
ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE BANDAS TRANSPORTADORAS EN PATIOS DE ALMACENAMIENTO EN EMPRESAS DE MINERÍA DE CARBÓN CON SIMULACIÓN DISCRETA Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS

ANALYSIS OF IMPLEMENTATION CONVEYOR SYSTEMS IN STORAGE YARDS IN COAL MINING COMPANIES WITH DISCRETE SIMULATION AND DESIGN OF EXPERIMENTS

Rodrigo A. Gómez M.¹ & Alexander A. Correa E.

1. M Sc., Docente Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, 2. Ph D., Profesor, Universidad Nacional de Colombia, ragomez@elpoli.edu.co, rodrigomez1986@gmail.com, alcorrea@unal.edu.co

Recibido para evaluación: 10 de Marzo de 2010 / Aceptación: 1 de Julio de 2011 / Recibida versión final: 12 de Julio de 2011

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo proponer un enfoque metodológico para el diseño de bandas transportadoras como equipo de manejo de materiales en las operaciones de un patio de almacenamiento de carbón basado en el uso de las técnicas cuantitativas de diseño de experimentos y simulación discreta orientada a objetos. Para alcanzar el objetivo propuesto, se consideran los siguientes aspectos en el ámbito de la minería del carbón en Colombia: cadena de suministro, logística, gestión de almacenes, patios de almacenamiento y bandas transportadoras. Como conclusión del artículo, se puede indicar que las operaciones del patio de almacenamiento tienen un impacto directo en la satisfacción de los clientes y la eficiencia de la logística de la minería del carbón, de allí la importancia del uso de equipos de manejo de materiales mecánicos como las bandas transportadoras. Finalmente, se identificó que el uso del diseño de experimentos y la simulación discreta orientada a objetos, aumentan las capacidades de diseño o mejoramiento de las bandas transportadoras, ya que el primero permite identificar y evaluar que factores afectan el tiempo promedio de traslado o transporte del carbón en el patio de almacenamiento; por su parte, la simulación permite representar en 3D, los diferentes experimentos apoyando de esta manera una toma de decisiones eficiente.

Palabras Clave: Minería del carbón, logística, patio de almacenamiento, banda transportadora, simulación discreta, diseño de experimentos.

ABSTRACT

This paper aims to propose a methodological approach to the design of conveyors and material handling equipment in the operations of a coal storage yard based on the use of quantitative techniques Design of Experiment and object-oriented discrete simulation. To achieve this objective, we consider the following aspects in the field of coal mining in Colombia: supply chain, logistics, warehouses, storage yards and conveyors. Concluding the article, you can specify that the storage yard operations have a direct impact on customer satisfaction and efficiency of the logistics of coal mining, hence the importance of using material handling equipment mechanics as conveyor belts. Finally, it was found that the use of experimental design and object-oriented discrete simulation, increase design capabilities or upgrading conveyor belts, as the first to identify and evaluate which factors affect the average time of shipment or transport of coal storage yard, for its part, the 3D simulation allows to represent the different experiments, thereby supporting effective decision making.

Keywords: Coal mining, logistics, storage yard, conveyor belts, discrete simulation, experiments design

1. INTRODUCCIÓN

En la última década la minería del carbón en Colombia ha cobrado importancia por la participación que esta tiene en la economía nacional y aporte en el volumen de las exportaciones, lo cual, ha conllevado a que el Estado formule y fortalezca las políticas y estrategias que mejoren la productividad y competitividad del sector.

Los conceptos de cadena de suministro y logística en la minería del carbón pueden ser considerados como estrategias para que las empresas en Colombia aumenten la productividad y competitividad antes descrita, ya que la primera es la base para la gestión de las relaciones con los proveedores, procesos mineros internos y clientes. Por su parte, la logística a través de procesos de aprovisionamiento, gestión de almacenes, transporte y logística inversa, los cuales, permiten el funcionamiento de la cadena de suministro, una operación eficiente y satisfacción de las necesidades de los clientes de una manera eficaz. Respecto a los patios de almacenamiento en la minería del carbón, estos cobran importancia debido a que no solo permite almacenar y proteger el carbón, después de las operaciones de extracción y beneficio, sino también despachar los pedidos de los clientes de manera adecuada. Debido a la importancia de los patios de almacenamiento, cobra importancia que este se diseñe y opere de manera eficiente, lo cual, hace necesario el uso de equipo de manejo de materiales mecánicos o automatizados, Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC's), entre otros aspectos.

Por los motivos expuestos, el presente artículo tiene como objetivo proponer un enfoque metodológico para el diseño de bandas transportadoras como equipo de manejo de materiales en las operaciones de un patio de almacenamiento de carbón basado en el uso de las técnicas cuantitativas de diseño de experimentos y simulación discreta orientada a objetos, lo cual, debe permitir a investigadores, estudiantes o profesionales interesados en el tema desarrollar un enfoque cuantitativo de análisis, diseño o mejoramiento de patios de almacenamiento.

La metodología utilizada para desarrollar consiste en la revisión y análisis de información científica, sectorial y comercial relacionada con aspectos como: el sector de la minería del carbón en Colombia, su cadena de suministro y logística, para posteriormente describir las generalidades, operaciones, recursos y el uso de las bandas transportadoras en los patios de almacenamiento. De otro lado, se desarrolla un caso de aplicación genérico con datos hipotéticos en el cual, se describen las operaciones de un patio de almacenamiento de una empresa de minería del carbón, para posteriormente desarrollar el estudio de diseño de experimentos y simulación discreta para diseñar una banda transportadora que permita su manipulación.

2. MINERÍA DEL CARBÓN EN COLOMBIA, RELACIÓN CON SU CADENA DE SUMINISTRO Y SISTEMA LOGÍSTICO

En los últimos 8 años la minería en Colombia ha generado impactos sociales y económicos, los cuales, se representan en situaciones cuantificables como inversiones en exploración, crecimiento en actividades de explotación, producción y aumento en volúmenes de exportación, especialmente para el mineral del carbón, que alcanzó un nivel de 74.350.000 Toneladas aproximadamente durante el 2010 (SIMCO, 2010a).

La estructura del sistema minero colombiano, se encuentra dividido en 34 distritos, los cuales, están conformados por un municipio o grupos de éstos que se distinguen por: a) el tipo de material mineral y el volumen de producción, b) el grado de concentración minera frente a zonas relativamente homogéneas y uniformes, y c) la tradición minera de las comunidades locales y regionales (UPME, 2005). De los diferentes distritos, los más representativos para la minería nacional son: La Jagua(carbón), Barrancas(Carbón), Municipio de Bogotá (Materiales de construcción), Paz del Rio (Materiales de Construcción y Mineral de Hierro), Átaco-Payande(Materiales de Construcción y Calizas), Amagá(Carbón y Arcillas), entre otros.

El subsector del carbón es considerado uno de los más importantes del país, ya que este ha venido alcanzado crecimientos sostenidos de un 8% desde el 2007 generando, un valor agregado a la economía de 1.3 billones de pesos en términos

reales, lo cual, la consolida como el producto más representativo de la canasta minera colombiana, con una participación aproximada del 55% del PIB minero (SIMCO, 2008).

