



MODELADO DE BANDAS TRANSPORTADORAS EN PARALELO EN MINERÍA DE SUPERFICIE



Juan Guillermo Londoño Loaiza¹

Resumen

A medida que las minas se vuelven cada vez más profundas, las operaciones mineras enfrentan mayores costos operativos y desafíos en escenarios más complejos. Aspectos como los costos de energía, escasez de equipos y mano de obra, y la huella de carbono fomentan la utilización de los sistemas de bandas transportadoras con trituradora. Sin embargo, a pesar del hecho de que se considera un posible sistema minero alternativo, su viabilidad aún es muy discutida. Esto se debe a su mantenimiento riesgoso, operatividad crítica, alta productividad esperada y falta de flexibilidad de planificación. Las operaciones de bandas transportadoras requieren una gran inversión inicial en comparación con otros sistemas de minería, como el transporte de camiones y palas. Por lo tanto, se espera que opere continuamente con la mayor productividad posible para ser una opción más rentable.

Como resultado, la investigación evalúa configuraciones alternativas de bandas transportadoras para mejorar la productividad del sistema. Esto es posible mediante la sustitución de una línea de cinta transportadora, por un sistema de cintas transportadoras en paralelo con una dragalina (Excavadora) y una trituradora. En consecuencia, se lleva a cabo un modelo de confiabilidad para simular el rendimiento de la maquinaria y compararlo con su sistema de bandas transportadoras con una única cinta transportadora.

Palabras clave: Confiabilidad, Disponibilidad, Utilización, Productividad, Bandas transportadoras.

¹ MPhil Ingeniero Mecánico, Investigador externo, University of Queensland, juanguilo03@gmail.com



Introducción

La industria minera actual se enfrenta a varios desafíos a medida que expanden sus operaciones, convirtiéndose en escenarios más complejos. Para superar esos desafíos, las organizaciones deben mejorar constantemente la rentabilidad de sus sistemas productivos. Una de las principales preocupaciones en las operaciones de minas de carbón a cielo abierto es el costo del transporte de camiones que puede representar aproximadamente el 40% de los costos totales en una mina de carbón típica (Koehler, 2003). Situaciones como: mayores distancias de transporte, eliminación de mayor cantidad de material y costos de energía están presentes en la minería actual (The shell company of Australia & CSR Limited, Dragline loading into Hopper/Crusher/Conveyor/ system for prestripping, 1990).

Como resultado, se considera que los sistemas de manejo continuo de materiales proporcionan un sistema de minería más rentable. La aplicación de bandas transportadoras con trituradoras son una alternativa para las operaciones de minería a cielo abierto. Esto ofrece un menor costo por metro cúbico, mayor capacidad de producción, continua operación, mejor seguridad y menor impacto ambiental (Moore, 2010). Sin embargo, la principal ventaja de instalar sistemas de bandas transportadoras es que ofrece bajos costos de operación que, a su vez, amortizarán sus altos gastos de capital y serán más rentables que el transporte de camiones / palas (The shell company of Australia, Further evaluation of dragline hopper concepts, 1991).

Sin embargo, esos ahorros de costos operativos reducidos dependen del rendimiento de los sistemas. Por ejemplo, si el sistema de bandas transportadoras no funciona como se espera y no se logra la productividad, su viabilidad estaría en riesgo. El presente estudio introduce una investigación adicional de un sistema continuo para fines de extracción de tierra en minas de carbón a cielo abierto. Su objetivo es proporcionar una mayor confiabilidad, disponibilidad y utilización del sistema, lo que luego aprovechará una mayor productividad del sistema y facilitará la planificación de la mina. Para lograrlo, se lleva a cabo un modelo de confiabilidad asistido por el software "Availability Workbench 2009" para determinar el tiempo de actividad del sistema con el fin de simular el funcionamiento del sistema y establecer su viabilidad de instalación. Para obtener los KPI del sistema, se recopilan datos de varias fuentes, tales como distribuciones de probabilidad de fallas de maquinaria de sistemas de operaciones mineras similares.

El sistema consta de un sistema de cintas transportadoras en paralelo conectado a una dragalina como máquina de excavación. Se realiza una simulación asistida por el software de "simulación de dragalina 3D-Dig" para determinar el mejor escenario para su funcionabilidad junto con la estación de trituración. Luego, se determina si es factible utilizar sistemas de cintas transportadoras en paralelo para aplicaciones de remoción de material.



