

Estimación de la capacidad de transporte de concentrado requerido en una empresa minera

José Carrillo Castillo
jecc.mba@gmail.com



<http://www.dinamica-de-sistemas.com/>
Vensim <http://www.atc-innova.com/>



Toma de Decisiones Jerarquizadas
(20152MBA072S100)

Estimación de la Capacidad de
Transporte de Concentrado
Requerido en Empresa Minera

Profesor: Juan Martín García.
Alumno: José Carrillo Castillo
mail: jecc.mba@gmail.com

Fecha: 29 de julio de 2015

Descripción y Objetivos del Curso

Descripción del curso: El curso permite adquirir el dominio de la creación de modelos de simulación basados en la metodología del System Thinking y la Dinámica de Sistemas de Jay Forrester utilizando el software de simulación Vensim.

Este curso aporta a las áreas de Negocio, Emprendimiento y Gestión del MBA una herramienta que pueden usar los alumnos en su actividad profesional como consultores, asesores y técnicos para empresas privadas o para el sector público. Estos profesionales suelen enfrentarse a problemas débilmente definidos, y en los que se dispone de pocos datos actuales y con frecuencia ninguno histórico. En estas ocasiones, los modelos de simulación basados en Dinámica de Sistemas permiten, trabajando con hipótesis realistas, elaborar propuestas de actuación. Esto se consigue con la ayuda de software que facilita tanto la construcción de los modelos como la realización de simulaciones posteriores.

Objetivos del Curso: Al finalizar el curso el alumno es capaz de:

1. Realizar una síntesis de un problema complejo.
2. Diagnosticar la evolución del sistema analizado.
3. Crear un modelo del sistema e introducirlo en el ordenador.
4. Realizar simulaciones con el modelo, orientadas a hacer propuestas de actuación.

1._ ANTECEDENTES DEL CASO

La minería es una industria de altos volúmenes, en el caso del Cobre los más altos del mundo, lo que implica una serie de dificultades técnicas en varios ámbitos.

En este trabajo se abordará la problemática del almacenamiento intermedio que existe luego que se produce el concentrado de cobre, posterior al proceso de mina, Chancado, molienda, flotación y filtrado, lo que genera un concentrado de un 30% de ley de Cobre con un porcentaje de humedad del orden del 9%.

La empresa en la que se desarrolla el caso transporta a Puerto para embarque y a una fundición cercana toda su producción de concentrado en camiones por carretera pública.

Todo el proceso minero es con recursos propios de la empresa, pero el transporte en camiones corresponde a un contrato de servicios con una empresa de transporte, el que puede tener variaciones en cuanto a la disponibilidad de camiones para el transporte del producto.

La capacidad de almacenamiento máxima es de sólo 2,000 toneladas de concentrado, por lo que si este valor se alcanza, es posible llegar a parar la planta concentradora por este motivo, lo que implica altos costos por no producción.

Por el lado de la empresa minera, las variables de tonelaje de mineral y la ley proveniente de la mina, son variables que pueden cambiar en el periodo dentro de ciertos márgenes, lo que afecta la producción de concentrado y por lo tanto la necesidad de transporte. Estas variables son predecibles dentro de ciertos niveles, pero generan una incertidumbre en el resultado.

DATOS PARA EL MODELO

La Planta de conminución recibe diariamente un promedio de cien mil (100,000) toneladas de mineral de la mina, con una ley promedio de 1% de Cobre, principalmente como Calcopirita, que es la especie más común en Chile dentro de los sulfuros de Cobre, este mineral entra a la sección de Chancado y luego a molienda donde su tamaño es disminuido a niveles de arena o polvo. Este material, sin pérdidas de la masa original, es transportado a la planta Concentradora mediante tuberías en forma de pulpa, con un porcentaje de sólidos promedio del orden del 55%. En la planta concentradora se produce la separación o Concentración de la especie de interés, por lo que en el proceso de flotación se separa el concentrado de cobre que llega a una ley muy estable del orden del 30% Cu promedio y se descarta un desecho denominado relave a un tranque de acopio de este material, que tiene una ley, también muy estable, en torno al 0,1% Cu promedio.