Los distritos mineros con mayor participación en la explotación de carbón térmico y metalúrgico, se encuentran ubicados en los departamentos de la Guajira, César, Boyacá, Cundinamarca, Santander, Córdoba Norte de Santander, Antioquia y Valle del Cauca (Minercol,2004). Respecto a la producción a 2010, estos presentan las siguientes cifras en KTON(ver Figura 1):

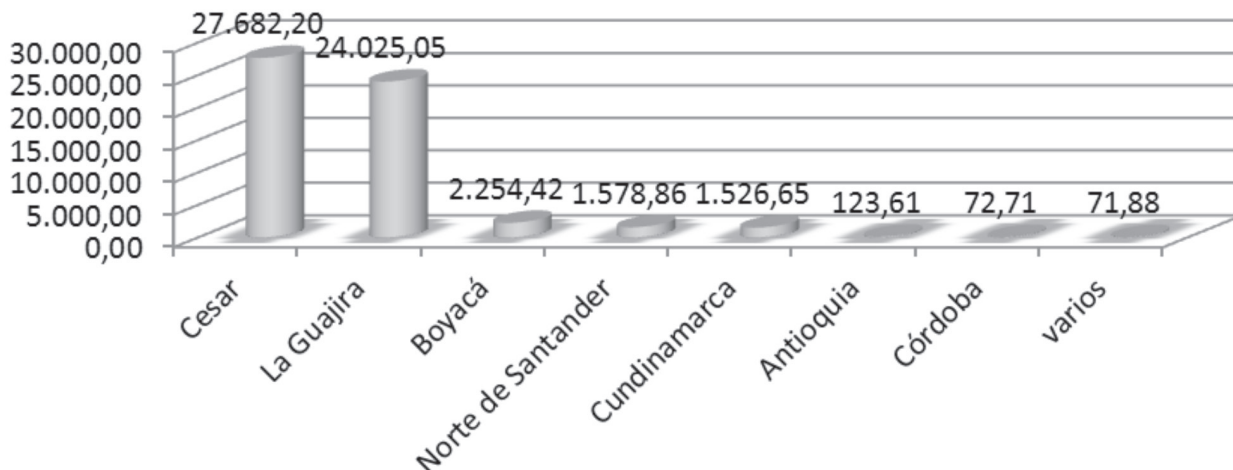


Figura 1. Producción de Carbón por departamento (KTON) Fuente: (SIMCO, 2010)

De los diferentes departamentos, se identifica que el Cesar y la Guajira alcanzan un nivel de 51707 KTON, lo cual, representa aproximadamente un 90% de la producción nacional de carbón térmico, lo conlleva a concluir acerca de la importancia de los distritos ubicados en estas regiones, y su impacto económico y social en la minería del país.

Este subsector de la minería en el país, se estructura en un enfoque de cadena de suministro o productiva del carbón, la cual, está según el Ministerio de Minas y Energía (2003) compuesta por un conjunto de empresas bajo la relación comprador-proveedor-comprador, basado en 4 eslabones principales (producción, beneficio y transformación, comercialización y consumo) y varios actores relacionados como proveedores, transportadores, entidades del gobierno, entre otros que permiten obtener el carbón para satisfacer la demanda del mercado (Correa y Gómez,2010)(Arango, Gómez y Zapata,2010).

Por su parte, la UPME (2007), plantea una estructura de cadena del carbón para Colombia, la cual, se compone de diferentes eslabones tales como: exploración, explotación, transformación, exportación, transporte (ver Figura 2)

De la estructura de cadena del carbón para Colombia propuesta por la UPME (2007), se puede indicar que esta cumple de manera general con las características de una cadena de suministro tradicional definida en la literatura académica y científica como:

Conjunto de actividades que se repiten a lo largo del flujo de los productos, mediante los cuales, se transforma la materia prima en productos terminados, y se añade valor al cliente (Ballou, 2004)

Un conjunto de actividades funcionales relacionados con redes de instalaciones, vehículos y sistemas de información logístico que permiten conectar proveedores, fabricantes y distribuidores con el fin que se transformen en productos terminados que intenten satisfacer las necesidades de los clientes (Correa y Gómez, 2009).

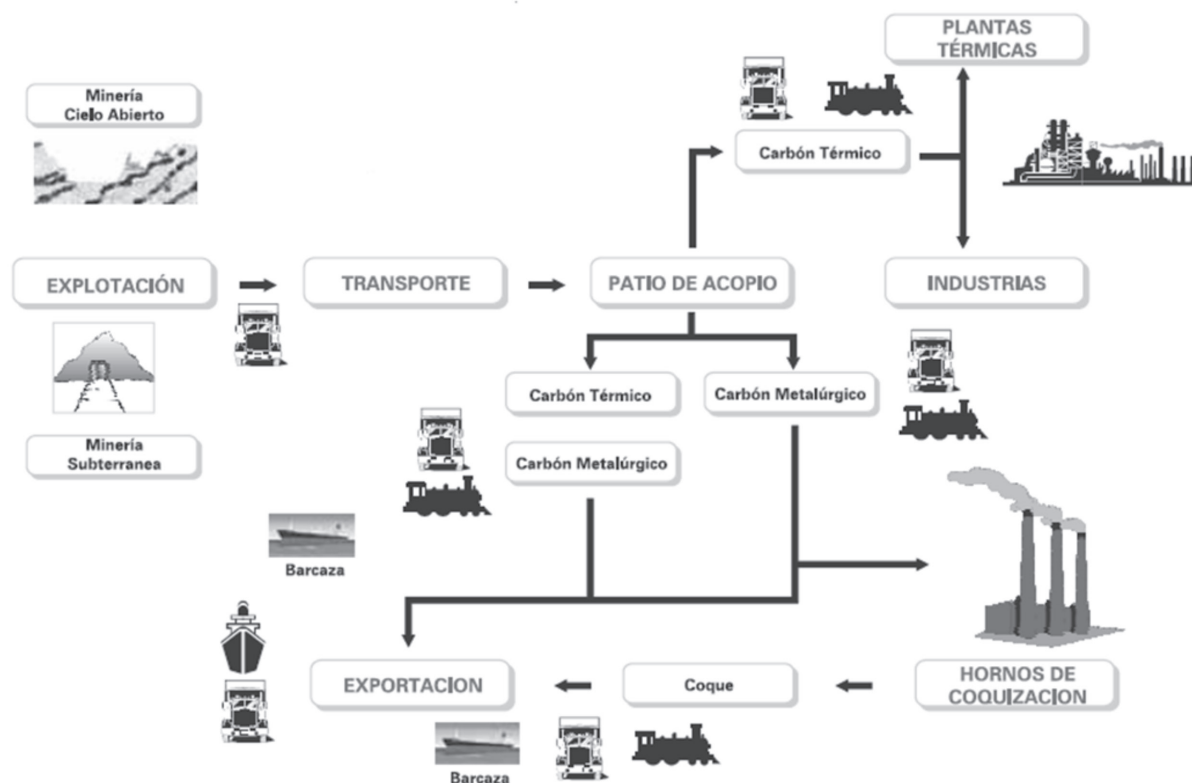


Figura 2. Cadena del Carbón en Colombia - Fuente: UPME (2007)

De la comparación de las dos definiciones con la cadena del carbón, se identifica que esta última representa las actividades e infraestructura relacionadas con la exploración, explotación, transformación, transporte, almacenamiento y comercialización, incluyendo la exportación del carbón. Lo que no se evidencia específicamente, en la cadena propuesta por la UPME (2007), es la secuencia y flujos de información, actores que participan (proveedores, productores, comercializadores, clientes), lo cual, puede considerarse como una oportunidad de mejora, que facilite su gestión. En caso, de requerirse mayor información y análisis sobre el tema revisar los artículos científicos: (Correa y Gómez, 2010b) y (Arango, Gómez y Zapata, 2010).

La logística en la minería del carbón en Colombia puede ser considerada de alto impacto en la productividad, eficiencia y eficacia de las empresas en la cadena de suministro debido a los lugares geográficos y distancias entre proveedores, minas, centros de transformación o beneficio y los clientes, de allí, la importancia que esta sea gestionada eficazmente, incluyendo la coordinación de información, procesos, uso de equipos e infraestructura.

El funcionamiento de la cadena de suministro del carbón, depende de la planeación, ejecución, control y mejoramiento diferentes tipos de procesos o actividades logísticas como: aprovisionamiento, exploración, explotación, beneficio, transformación, gestión de almacenes (insumos, carbón, equipos y herramientas), transporte, distribución y logística inversa (devoluciones, disposición de desechos, entre otros), las cuales, se basan en el flujo de información y productos que permiten para satisfacer las necesidades de los clientes y generar rentabilidad para los actores de la cadena (Correa y Gómez, 2010b).

Finalmente, se debe resaltar la importancia que las empresas relacionadas con la minería del carbón entiendan la importancia de comprender la cadena de suministro, y los procesos logísticos relacionados, lo cuales impactan en los costos, las relaciones con los proveedores y clientes nacionales e internacionales.

3. PATIOS DE ALMACENAMIENTO Y BANDAS TRANSPORTADORAS EN EMPRESAS DE MINERÍA DEL CARBÓN

La gestión de almacenes puede ser considerado un proceso logístico estratégico y crítico en la cadena del carbón, que a través del desarrollo de diferentes tipos de operaciones y uso de recursos contribuye a:

- La adecuada administración y manejo de inventarios de insumos que se reciben a los proveedores.
- Control de equipos y herramientas utilizados en los diferentes procesos
- Protección y gestión de inventario de carbón obtenido de la explotación, beneficio y transformación en patios de almacenamiento
- Centro de distribución o patios de almacenamiento para despachar pedidos a los clientes internos y externos de la empresa.