Metodología

Modelado de confiabilidad de transportadores paralelos: Para modelar la confiabilidad de los sistemas de bandas transportadoras en paralelo con trituradora, deben definirse aspectos como el número de secciones de bandas, la longitud y la dirección de las rutas de transporte. Estas características se han establecido para las configuraciones de transporte en paralelo. Se supone que la distancia de transporte no afecta la confiabilidad del sistema. Mientras tanto, el factor principal que afecta la confiabilidad de los sistemas con respecto a las cintas transportadoras es el número de secciones de cintas de transporte instaladas. Por lo tanto, se elaboran modelos de confiabilidad para configuraciones de bandas transportadoras de 3, 4 y 5 secciones de líneas tanto en paralelo como en líneas singulares para comparar el rendimiento de cada una de las configuraciones.

Uso de Software: Para realizar el análisis de confiabilidad de cintas transportadoras en paralelo, se utilizó el software Isograph Availability Workbench (AWB). Para el alcance de este estudio, el módulo "AWB" se utiliza para la simulación de disponibilidad de las configuraciones del sistema.

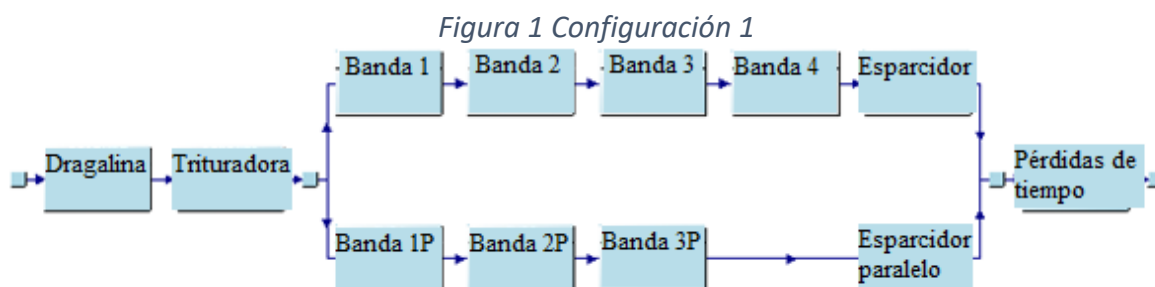
Retrasos en el proceso: La variable de retrasos del proceso (bloqueo) representa el porcentaje de varios tipos de pérdidas de tiempo. Estas pérdidas de tiempo se toman de una estimación típica del tiempo de funcionamiento de bandas transportadoras con trituradora (Harcus, 2011). El porcentaje asignado para cada retraso operativo representa el porcentaje del tiempo calendario cuando el sistema no funciona debido a esa característica operativa. El tiempo asignado para los retrasos del proceso se ha clasifica de la siguiente manera:

- Clima / Tormentas o niebla 3%
- No tripulado 1%
- Entrenamiento de seguridad 1%
- Descanso de comida 2%
- Cambio de turno 3%
- Traslados de transportadores 1%
- En espera 1%
- Abastecimiento de combustible / controles 2%
- Posicionamiento del cable 2%
- Posicionamiento del equipo 6%
- Esperar topadora / Limpiar 3%

El porcentaje total de las pérdidas de tiempo suma el 25% del tiempo calendario. Como resultado, este es el valor representado por los retrasos en el proceso en cada modelo de confiabilidad.



Modelo de confiabilidad 1: Teniendo en cuenta la ubicación de dos vertederos de material, el siguiente modelo se ha desarrollado asistido por el software AWB, en el cual se modelan tres bandas transportadoras en paralelo y una adicional para llegar al segundo vertedero.



La figura 1 muestra la configuración de confiabilidad del sistema en paralelo para dos vertederos en diferentes ubicaciones. Cada bloque define un componente del sistema paralelo. Como ejemplo, el primer bloque en el lado izquierdo es la máquina de dragalina seguido por el bloque de estación trituradora. Las dos líneas de cintas transportadoras representan la redundancia del sistema. Cada bloque es una máquina compleja que involucra varios elementos que operan juntos para realizar la función de toda la máquina. Por lo tanto, se analizan los principales componentes de cada máquina para extender la influencia de estos elementos a todo el sistema en paralelo.