El cálculo de la producción de concentrado se estima mediante las siguientes fórmulas:

Ley de Mina: LM

Ley Concentrado: LC

Ley Relave: LR

Tonelaje Mineral: TM

Razón de Concentración: $RC = (LC - LR) / (LM - LR)$

Tonelaje de Concentrado Producido = TM / RC

La empresa minera tiene actualmente un contrato de servicio con una empresa de transporte para el transporte de concentrado, el que considera:

Número de camiones totales: 24

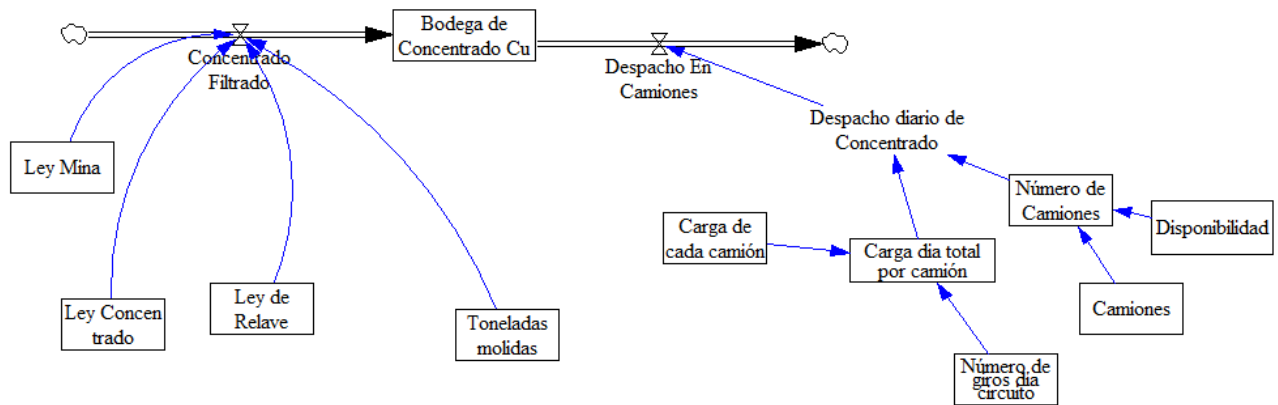
Disponibilidad de los camiones: 92,9%

Capacidad de carga de cada camión: 27 toneladas

Número de vueltas de cada camión en un día: 5 promedio

DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO

A continuación se presenta el diagrama de flujo de las relaciones del modelo, el cual ha sido construido en el software de simulación Vensim.



Detalle de las Ecuaciones del Modelo

(1) Ley Mina = 1% Cu

(2) Ley Concentrado = 30% Cu

- (3) Ley de Relave = 0,1% Cu
- (4) Toneladas molidas = 100.000 ton/día
- (5) Concentrado filtrado = Toneladas molidas/((Ley Concentrado-Ley de Relave)/(Ley Mina-Ley de Relave))
- (6) Bodega de Concentrado de Cu = Concentrado Filtrado-Despacho En Camiones, con valor inicial = 0.
- (7) Despacho En Camiones = Despacho diario de Concentrado.
- (8) Número de giros día circuito = 5 vueltas/día.
- (9) Camiones = 24 camiones.
- (10) Disponibilidad = 92,9%
- (11) Carga de cada camión = 27 toneladas.
- (12) Carga día total por camión = Carga de cada camión*Número de giros día circuito
- (13) Número de camiones = Camiones*Disponibilidad
- (14) Despacho diario de Concentrado = Carga día total por camión*Número de Camiones.

El Setting del modelo se creó para simular un mes de 30 días:

Model Settings

Time Bounds | Info/Pswd | Sketch | Units Equiv | XLS Files | Ref Modes

Time Boundaries for the Model

INITIAL TIME = 0

FINAL TIME = 30

TIME STEP = 1

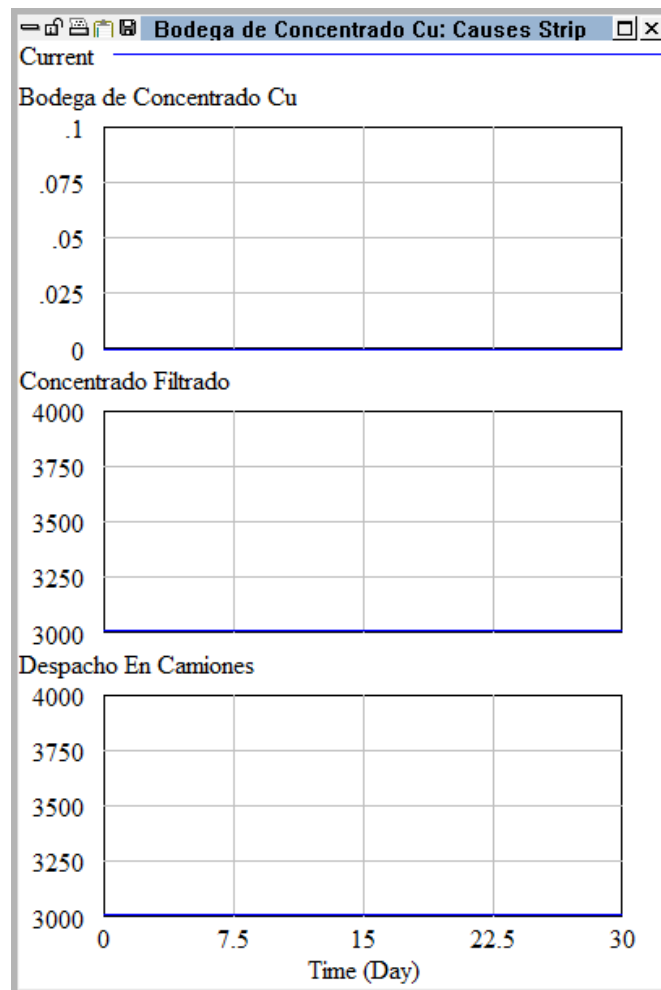
Save results every TIME STEP
or use SAVEPER =

Units for Time Day

Integration Type Euler

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En una primera instancia se presentará el resultado del modelo sin incluir incertidumbre en las variables, para efectos de mostrar el efecto de este cambio, que se asemeja de mejor manera a la realidad a posterior:



Como era esperable, las variables principales se encuentran en equilibrio, al producirse un promedio de 3,010 toneladas de concentrado diariamente y la misma cantidad es transportada, por lo que la acumulación en la bodega es cero.

Para considerar el efecto de la variabilidad esperada en las variables de proceso se cambiaron algunas fórmulas. Básicamente algunos valores que en la versión cero se consideraron constantes, ahora se cambiaron por una función aleatoria con distribución normal. Las variables que en el proceso son de una variabilidad esperada que puede afectar el proceso y que se cambiaron fueron:

Ley Mina = RANDOM NORMAL(0.4, 1.6, 1, 0.2, 1)

Toneladas molidas = RANDOM NORMAL(80000, 120000 , 100000 , 10000 , 100000)

Disponibilidad = RANDOM NORMAL(0.86 , 1 , 0.93 , 0.5 , 0.93)