Dentro de la gestión de almacenes en la minería de carbón, los patios de almacenamiento cobran un papel importante en la regulación de la oferta y demanda, la atención de los pedidos, el adecuado manejo de inventario, costos logísticos y gestión del transporte. Esta situación, se evidencia en la estructura de la cadena de suministro (ver Figura 2), donde dicho patio, se encarga de distribuir el carbón térmico para utilizarse en la industria o exportarse, o para transformar el carbón metalúrgico en coque o comercializarlo a nivel nacional e internacional. Finalmente, se debe clarificar que la gestión del patio de acopio o almacenamiento se convierte en un proceso logístico que permite agrupar el carbón y facilitar el desarrollo de procesos de transporte en el canal de distribución de este mineral estratégico para el país.

En la gestión de almacenes y patios de almacenamiento, específicamente, se pueden desarrollar operaciones como: recepción, acomodo, almacenaje, preparación de pedidos, despacho y *crossdocking*, las cuales, se apoya en el uso de recursos como: personas, montacargas, bandas transportadores, Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC's), entre otros. A continuación, se detallan las operaciones y recursos descritos (ver Tabla 1)

Tabla 1. Operaciones y recursos en los patios de almacenamiento

Operaciones	
Recepción	• Descargar carbón de medios de transporte (camión, banda transportadora, tren, entre otros)(Van Den Berg,2007) • Inspeccionar y verificar que la cantidad y calidad del carbón cumpla con las especificaciones (Frazelle y Rojo, 2007). • Registrar información del carbón en sistema de administración de almacenes o <i>warehouse management system (wms)</i>.
Acomodo	• Mover el carbón desde la operación de recepción hasta la posición de almacenamiento utilizando equipos de manejo de materiales
Almacenamiento	• Guardar, proteger y mantener el carbón en una ubicación física como inventario en espera que sea demandado por el cliente. • Codificar posiciones de almacenamiento y gestionar el inventario del carbón en tiempo real a través del WMS.
Preparación de pedidos	• Recuperar las cantidades y tipo de carbón desde la posición de almacenamiento para preparar los pedidos que permitan atender necesidades de los clientes (Rouwenhorst <i>et al.</i>, 2000). • Trasladar el carbón preparado en el pedido hasta la operación de despacho
Despacho	• Verificar, realizar pesaje y acondicionar el carbón a enviar para atender las necesidades de los clientes. • Preparar documentación y documentación relacionada con el envío. • Realizar cargue del medio de transporte

Crossdocking	• Recibir el carbón que proviene de la explotación, beneficio o transformación y enviarlo directamente a la operación de despacho para atender con estos pedidos de los clientes (Van Den Berg, 2007) • Coordinar operaciones logísticas a través de TIC's como el WMS y el EDI (Electronic Data Interchange)
Recursos	
Personas	Gerentes, supervisores y operarios encargados de planear, ejecutar y controlar operaciones en el patio de almacenamiento.
Equipo de Manejo de Materiales	Permite el traslado, movimiento y manipulación del carbón en el patio de almacenamiento.
	Estos equipos pueden ser clasificados en móviles y fijos.
	Los equipos móviles: montacargas, cargadoras.
TIC's	Los equipos fijos: bandas transportadoras, grúas, entre otros.
	• Permite gestionar la información de las diferentes operaciones y recursos en el patio de almacenamiento.
	• El WMS puede ser considerado una tecnología apropiada, ya que permite capturar información, administrar inventario, uso de recursos, entre otros.
Infraestructura	• Utilización de sistemas de código de barras y RFID
	• Espacios físicos para almacenamiento, recepción, despacho, crossdocking, entre otros.

Fuente: Elaboración propia

La planeación, configuración y control de las operaciones y recursos descritos pueden variar según las características, mercado y logísticas de las empresas mineras, incluyendo la capacitación del personal y capacidad de inversión, de allí, la importancia que estas sean caracterizadas y gestionadas según las necesidades de los clientes, productividad y necesidades empresariales de la compañía.

Respecto al manejo de materiales Langford (2007), indica que estos permiten aumentar la eficacia debido a eficiencia en la confiabilidad y respuesta de los flujos del carbón dentro de las operaciones de la gestión de almacenes realizadas en los patios.

En los sistemas de manejo de materiales en el contexto de los patios de almacenamiento pueden clasificarse en tres tipos: sistemas manuales, mecanizados y automatizados (Langford, 2007) (Hiregourdar y Reddy, 2007) (ver Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de sistemas de manejo de materiales con enfoque a la minería

Manuales
• Consiste en la utilización de personas para el movimiento y traslado de los productos • En el ámbito de la minería del carbón debe utilizar para trasladar equipos, herramientas o insumos de un tamaño o peso que puede ser cargado por una persona.
Mecanizados
• Son apropiadas cuando se requiere movilizar o trasladar cargas de carbón por el peso o distancias a recorrer • Ofrece beneficios en el tiempo y eficiencia en el descargue, acomodo, cargue del carbón en el patio de almacenamiento • En esta categoría se consideran los montacargas, cargadores, bandas transportadoras, grúas(crane), entre otros
Automatizados
• Se utiliza cuando las operaciones en el patio de almacenamiento pueden ser programadas y se encuentran dedicadas a funciones específicas de manejo de materiales. • Se recomiendan en operaciones con manejo de unidades de carga estándar de carbón, se presentan altos volúmenes de operación. • Esta categoría se pueden incluir bandas transportadoras controladas por sistemas PLC

Fuente: Elaboración propia

De los diferentes sistemas de manejo de materiales, las bandas transportadoras en las operaciones del patio de almacenamiento de carbón pueden contribuir a su eficiencia en el uso de recursos y tiempo, ya que el movimiento del carbón se realiza con un equipo mecánico, el cual, debe ser diseñado considerando el ambiente climático, volumen de operación, exigencias de los clientes y capacidades de inversión (Hiregourdar y Reddy, 2007). Otros sistemas, como los cargadores ofrecen beneficios respecto a capacidad de realizar diferentes tipos de rutas o desplazamiento del carbón, lo cual, puede impactar en los criterios de flexibilidad y agilidad en las operaciones del patio de almacenamiento.

3.1 Bandas transportadoras en las operaciones del patio de almacenamiento

Debido alcance del presente artículo en este subnumeral, se presentan las generalidades, clasificación, componentes y variables asociadas a las bandas transportadoras, incluyendo un enfoque de su utilización en las operaciones de los patios de almacenamiento de la minería del carbón.

- Generalidades y clasificaciones de *conveyors*:

Según Fonseca, Uppal y Greene (2004), las bandas transportadoras o *conveyors* son definidos como: “Aparatos fijos y portables utilizados para transportar materiales entre dos puntos fijos a través de movimientos intermitentes o continuos”. Por su parte, Langford (2006), lo describe como: “equipo de manejo de materiales, que permite mover el producto sobre una ruta fija”.

Las bandas transportadoras, pueden ser clasificadas en diferentes categorías, a continuación, se describen las principales identificadas en la literatura académica y científica (ver Tabla 3).

Tabla 3. Clasificaciones de *conveyors*

Tipo de productos	
Bulks	• Son utilizadas para productos de gran volumen que no se encuentran empacadas. • Este tipo de banda transportadora se sugiere que se utilicen con el carbón, cemento, granos u otros materiales (Fonseca, Uppal y Greene, 2004)
Unit Handling(unidad de manipulación)	Estan diseñados para la manipulación de productos empacados en cajas o envases de bajo peso o volumen (Fonseca, Uppal y Greene, 2004)
Accumulating(Acumulador)	Estos trabajan continuamente, lo cual, contribuye al movimiento continuo del carbón y acumulación en el camión o patio de almacenamiento (Fonseca, Uppal y Greene, 2004)
Non-Accumulating(No Acumulador)	Estos tiene la característica que para el movimiento de la banda transportadora cuando se realiza una carga o descarga (Fonseca, Uppal y Greene, 2004)
Tipos de conveyor	
Cinta con rodillos	• Son bandas transportadoras conformadas por un conjunto de rodillos sobre los cuales se desplaza la carga de forma gravitatoria o mecánica. • Pueden ser utilizadas para el movimiento de productos durante la producción, la gestión de almacenes y la distribución de productos en empaques primarios, secundarios o embajales
Banda de cinta(Belt Conveyor)	• Sistema de transporte continuo formado por una banda continua sobre el cual, se mueve o traslada el carbón.

