras		

Elaboración propia

5. Conclusiones

A través de la simulación se pueden elaborar modelos que representen de manera más precisa el modelo real de producción, cuyo propósito es predecir el comportamiento de las entidades y analizar los resultados. Además, el modelo permite la visualización del proceso de manera sistemática, integrada y unificada, facilitando el entendimiento y la evaluación del comportamiento de las operaciones ya mencionadas en varios escenarios.

Las conclusiones más importantes a partir del estudio comparativo son las siguientes:

- i) En la simulación se establecieron variaciones en los tiempos y ciclos de rodada, y los resultados de estos escenarios permitieron ajustar la producción programada deseada (tabla 5). Los tiempos empleados en realizar cada actividad que compone el ciclo de producción de los equipamientos de carguío y transporte para el dimensionamiento analítico y estocástico están determinados por cantidades definidas como valor (tabla 3) y funciones de probabilidad (tabla 4). A pesar de que los tiempos de ciclo son diferentes, la producción de la flota determinada con ambos métodos es consistente (tabla 5).
- ii) Al analizar el cálculo de dimensionamiento analítico (determinístico) y la simulación con base en la meta de producción para el año 2017, se concluye que es necesario el uso de seis excavadoras (cuatro CAT 336D y dos CAT 950H para el carguío de mineral y desmonte). Por otro lado, conforme a los resultados obtenidos en la tabla 5, la meta puede ser alcanzada con cuatro camiones: dos para atender la producción de la planta en Fillercal y dos para Ouro Branco. Finalmente, la producción horaria estimada para el dimensionamiento analítico de la planta en Fillercal es igual a 330,62 t/h, y para la planta en Ouro Branco, 216,58 t/h. En cuanto al dimensionamiento determinístico para la planta en Fillercal es igual a 317,71 t/h, y para la planta en Ouro Branco 235,08 t/h (tabla 5).
- iii) Los índices de utilización de los equipos de carguío están relacionados con la cantidad de material producido (requerido). En el dimensionamiento convencional, al considerar los cuatro camiones, el índice de utilización es de 15 % en clasificación, 8 % en chancadora, 9 % en las minas Osvaldo y Grande, 3 % en Mandacaru y 13 % en Antônio Ferreira. Mientras que en el dimensionamiento con simulación con cuatro camiones se tiene 25 % en la clasificación, 28 % en la chancadora, 20 % en las Minas Osvaldo y Grande, 7 % en la Mandacaru y 35 % en Antônio Ferreira. Considerando cinco camiones, se tiene 37 % en la clasificación, 28 % en la chancadora, 20 % en las Minas Osvaldo y Grande, 9 % en Mandacaru y 50 % en Antônio Ferreira. En el dimensionamiento convencional las tasas de utilización de las excavadoras son calculadas de acuerdo con la producción requerida; ya que en la simulación es el *software* el que calcula la capacidad de producción con el uso de cuatro y cinco camiones.

Referencias

- Arena (2007). *Arena® User's Guide*. Rockwell Automation. Estados Unidos de América.
- Bise, C. (2003). *Minning Engineering Analysis*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc (SME).
- Cabral, I. E. (2011). *Simulacao de operacoes mineiras*. Notas de Aula, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral, PPGEM - Escolas de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Dessureault, S. (2009). *Operational equipment technology*. Arizona: Mining and Geological Engineering, University of Arizona.
- Koppe, J. (2007). A lavra e a indústria mineral no Brasil. Estado da arte e tendências tecnológicas. En: Fernandes, F.; Castilhos, Z.; Luz, A. B. y Matos, G. (eds.), *Tendências - Brasil 2015 - Geociências e Tecnologia Mineral, Parte II - Tecnologia Mineral*, Rio de Janeiro: CETEM-Centro de Tecnologia Mineral.
- Noronha, O. (2016). *Simulação e dimensionamento de frota das operações de carregamento e transporte na mineração Calcário Ouro Branco Ltda*. Goiás: Escola de Minas da Universidade Federal de Goiás.
- Núñez, A. E. C. (2011). *Dimensionamento de Equipamentos de Lavra – Apostila*. Departamento de Engenharia de Minas. Universidade Federal de Goiás. Goiás: Catalão, Notas de Aula.
- Pinto, L. R. y Saliby, E. (1999). Sistema para simulação a eventos discretos utilizando Borland Delphi. III Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha (SIMIN).
- Silva, V. C. (2009). *Carregamento e transporte de rochas*. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.
- Sweigard, R. J. (1992). *Materials handling: Loading and Haulage*. Hartman, H. L. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Mining engineering handbook. 2ª edition, volume one. Littleton, Colorado: SME.