En cada bloque se ubican los eventos de los principales componentes de cada máquina. Estos eventos corresponden a fallas que causan la parada de toda la máquina y, por lo tanto, la falla de todo el sistema. Como resultado, estos eventos son monitoreados y analizados para estudiar el desempeño de todos ellos como un sistema combinado. Las fallas incluidas en el presente estudio fueron analizadas estadísticamente con distribuciones de tipo Weibull. Los parámetros de la distribución estadística se obtuvieron de un sistema de minería similar de minería de roca dura (Madariaga & Pascual, 2011).

Como resultado, se obtuvieron estimaciones de los parámetros de Weibull ejecutando varias simulaciones en AWB variando los parámetros de Weibull de cada evento, considerándose como un enfoque apropiado para el propósito de esta investigación. Los parámetros de Weibull de cada componente se resumen en la tabla 1.



Tabla 1 Parámetros de distribución Weibull de eventos de falla

IPCC System		Weibull distributions parameters			
IPCC Component	Primary events	Beta	Eta	Gamma	MTTR
		β	η	γ	
		Form Factor	Scale factor	Failure free time	
Belt Conveyor	Conveyor_Takeup	0.48	36.99	0	0.3
	Conveyor_Electrical	0.7	31.04	0	0.6
	Conveyor_Mechanical	0.64	50.96	0	1.0
Spreader	Spreader_Mechanical	0.5	72.97	0	1.0
	Spreader_Crawler	0.47	236.77	0	0.3
	Spreader_Hydraulic	0.66	307.32	0	0.7
	Spreader_Electrical	0.47	39.45	0	0.7
Crusher	Crusher_Failure	1	18.7	0	2.0
Dragline	Dragline_Failure	1	13.5	0	3.0
		Lognormal distribution parameters			
		μ	σ		
		Mean	Standard deviation		
Process Delays	Process_Delays	6.9	5.5		1.0

Simulación de disponibilidad: La simulación del software AWB es una simulación de Monte Carlo para analizar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas. Se consideran las variables correspondientes a los parámetros de las funciones de distribución Weibull. Para las simulaciones de los sistemas de bandas transportadoras con trituradora, se utilizaron los siguientes datos:

- Varias simulaciones para obtener valores precisos
- Tiempo de operatividad: 1 año (8760 horas)
- Número de simulaciones: 100

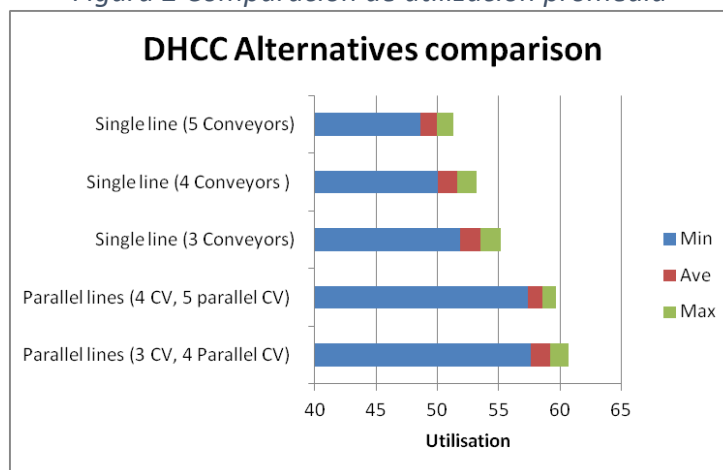
La tabla 2 resume los resultados obtenidos de la utilización promedio de todas las configuraciones de las bandas transportadoras. Los valores se han agrupado con sus valores mínimos, medios y máximos respectivamente.