Fuente: Elaboración propia

De los conveyors presentados, se puede indicar que las bandas de cinta son las más utilizadas en la minería del carbón, incluyendo las operaciones en el patio de almacenamiento para la recepción y despacho, principalmente. A continuación, se describen algunos de los tipos de bandas de cinta utilizados en la minería del carbón (Kennedy, 1990) (Fonseca,Uppal y Greene,2004):

- Conventional Stringer Conveyor(convencional): Es una banda transportadora tradicional, la cual, está conformada por unos soportes que sostienen la franja sobre el cual el carbón se traslada entre las diferentes operaciones del patio de almacenamiento y extracción.

- Pipe conveyer(tubería): Es un tipo de banda que tiene forma de círculo o ducto después de que se carga el carbón, lo cual, puede mejorar la eficiencia en su traslado debido a la disminución de desperdicios y mejorar la relación con el medio ambiente. Además, permite diseñar mayor cantidad de curvas y ángulos en el manejo del carbón generando flexibilidad en el manejo de materiales.
- Sandwich Conveyor: Consiste en una adaptación compuesta de una banda encima de otra donde el carbón, se transporta en la mitad de ambas. Este tipo de banda se utiliza cuando se tienen inclinaciones de aproximadamente 90°, lo cual, permite mejorar la eficiencia en el manejo de materiales, especialmente, en operaciones de recepción y despacho en patios de almacenamiento (Ckit,2010).
- Horizontal curve conveyer(horizonta): Son bandas que permiten seguir caminos de traslados o transporte del carbón con curvas que no requieren demasiado radio de giro, ni necesitan dos bandas como las bandas tipo sándwich con util estaciones de transferencia cuando se realiza manejo de materiales en altura. Adicionalmente, este tipo de banda ofrece agilidad y flexibilidad cuando el carbón debe transportarse en montañas de las minas o esquivar obstáculos de infraestructura como almacenamiento, equipos de exploración, explotación, entre otros.

Finalmente, el uso de los diferentes tipos de bandas transportadores puede depender de las necesidades operacionales, capacidad de inversión, diseño y disponibilidad de tecnología de la empresa de minería de carbón.

En las operaciones del patio de almacenamiento, el uso de las diferentes bandas transportadoras presentadas, cobran importancia en la recepción y despacho. En la recepción, facilita el traslado del carbón que se descarga del medio de transporte (camión, buque, tren) o procedente de la mina disminuyendo potencialmente tiempo, costos e impactos ambientales. Por su parte, en el despacho agiliza y mejora la capacidad de cargue de medios de transporte y uso de recursos logísticos para atender los pedidos de los clientes. Además, se debe considerar que en la gestión de almacenes, se considera la necesidad de desarrollar procesos esbeltos o *lean*.

- Componentes y variables de un conveyer tipo banda transportadora

A continuación, se presenta una banda transportadora con sus componentes generales(ver Figura 3)

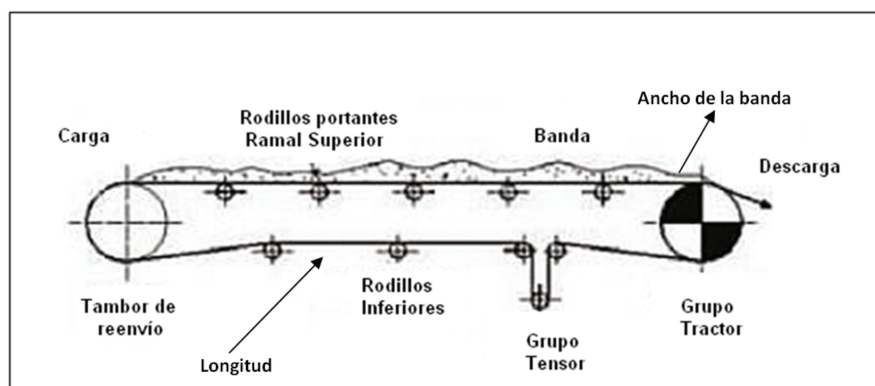


Figura 3. Componentes de banda transportadora tradicional - Fuente: (Astals,2009)

De los diferentes componentes presentados, se puede indicar que los rodillos superiores e inferiores, que sostienen la banda, donde se transporta el carbón. Por su parte, el grupo tractor y el tambor de reenvío permite el movimiento de los rodillos, lo cual, es determinante en la eficiencia y eficacia de la operación de manejo de materiales (Kennedy, 1990), (Astals, 2009). Otro tipo de bandas como las tipo sándwich, horizontal y pipe pueden utilizar componentes como rodillos de desvío, de presión y estructuras con diferentes grados.

En el diseño, configuración y operación de las bandas transportadoras en el traslado y manipulación de carbón, se identifican las siguientes variables (Kennedy, 1990), (Fonseca, Uppal y Greene, 2004), (Astals, 2009) (ver Figura 4)

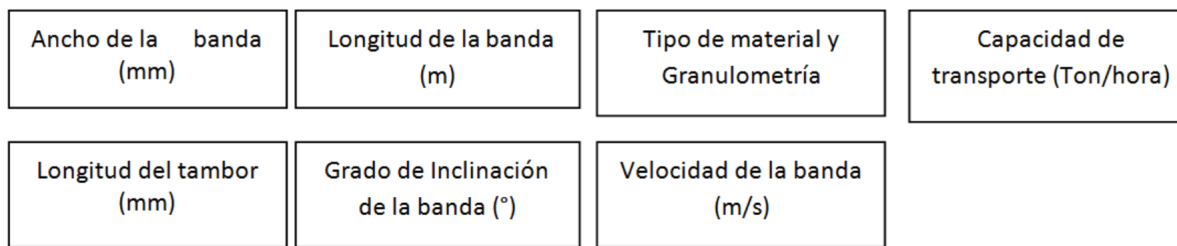


Figura 4. Variables de bandas transportadoras - Fuente: Elaboración propia

Se puede indicar que las diferentes variables presentadas tienen un impacto en la productividad del manejo de carbón, de allí, la importancia de identificar, evaluar, analizar y configurarlas adecuadamente.

4. UTILIZACIÓN DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y SIMULACIÓN DISCRETA EN EL DISEÑO O MEJORAMIENTO DE PATIOS DE ALMACENAMIENTO CON BANDAS TRANSPORTADORAS

Para el diseño o mejoramiento de bandas transportadoras que son utilizadas en las operaciones de la minería del carbón, se pueden utilizar tanto herramientas cualitativas y cuantitativas. Dentro de las cuantitativas, se puede considerar la investigación de operaciones y la estadística.

En la literatura científica, se identifican dos enfoques de utilización de la investigación de operaciones en el diseño y mejoramiento del manejo de carbón con bandas transportadoras en diferentes campos de aplicación empresarial. El primero, utiliza métodos de optimización para determinar cómo deben configurarse las variables de la banda (Feyzbakhsh, Matsui y Itai,1998), (Zhang y Xia,2010),(Zhaoxue y Hong,2010).

El segundo es la simulación discreta, la cual posee la capacidad de representación de políticas, operaciones y recursos de la logística minera y los patios de almacenamiento a través de modelos en 2D y 3D. En el contexto del presente artículo, se utiliza la simulación para representar la banda transportadora, y analizar su desempeño a partir de la evaluación de diferentes valores de sus variables como: velocidad, longitud de la banda, entre otros. La ventaja que genera la simulación discreta en el diseño y mejoramiento de la banda transportadora, que permite realizar el análisis y experimentación sobre un modelo computacional, lo cual, conlleva a la reducción de costos, se evita parar o causar retrasos del sistema real considerando condiciones de incertidumbre (Baker y Canessa, 2009), (Gu et al, 2010). De otra parte, en la literatura científica, no se identifican propuestas que utilicen esta herramienta en el diseño o mejoramiento del uso de bandas transportadoras para carbón en patios de almacenamientos, los artículos revisados se relacionan con aplicaciones de simulación en el mejoramiento de la gestión de almacenes de empresas manufactureras. (Van Beek, Gordijn y Rooda, 1998) (Chick, 2006) (Gagliardi, Renaud y Ruiz,2007).