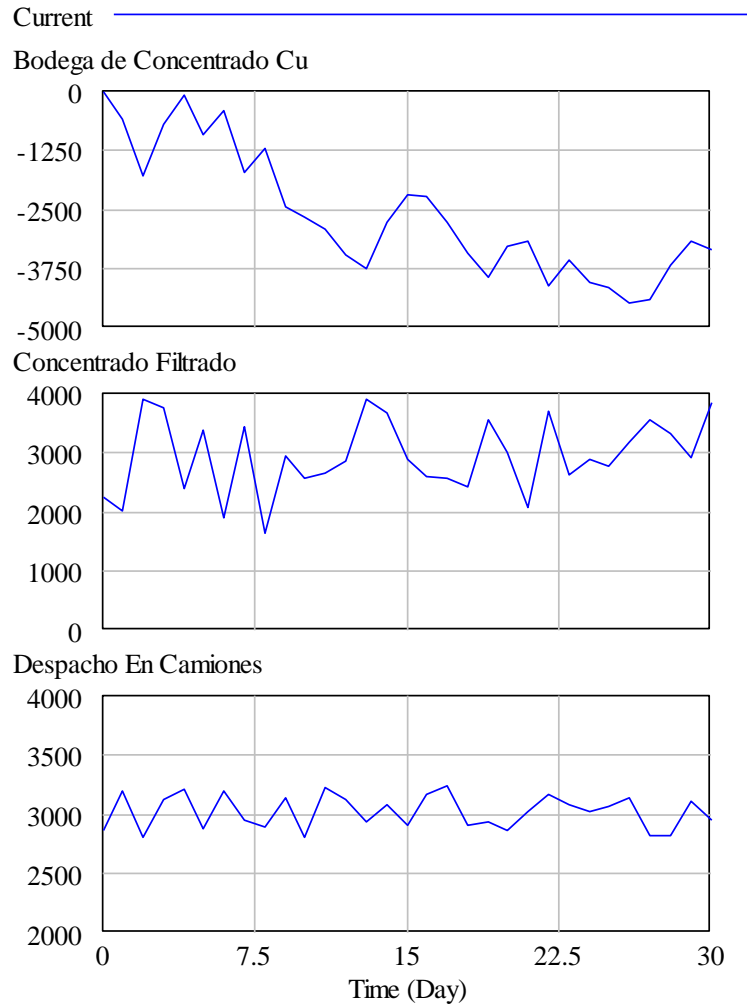
Estas variables se seleccionaron por ser las de mayor volatilidad en el proceso, ya que las otras son bastante estables.

La función estocástica utilizada tiene los siguientes parámetros:

RANDOM NORMAL({min} , {max} , {mean} , {stdev} , {seed})

Los valores de mínimo, máximo y desviación estándar, son los básicos en este tipo de funciones, el valor seed es sólo un valor de inicio para que la función parta generando los valores aleatorios.

Los resultados, y el efecto de considerar esta volatilidad en las variables principales se muestran en el siguiente set de gráficos:



CONCLUSIONES

Tal como se mencionó al inicio de este trabajo, la minería es una actividad de altos volúmenes, lo que implica altos costos por detenciones.

En este trabajo se utilizó la técnica de simulación adquirida en la clase para modelar uno de los procesos que generan alta incertidumbre en el resultado ed la operación, como es el despacho e concentrado.

En una primera instancia, se modelo de forma determinística el proceso, llegándose a estimar que a una producción de 3,010 toneladas de concentrado diarias, una

capacidad de despacho o transporte de la misma magnitud, mantiene el almacén o bodega de concentrado en equilibrio y sin acumulación.

Como es sabido, estas condiciones no son reales, ya que algunas variables presentan una volatilidad, propia de sus procesos. En el caso se analizó la variabilidad de las variables de ley mina, tonelaje molido y disponibilidad de camiones, que son, dada la experiencia del autor de este trabajo, las de mayor incidencia en cuanto a volatilidad en el sistema.

Los resultados muestran, que la bodega de concentrado nunca acumula (tiene valores negativos realmente) por lo que el riesgo de sobrepasar el límite de almacenamiento y detener la planta es muy bajo, con la capacidad actual de transporte, por lo que es posible explorar la posibilidad de disminuir la cantidad de camiones y bajar el costo del actual contrato, dadas las condiciones actuales de baja del cobre en el mercado mundial.

La explicación de este comportamiento, el autor lo entiende por el efecto de la diferencia de volatilidades entre la variable de entrada, que acumula el efecto de dos variables aleatorias con desviaciones estándar importantes y la de salida en el sistema, entendiéndose que la de menor volatilidad (salida) es más eficiente, además del efecto del redondeo de algunos valores que pueden afectar el balance de masa global del sistema.

Los resultados han sido satisfactorios y pueden generar un beneficio económico real, por lo que se consideran un éxito y abren la posibilidad de mejorar la modelación y aplicar en otras áreas que tienen una problemática similar.

Dinámica de Sistemas

<http://www.dinamica-de-sistemas.com/>



Vensim

<http://www.atc-innova.com/>

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



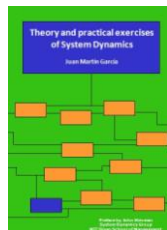
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



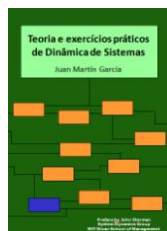
[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)