Tabla 2 Utilización promedio de los sistemas

Configuración de bandas transportadoras	Utilización máxima promedio (%)	Utilización mínima promedio (%)	Utilización media promedio (%)
5 bandas una línea	59.3	47.0	53.1
4 bandas una línea	61.2	49.0	55.1
3 bandas una línea	62.7	51.8	57.2
4 bandas en paralelo	68.9	55.5	62.2
5 bandas en paralelo	68.7	57.6	63.1



Figura 2 Comparación de utilización promedio



Modelo Económico: Para calcular la productividad y la viabilidad del sistema paralelo y del sistema singular existen varios aspectos que se deben considerar: costos operacionales, costo de capital y la productividad de la dragalina. Por lo tanto, los costos operativos y de capital se basan en el sistema de bandas transportadoras incluyendo la planta trituradora y el esparcidor. Las utilidades medias de los sistemas de todas las configuraciones se muestran en la tabla 2. La diferencia de utilización de los sistemas entre el valor máximo y mínimo de cada resultado generalmente varía alrededor del 10%.

Se calcula el costo unitario equivalente (EUC por sus siglas en inglés), en el cuál se tienen en cuenta la productividad en toneladas, los costos operativos y costos de inversión de cada configuración. La figura 3 muestra gráficamente cómo se calcula el EUC y qué variables se tienen en cuenta. En la figura 3, el nodo de color naranja representa un número constante, que en este caso son las horas anuales calendario. Los nodos de color azul claro representan los valores de entrada al modelo económico. Los nodos de color azul oscuro, a su vez, representan los aspectos principales para calcular los costos operativos, costos de capital y la productividad. Por último, los nodos de color verde representan las tres características principales para calcular el costo unitario equivalente.

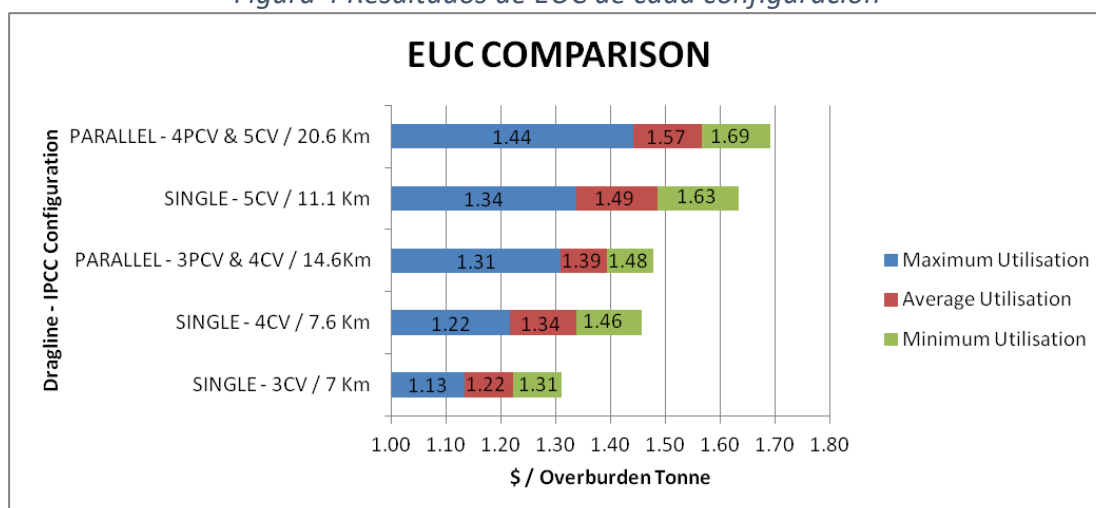
```

graph TD
    CH[Calendar Hours] --> PD[Process Delays]
    CH --> CM[Crusher Maintenance]
    CH --> DSM[Discharging System Maintenance]
    CH --> C[Maintenace]
    PD --> RM[Reliability Model]
    RM --> SU[Systems Utilisation]
    CM --> SUMT[Scheduled & Unscheduled Maintenance Time]
    DSM --> SUMT
    C --> SUMT
    SUMT --> PT[Productive Time]
    SU --> PT
    PT --> P/T[Productivity / Tonnage]
    DP[Dragline Productivity] --> P/T
    P/T --> EUC{{Equivalent Unit Cost}}
    CP[Crushing Power] --> OP[Operating power]
    CSP[Conveying System Power] --> OP
    DSP[Discharging System Power] --> OP
    DSC[Discharging System Consumables] --> OC[Operating Consumables]
    CSC[Conveying System Consumables] --> OC
    CPC[Crushing Plant Consumables] --> OC
    OP --> OC
    OC --> OP-C[Operating Costs]
    OL[Operating Labour] --> OP-C
    ML[Maintenance Labour] --> OP-C
    OP-C --> NPV-OC[NPV - Operating Costs]
    CI[Capital Investment] --> NPV-CC[NPV - Capital Costs]
    CRP[Crushing Plant] --> CI
    CS[Conveying System] --> CI
    DS[Discharging System] --> CI
    NPV-OC --> EUC
    NPV-CC --> EUC
    CR[Labour] --> OL
    CL[Crusher Labour] --> OL
    CVL[Conveyors Labour] --> OL
    SPL[Spreader Labour] --> OL
    S[Supervisors] --> ML
    CR[Control Room] --> ML
    CM[Crusher Maintainers] --> ML
    CVM[Conveyors Maintainers] --> ML
    DSM[Maintainers] --> ML
  