De los métodos estadísticos que pueden utilizarse en el diseño, configuración o mejoramiento de las bandas transportadoras una técnica que puede ser utilizada es el diseño de experimentos, ya que este permite identificar y analizar estadísticamente que factores afectan el desempeño de un proceso que para el presente caso es un equipo de manejo de materiales como es la banda transportadora utilizando modelos como: factoriales, 2^k , superficies de respuesta, diseños anidados, entre otros (Montgomery,2008). En la literatura científica, no se identifican propuestas específicas de utilización del diseño de experimentos para diseño o mejoramiento de bandas transportadoras, por lo cual, esto se convierte en una oportunidad de investigación en el tema. Lo que se identifica son artículos enfocados en el diseño o mejoramiento de operaciones de la gestión de almacenes con uso de equipo de manejo de materiales o recursos (Chin y Pontes, 2005),(Ekren, *et al.* ,2010)

5. CASO DE ESTUDIO: DISEÑO DE SISTEMA DE BANDA TRANSPORTADORA EN PATIO DE ALMACENAMIENTO EN EMPRESA DE CARBÓN.

Con el fin de ejemplificar el uso de la simulación discreta y el diseño experimental, a continuación, se desarrolla un caso de estudio genérico de un patio de almacenamiento de una empresa de escala mediana de minería (explotaciones con volúmenes entre 800 mil y 2.5 millones ton por año, tecnificación intermedia de las operaciones y desarrollos principales de explotación), la cual requiere configurar las condiciones de operación de una banda transportadora que permite trasladar el carbón desde la zona de almacenaje hasta el despacho donde se carga en un camión.

Para desarrollar el caso de estudio se utiliza la metodología de diseño de experimentos propuesta por Montgomery (2008), la cual, se compone de las siguientes etapas (ver Tabla 4):

Tabla 4. Etapas metodológica de diseño de experimentos aplicada en estudio de banda transportadora

<i>5.1 Descripción de la empresa</i>
Se describen las características de la empresa, el sistema logístico, operaciones y recursos del patio de almacenamiento
<i>5.2 Identificación y exposición del problema</i>
- Se identifica y define un problema, incluyendo un planteamiento claro y aceptable - Se establecen objetivos del experimento que generalmente es el diseño o mejoramiento de la operación de la banda transportadora en el patio de almacenamiento.
<i>5.3 Elección de los factores y niveles</i>
- Se identifican y definen los factores que influyen en el desempeño de la banda transportadora en las operaciones del patio de almacenamiento de la empresa minera. - Para cada factor que afecte el desempeño de la banda transportadora, se deben definir los niveles, los cuales, establecen sus posibles valores - La identificación de estos factores, niveles y rangos que intervienen en el experimento generalmente requiere, no sólo de un conocimiento teórico de las variables que afectan, sino también práctico del proceso
<i>5.4 Selección de la variable respuesta</i>
- Esta variable permite medir el desempeño, la eficacia o eficiencia de la banda transportadora en el patio de almacenamiento, permitiendo comparar las alternativas y apoyar las decisiones de diseño o mejoramiento. - Para medir el desempeño de la banda transportadora se puede considerar como variable respuesta el tiempo de operación o toneladas que se manipulan en un periodo de tiempo.
<i>5.5 Elección del diseño experimental</i>
- Este paso puede ser o no sencillo, dependiendo de la adecuada identificación de la variable respuesta, factores y niveles que se consideran en el momento de planear el experimento para la banda transportadora. - Para elegir el diseño es necesario considerar el tamaño de la muestra (numero de replicas), la selección del orden de corridas para los ensayos experimentales y determinar si existen o no formación de bloques u otras restricciones en la aleatorización que afecten el diseño o mejoramiento de la banda transportadora.
<i>5.6 Realización del experimento</i>
- En esta etapa se planea, organiza el experimento, además, se ejecutan las diferentes corridas definidas. Inclusive, es sugerible realizar pruebas piloto, para determinar el grado de error y “comprobar” la validez de la herramienta de medición. - En esta etapa se realiza y valida el modelo de simulación discreta, que representa la banda transportadora sobre la cual, se modifican las diferentes combinaciones de tratamientos de los factores con sus respectivos niveles en estudio para la aplicación en ambito minero
<i>1.7 Análisis estadístico de los datos</i>
- Se realiza un análisis de los datos obtenidos de la experimentación con el fin de realizar conclusiones que permitan dar respuesta a los objetivos planteados - Normalmente se utiliza software estadístico como Minitab o Statgraphics para realizar dicho análisis, inclusive se emplean para la selección del tamaño de la muestra. - Se debe considerar el uso de métodos gráficos que permiten realizar un análisis rápido y eficiente para interpretar resultados. - Es necesario realizar análisis de residuos y la verificación de los supuestos del modelo para verificar que sea adecuado.

5.8 Conclusiones y recomendaciones

- A partir de los resultados del análisis estadístico, se realizan las conclusiones acerca de la configuración de la banda transportadora respecto a los niveles de los factores que este debe tener con el fin de alcanzar un desempeño adecuado de la variable respuesta.

Fuente: Elaboración propia

En la metodología descrita, se utiliza la simulación discreta en la etapa 5.6 de realización del experimento para representar la banda transportadora, y posteriormente evaluar las diferentes combinaciones de tratamientos de factores que permiten medir su desempeño. Cabe indicar, que se utiliza el software de simulación discreta orientado a objeto SIMIO SIMULATION, el cual, incluye un modulo *conveyor o banda transportadora*, que permite modificar varios de los factores de interés considerando condiciones de incertidumbre.

De otra parte, la metodología descrita puede ser utilizada como referencia para el diseño o mejoramiento del uso de cualquier equipo de manejo de materiales en operaciones del patio de almacenamiento en la minería del carbón, de allí, el aporte del artículo.

5.1 Descripción de la empresa: Se considera que la empresa hipotética en estudio explota y comercializa 4000 Toneladas semanal de carbón térmico para atender pedidos a clientes nacionales (ver Figura 5).

La cadena de suministro o productiva de la empresa en estudio presenta la siguiente estructura:

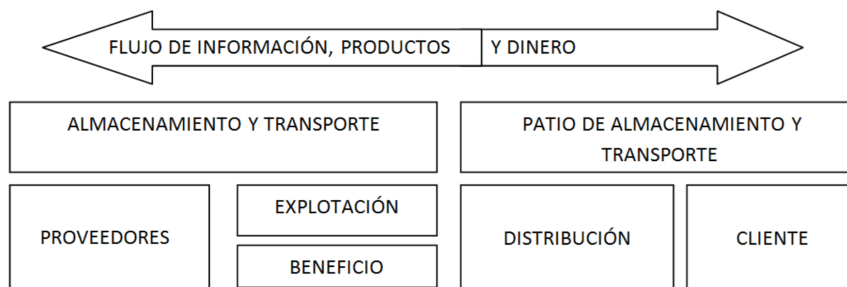


Figura 5. Cadena de suministro - Fuente: Elaboración propia

La cadena de suministro presentada cubre desde la negociación y adquisición de los insumos y herramientas para realizar la explotación y el beneficio del carbón térmico. Se debe resaltar, que se asume que se realizan dos tipos de almacenamiento. El primero, de los insumos y herramientas y el segundo en un patio donde se almacena el carbón proveniente del beneficio. De otra parte, la empresa realiza el transporte y distribución de los pedidos con el carbón térmico que permite satisfacer las necesidades de los clientes.