```

La figura 4 muestra los resultados del costo unitario equivalente para cada configuración. Se aprecia que el EUC aumenta con los sistemas de bandas de transporte en paralelo, dando como más económica la opción de sistemas de líneas singulares. Sin embargo, es necesario incluir el valor de la tierra removida con respecto al valor de venta de la tonelada de carbón con el fin de calcular la producción de carbón de cada uno de los sistemas de bandas transportadoras.



Figura 4 Resultados de EUC de cada configuración



Se utilizaron los siguientes datos para calcular la diferencia de productividad en dinero de cada sistema:

- Precio de venta de la tonelada de carbón metalúrgico de A\$100
- La relación de la cantidad de tierra removida necesaria para extraer una tonelada de carbón. La relación utilizada es de 8:1, en el caso de minas de carbón a cielo abierto.

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos. Considerando que el precio de venta de la tonelada de carbón metalúrgico es variable, este análisis indica que mientras el precio del carbón metalúrgico sea superior a 20,00 A\$/t, el sistema de transporte paralelo es una alternativa más rentable. También debe tenerse en cuenta que un precio del carbón metalúrgico de 100,00 A \$ / t es una visión pesimista ya que el precio actual es superior a 200,00 A \$ / t (junio de 2012).

Tabla 3 Diferencia de valor

Comparación de sistemas en paralelo y línea singular				
Resultados			Configuración	
	Uni.	Supuestos	Singular	Paralelo
Producción de Tierra removida	Mt		203	240
EUC	\$/t		1,22	1,39
Valor de la tierra removida	\$/t	Relación 8:1	12,50	12,50
Valor total (millones)	\$	Precio tonelada	2.289	2.666
Diferencia (Millones)	\$			376
Punto de equilibrio		Precio tonelada A\$20	0,00	0,00



Conclusiones

- Se demostró que una configuración de transporte paralelo es capaz de mejorar la productividad de los sistemas entre un 9,4 y un 12,6% mediante la simulación de dos modelos de confiabilidad para alternativas de transporte en paralelo.
- Los sistemas de transporte en paralelo representan un EUC más alto que los sistemas de transporte de las bandas singulares. Esto significa que, a pesar de que los sistemas de transporte en paralelo son más costosos que los transportadores individuales, esta configuración es más rentable ya que ofrece una mayor remoción de tierra.
- Este tipo de investigación aplicada da la base para la toma de decisiones ajustadas a la realidad en las que se desarrolla la minería de carbón, en particular a lo que se refiere a la extracción de tierra o de material en minas de cielo abierto.



Referencias

- Harcus, M. (2011). Back to the future. *Mining Magazine*, 45-59.
- Koehler, F. (2003). Economical and environmental operation of open cut mines. *Fifth Large Open pit mining Conference*, (pp. 1-5).
- Madariaga, R., & Pascual, R. (2011). Optimisation of production lines using asset management. *MAPLA*. Santiago.
- Moore, P. (2010). A new dawn for IPCC. *Mining Magazine*, 8-13.
- The shell company of Australia. (1991). *Further evaluation of dragline hopper concepts*. National Energy Research, Development and Demonstration Council.
- The shell company of Australia, & CSR Limited. (1990). *Dragline loading into Hopper/Crusher/Conveyor/ system for prestripping*. National Energy Research, Development and Demonstration Council.