El patio de almacenamiento de la empresa en estudio desarrolla las operaciones de recepción, acomodo, almacenamiento, preparación de pedidos y despacho (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Operaciones del patio de almacenamiento

Recepción y Acomodo	Almacenamiento
• Se descarga e inspecciona el carbón que proviene de la explotación y beneficio • Se registran las características, fecha de ingreso y cantidad del carbón en el sistema de información • Se traslada el carbón a la posición de almacenamiento en el patio	• El carbón permanece en la posición de almacenamiento, garantizando su seguridad y que no se afecte sus características físico-químicas por la humedad, temperatura, entre otros. • Cada posición de almacenamiento se encuentra codificada con el fin de controlar el inventario del carbón

Preparación de pedidos	Despacho
- Se extraen las cantidad de carbón solicitadas por los clientes del patio de almacenamiento - En caso de que exista más de un pedido, estos se recogen de manera consolidada del patio de almacenamiento. - El carbón recogido se ubica en la zona de despacho para ser preparado respecto a verificación de cantidad y calidad	- Los pedidos con carbón son pesados en las básculas, y se les adjunta la documentación - Se realiza un cargue de las volquetas de forma manual con tres operarios, incluyendo su pesaje - Se registra la información del pedido despachado

Fuente: Elaboración propia

El manejo de materiales o del carbón en el patio de almacenamiento, se realiza a través de carretillas y cargadores, los cuales, permiten realizar los traslados del carbón en las operaciones de recepción, acomodo, almacenamiento, preparación de pedidos y despacho.

Finalmente, se puede indicar que el patio de almacenamiento cuenta con operaciones manuales, como poco mecanización, lo cual, puede afectar la eficiencia y eficacia

5.2 Identificación y exposición del problema. Se asume para el estudio, que la empresa tiene un problema con la eficiencia y eficacia del traslado del carbón desde la posición de almacenamiento hasta la zona de despacho, lo cual, genera en ocasiones retraso en la atención de los pedidos de los clientes, perdidas de carbón durante el transporte interno, uso intensivo de operarios conllevando a mayores costos operativos y aumentando posibilidad de errores.

A partir de la revisión de la literatura académica y científica, se puede considerar que la problemática del patio de almacenamiento es el manejo del carbón de manera manual, por lo cual, el uso de bandas transportadoras convencionales conllevarían al aumento de la eficiencia y eficacia. Adicionalmente, se puede considerar que esta es una problemática general en empresas de minería del carbón.

2.3 Elección de los factores y niveles. Para diseñar la banda transportadora para el traslado del carbón de la posición de almacenamiento al despacho, se consideran los siguientes factores con sus respectivos niveles, los cuales, son referenciados en la literatura científica y comercial (ver 3.1) y características de las operaciones del patio de almacenamiento de la empresa en estudio (ver Tabla 6)

Tabla 6. Factores y niveles en el diseño de la banda transportadora

Factores	Niveles	
Longitud de la banda(m) (A)		
Determina la distancia que permite trasladar el carbón desde la posición de almacenamiento hasta la zona de despacho.	700 m	1000 m
Velocidad(m/min) (B)		
Permite establecer el tiempo que se gasta el carbón durante el recorrido en la banda transportadora. Su velocidad puede ser determinante en la eficiencia y eficacia	40 m/min	80 m/min
Capacidad de transporte(Ton/hora) (C)		
Cantidad de carbón que se puede trasladar en la banda transportadora	1 Ton	3 Ton

Fuente: Elaboración propia

5.4 Selección de la variable respuesta. Como variable para medir los resultados de la experimentación que apoyan las decisiones de diseño de la banda transportadora, se selecciona el tiempo promedio en minutos del traslado del carbón desde la posición de almacenamiento hasta el despacho.

5.5 Elección del diseño experimental. Para seleccionar el diseño experimental que permitirá definir que niveles de factores elegidos tienen un efecto significativo sobre la variable el tiempo promedio de traslado del carbón desde la

posición de almacenamiento hasta el despacho. Se debe señalar, que una adecuada elección del modelo de diseño de experimentos permite apoyar las decisiones de diseño se realice de una manera eficiente y eficaz

Entre los diseños que se consideran que pueden ser aplicables en el caso de estudio, son: diseños factoriales, con bloques, 2^k completos y 2^{k-p} fraccionados, diseños robustos, anidados y parcelas divididas, superficies de respuesta, entre otros.

Para diseñar la banda transportadora se puede un diseño factorial completo, ya que es posible, realizar corridas aleatorias con todas las combinaciones de los niveles de los factores longitud (A), velocidad (B) y capacidad de transporte (C) sin restricciones a la aleatorización. Igualmente, existe la posibilidad de emplear diseños 2^k y 2^{k-p} fraccionados, con el fin de explorar que factores son significativos sobre el tiempo total promedio en el manejo o traslado el carbón en el patio de almacenamiento.

Finalmente, para el presente estudio se toma la decisión de utilizar un diseño factorial 2^k , el cual, permite identificar y determinar de manera exploratoria cuáles de los tres factores con dos niveles afectan el tiempo promedio de la banda transportadora en el manejo del carbón en diseño. Adicionalmente, se debe señalar que este diseño de experimento, es la base para utilizar otros más avanzados como las superficies de respuesta, que permite obtener la combinación de los niveles de factores que optimizan el tiempo promedio del traslado del carbón.

5.6 Realización del experimento. En esta etapa se planean y ejecutan los experimentos que permiten obtener los datos, que posteriormente serán analizados estadísticamente para apoyar las decisiones de diseño de la banda transportadora. La estructura de la etapa cubre aspectos como: a) estructura de datos, plan de experimentación y ejecución de los experimentos a través de un modelo de simulación discreta desarrollado en SIMIO SIMULATION ® que permita representar la banda transportadora, incluyendo los niveles de los factores de longitud de la banda(A), velocidad (B) y capacidad de transporte.

La estructura de datos, que se utiliza en el diseño de experimentos es del tipo Y_{ijkn} , representa cada una de las observaciones que conforman el experimento, donde i es el factor longitud de la banda (A), j al factor velocidad (B), k capacidad de transporte (C) y n al número de las observaciones.

-Plan de experimentación

A continuación, se presenta el plan de experimentación diseñado para medir el tiempo promedio del traslado del carbón, que se debe ejecutar en el modelo de simulación discreta. Se debe indicar, que el orden aleatorio de experimentación, se obtiene de crear un diseño factorial en Minitab 15 ® de tres factores con dos replicas, es decir, 24 corridas experimentales.

-Realización de los experimentos

El modelo de simulación discreta para representar la banda transportadora, se desarrolla en software de simulación discreta Simio Simulation teniendo en cuenta, los siguientes aspectos:

Entidad:

Pedidos de carbón de 10 a 12 Ton, lo cual, es la carga que maneja la empresa en promedio durante el traslado de la posición de almacenamiento al despacho.

Variables:

- T traslado: Tiempo promedio de traslado del carbón de la posición de almacenamiento al despacho medido en minutos.
- Como valor de referencia se asume que el traslado manual actual del carbón en 15 metros, se distribuye una uniforme (10, 15) minutos

Parámetros:

- TLL: Tiempo entre llegadas para el carbón a trasladar (min), se asume que llega un pedido para trasladar cada hora
- T cargue: Tiempo del cargue del carbón a la banda transportadora (seg o min). En el presente modelo, se asume una uniforme (9, 10) min
- T alistamiento: Tiempo de alistamiento de la banda y la actividad de traslado. En el presente modelo, se asume que es una constante 4 minutos

Recursos:

Banda transportadora y operarios

Modelo Computacional (ver Figura 6)

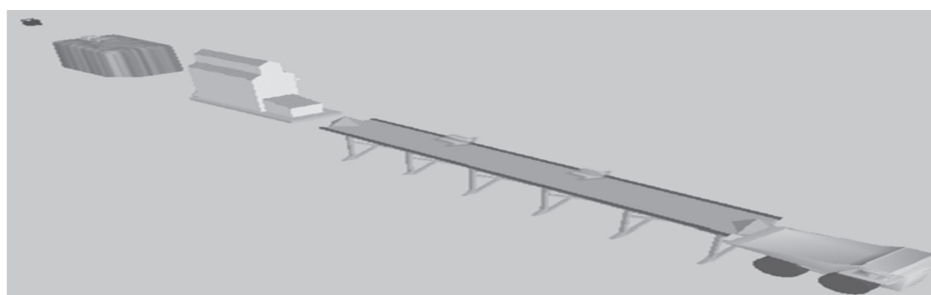


Figura 6. Modelo de Simulación con banda transportadora en el traslado de carbón entre el patio de almacenamiento y despacho - Fuente: Elaboración propia, Simio Simulation ©

Verificación y validación:

- La verificación del modelo de simulación consiste en comparar que cada una de las operaciones relacionadas con el traslado del carbón en la banda transportadora desde el almacenamiento hasta el despacho, se encontraba modelada. Esto garantiza, la capacidad de representación del modelo de simulación.
- La validación consistió en evaluar que el modelo de simulación que representa la banda transportadora, si permite obtener tiempos promedios de traslado adecuados según los niveles de los factores de longitud, velocidad y capacidad de transporte.

Condiciones de corrida de la simulación:

- Para los tiempos promedios de traslado, se configuran los niveles de los factores, y se realizan dos replicas para cada combinación de tratamientos definidos en el plan que duran 10 horas que, equivalen a la operación del patio de almacenamiento en un día laboral.
- Una vez se ejecute cada corrida se reinicia el sistema y sus estadísticas, garantizando la independencia y confiabilidad de los resultados

5.7 Análisis estadístico de los datos

Una vez ejecutado el diseño factorial 2^3 y obtenidos los datos de las corridas experimentales, a continuación, se realiza el análisis estadístico, que permite apoyar las decisiones de diseño de la banda transportadora, buscando obtener un

tiempo adecuado de traslado del carbón de la posición de almacenamiento al despacho para satisfacer las necesidades de los clientes y operar de una manera eficiente. Los estadístico a analizar en el diseño de experimentos son: Análisis de Varianza (ANOVA) (ver Tabla 7), gráfico de interacciones dobles (ver Figura 7) y validación de supuestos de los residuos del modelo (ver Figura 8), lo cual, garantiza la validez de los resultados y decisiones.

Tabla 7. ANOVA para diseño de banda transportadora

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Longitud banda	1	142,62	142,62	142,62	71,34	0,000
Velocidad	1	639,96	639,96	639,96	320,10	0,000
Capacidad de carga	1	7,66	7,66	7,66	3,83	0,086
Longitud banda*Velocidad	1	16,79	16,79	16,79	8,40	0,020
Longitud banda*Capacidad de carga	1	1,25	1,25	1,25	0,62	0,452
Velocidad*Capacidad de carga	1	3,39	3,39	3,39	1,70	0,229
Longitud banda*Velocidad*Capacidad de carga	1	3,21	3,21	3,21	1,61	0,241
Error	8	15,99	15,99	2,00		
Total	15	830,89				

Fuente: Elaboración propia

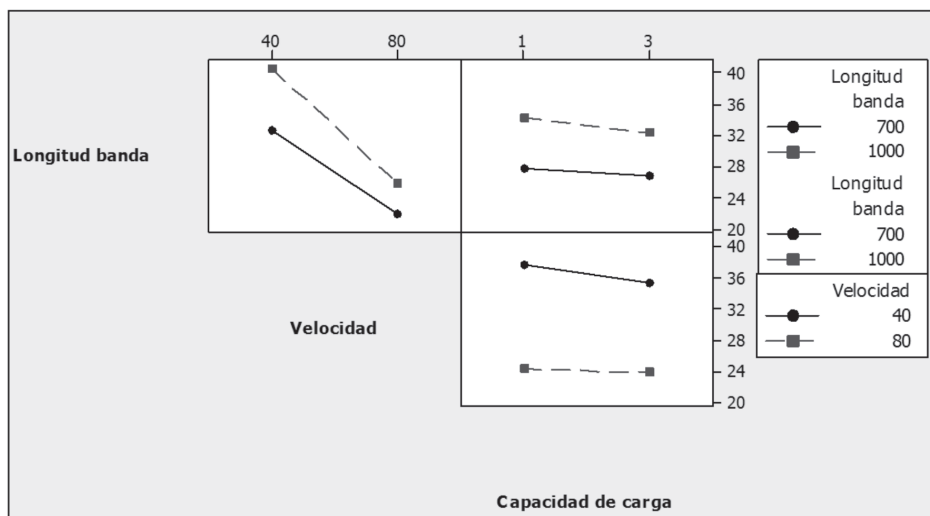


Figura 7. Gráfico de interacciones de los factores: Longitud, velocidad y capacidad de carga de la banda transportadora - Fuente: Elaboración propia

A partir de la ANOVA (ver Tabla 7) y teniendo un criterio de aceptación $p < 0.05$ (5%) del efecto de los factores sobre el tiempo promedio de traslado, se puede indicar que la interacción de las variables de longitud y velocidad de la banda transportadora, afectan significativamente el tiempo promedio de traslado del carbón desde el patio de almacenamiento hasta el despacho. Por su parte, la interacción entre los factores longitud o velocidad la banda no tienen integración significativa con la capacidad de la banda transportadora, lo cual, puede ser considerado un aspecto significativo para la decisión de diseño de la misma. Cabe aclarar, que no se consideran en el análisis los efectos principales de los factores de velocidad, longitud y capacidad de carga de manera independiente, ya que sus resultados pueden estar enmascarados por el efecto de las interacciones dobles (Montgomery, 2008), este aspecto debe ser considerado cuando se utilizan este tipo de experimentos estadísticos para no afectar el diseño de la banda transportadora.

Respecto a la configuración de los niveles de los factores longitud y velocidad de la banda transportadora, con el fin de reducir el tiempo promedio de traslado del carbón entre el patio de almacenamiento y despacho. A partir del gráfico de interacciones dobles (ver Figura 7) diseñar una banda de 700 m con una velocidad 80 m/min, el cual, conlleva a obtener un tiempo de 22 minutos. Otra alternativa, es diseñar la banda de 1000 m obteniendo un tiempo promedio de 24 minutos. Otra conclusión, importante que se obtiene, es que el factor capacidad de carga, no afecta el tiempo por lo cual, se pueden reducir los costos de adquisición.

Finalmente, se validan los supuestos del modelo estadístico que permitan probar si se cumplen los supuestos de

normalidad, varianza constante e independencia (ver Figura 8)

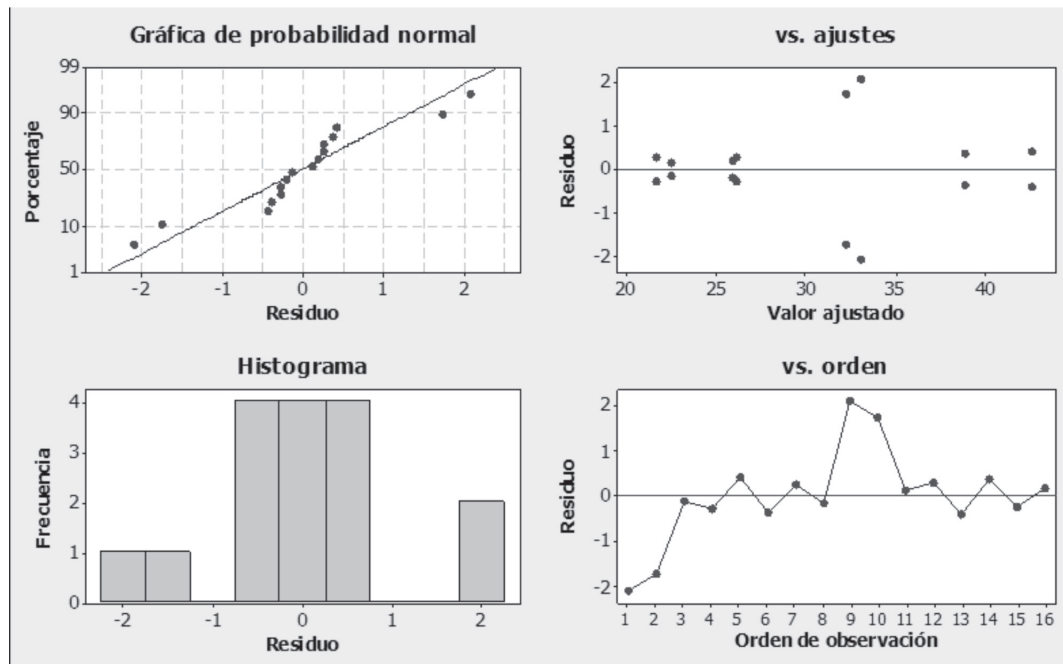


Figura 8. Gráfico de residuos para probar supuestos de normalidad, varianza constante e independencia - Fuente: Elaboración propia

Se puede indicar que el modelo cumple con el supuesto de normalidad, ya que los residuos tienden a alinearse a la recta y el estadístico de Shapiro-Wills $(0.055) > 0.05$, por lo cual, se acepta analíticamente. Por su parte, se identifica que se cumple el supuesto de varianza constante e independencia, ya que los residuos no presentan ningún patrón, y la prueba de Bartlett (0.192) es mayor a 0.05 . Debido a que los supuestos se cumplen, se puede indicar que las conclusiones de diseño son válidas para el diseño de la banda transportadora.

Finalmente, se puede indicar que el enfoque metodológico de utilizar diseño de experimentos y simulación discreta, puede aumentar la capacidad de diseño de sistema de manejo de materiales y bandas transportadoras en la minería del carbón basando en herramientas cuantitativas, lo cual, mejora la toma de decisiones, que impactan en los costos de diseño, mejora y satisfacción de las necesidades de los clientes.

6. CONCLUSIONES

Del artículo se puede indicar que la gestión de almacenes es un proceso logístico crítico de la minería del carbón, que tiene un impacto en la eficiencia de las operaciones de explotación, beneficio y transformación, ya que este permite almacenar, proteger y administrar los inventarios de insumos, herramientas y equipos utilizados. Adicionalmente, se identifica que suele ser utilizado para realizar los despachos de los pedidos del carbón a los clientes.

Un aporte que se realiza a la literatura y el medio empresarial a partir del artículo, es la estructura y descripción de las operaciones y recursos típicos de un patio de almacenamiento, lo cual, puede mejorar su planeación, ejecución y control, impactando potencialmente en los costos y satisfacción de las necesidades de los clientes.

En la literatura científica y empresarial, se identifica la importancia y variedad de equipos de manejo de materiales que pueden ser utilizados en los patios de almacenamiento de carbón, los cuales, se clasifican en manuales, mecanizados y automatizados. Dentro de los mecanizados y automatizados, se consideran las bandas transportadoras, las cuales,

permiten realizar el transporte interno o traslado del carbón entre las operación del patio, minimizando la participación de personas, lo cual, permite aumentar la eficiencia y eficacia de manera potencial. Adicionalmente, se debe considerar que en la literatura científica, se identificaron varios tipos de bandas que suelen ser utilizadas en la minería del carbón tales como: convencional (conventional), sándwich, horizontal y tipo tubería (pipe), las cuales, deben ser analizadas según el tipo de operación y necesidades de la empresa, ya que cada una ofrece diferentes tipos de velocidad, largo, capacidad de carga, entre otras variables.

Uno de los principales resultados del artículo, es el enfoque metodológico de utilizar la técnica estadística de diseño de experimentos y simulación discreta orientada a objetos en el diseño o mejoramiento de bandas transportadoras como equipo de manejo de materiales en el patio de almacenamiento, lo cual, puede contribuir a tomar decisiones que mejoren la eficiencia y eficacia del proceso logístico soportado en el uso de técnicas cuantitativas.

Del caso genérico de estudio, se puede concluir que el uso del diseño de experimentos permite identificar y evaluar de manera planeada y eficiente qué factores o variables tiene un efecto significativo en el tiempo promedio de traslado del carbón de la posición de almacenamiento hasta el despacho. De otra parte, el uso de la simulación discreta permitió representar en 3D, la banda transportadora y evaluar las diferentes combinaciones de tratamientos establecidos en el diseño de experimentos, lo cual, permite agilizar y reducir costos en el modelamiento de patios de almacenamiento, por lo cual, puede considerarse como una práctica de clase mundial para la minería desde la perspectiva de la logística.

BIBLIOGRAFÍA

- Arango,M. Zapata,J. y Gómez, R. Estrategias en la cadena de suministro para el distrito minero de Amaga. Boletín Ciencias de la Tierra,28, 27-38, 2010
- Astals,F.,2009. Almacenaje, Manutención y trasnporte interno en la industria. Ediciones UPC: Catalunya, 109p
- Ballou, R.,2004. Business Logistics management. Prentice Hall, The United States. Pag 252.
- Chick,E. 2006. Six Ways to improve a simulation analysis. Journal of Simulation 1, pp 21–28.
- Ckit, 2010. Sandwich Conveyors [en línea].The United States, [citado21-12-10]. Disponible en internet: < http://www.ckit.co.za/secure/conveyor/sandwich/sandwich_whole.htm>
- Chin, S. Pontes, H. y Porto,A. 2005. Retrieving process analysis in a parts distribution center: a case study of manual trolley fleet substitution. En Proceedings of the 37th conference on winter simulation, Orlando.
- Correa,A. y Gómez,R. 2009. Tecnologías de Información y Comunicaciones en la Cadena de Suministro. Revista Dyna 76(1), pp37-48
- Correa,A. y Gómez,R. 2010.Seguridad en la cadena de suministro del carbón basada en la ISO 28001 como estrategia para su competitividad. Boletín Ciencias de la Tierra,28, pp 27-38.
- Ekren, B. Heragu, S. Krishnamurthy,A. y Malmborg,C. 2010. Simulation based experimental design to identify factors affecting performance of AVS/RS.Computers & Industrial Engineering 58(1), pp 175-185
- Fonseca,D., Uppal,G. Y Greene,T., 2004. A knowledge-based system for conveyor equipment selection. Expert Systems with Applications, 56(4), pp 615-623.
- Feyzbakhsh.S, Matsui.M y Itai, K., 1998. Optimal design of a generalized conveyor-serviced production station: fixed and removal item cases. International Journal of Production Economics, 55(2), pp 177-189
- Frazelle, E. y Sojo, R., 2007. Logística de Almacenamiento y Manejo de Materiales de Clase Mundial, Bogotá: Grupo Editorial Norma. 8p
- Gagliardi, J. Renaud, J. y Ruiz,A.,2007. A simulation model to improve warehouse operations. En Simulation Conference

2007 Winter, pp 2012-2018.

Hiregourdar,C. y Reddy,R.,2007. Facility Planning and Layout Design. Technical Publications Pune: Peth, 28p

Kennedy,B., 1990. Surface Mining. Society for mining, metallurgy: United States, 697p

Langford, J.,2007. Logistics: Principles and Applications. McGraw Hill: The United States, 344p http://books.google.com.co/books?id=uB_pLYvTdfYC&pg=PA344&dq=Material+Handling+logistic&hl=es&ei=fDQKTZ_CoCH7lweP9rGTAQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CDQQ6AEwAg#v=onepage&q&f=false

MINERCOL, 2004. Guía Ambiental Transporte del Carbón. Bogotá: Editorial Marín Vieco Ltda., 42p.

Ministerio de Minas y Energía, 2003. Cadena Productiva del Carbón [en línea].Colombia, [citado18-09-09]. Disponible en internet: <http://www.minminas.gov.co/minminas/minas.jsp?cargaHome=3&id_categoria=111&id_subcategoria=249>

Montgomery, D. 2008. Design and analysis of experiments. 7º ed. The United States: Wiley.

SIMCO, 2010. Exportaciones. [En línea].Colombia, [citado31-12-10]. Disponible en internet:<http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Exportaciones.aspx?idModulo=4>

SIMCO, 2008. Comportamiento de la producción minera en Colombia. [En línea].Colombia, [citado27-12-10]. Disponible en internet:< http://www.simco.gov.co/simco/Documentos/Comportamiento_Produccion_Minera.pdf>

STURGUL, M., 2000. Design:example. Society for mining, metallurgy: United States, 697p

UPME, 2005. Distritos Mineros: Exportaciones e Infraestructura de transporte. Bogotá: Dígitos y Diseños. 25p

UPME. 2007, Cadena del Carbón [en línea]. Colombia, [citado10-09-09]. Disponible en Internet: < http://www.upme.gov.co/Docs/Cadena_carbon.pdf>

Van Beek, D. , Gordijn,S. y Rooda,J..1997. Integrating continuous-time and discrete-event concepts in modelling and simulation of manufacturing machines. Simulation Practice and Theory. 5(7), 653-669.

Van Den Berg,J.2007. Integral Warehouse Management: Next Generation Transparency, Collaboration and Warehouse Management System. The Netherlands: Management Outlook Publications, 25p

Zhang,S. y Xia,X. Optimal control of operation efficiency of belt conveyor systems. Volume 87(6), 1929-1937,2010

Zhaoxue,C. y Hong,Y. Application of open-pit and underground mining technology for residual coal of end slopes. Mining Science and Technology. 20(2), 266-270,2010