

INFORME DE PRÁCTICA REALIZADA EN CARBONES DEL CERREJÓN  
LIMITED, MUNICIPIO ALBANIA, LA GUAJIRA

MARIA CLARA FONSECA MORA

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE MINAS  
VALLEDUPAR  
2018

INFORME DE PRÁCTICA REALIZADA EN CARBONES DEL CERREJÓN  
LIMITED, MUNICIPIO ALBANIA, LA GUAJIRA

MARIA CLARA FONSECA MORA

ASESOR  
JOSE LUIS CONSUEGRA  
INGENIERO ELECTRÓNICO

INFORME DE PRÁCTICA EMPRESARIAL PRESENTADO COMO REQUISITO  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE MINAS

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA  
INGENIERÍA DE MINAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE MINAS  
VALLEDUPAR  
2018

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por permitirme cumplir las metas propuestas, por brindarme la oportunidad de estar realizando mis practicas universitarias en esta empresa y que a través de esta he podido consolidar los conocimientos obtenidos durante mi carrera universitaria, de igual forma he podido potenciar mis competencias y desarrollar aptitudes en el proceso, le doy gracias a mi madre, por acompañarme en cada etapa de mi vida, y motivarme a superarme personal y profesionalmente, por sus sacrificios para sacarme adelante y enseñarme que aunque algo sea difícil no debo rendirme sino seguir adelante, a mi alma mater Fundación Universitaria del Área Andina por abrir sus puertas y ofrecerme un servicio de calidad a través de sus docentes y equipo administrativo, a todos los docentes que estuvieron presentes durante el curso de mis estudios profesionales, que compartieron sus conocimientos y experiencias.

Le agradezco a la empresa Carbones del Cerrejón Limited, por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales, al ingeniero José Verdeza por permitirme ser parte de su equipo de trabajo, confiar en mí, compartir su conocimiento e introducirme al mundo laboral, al Ing. José Mendoza por cada uno de los momentos compartidos en campo, por su amistad y por sus enseñanzas, al Ing. Ciro Benítez por permitirme ser parte del proyecto HAULSIM, el cual deja en mí cambios trascendentales a nivel profesional, por guiarme y estar siempre dispuesto a ayudarme, al personal que conforma el Departamento de Servicios Técnicos – Planeación Corto Plazo por brindarme oportunidades que permitieron desarrollar mi máximo potencial como estudiante en práctica.

Por último, le agradezco a mis familiares y amigos que de formas distintas han contribuido para que yo haya llegado hasta esta instancia y que de una u otra forma son parte de mi aprendizaje.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado a mi madre Eloísa Mora, quien es mi motivación principal para salir adelante, ella quien ha sido mi pilar, me ha dado amor y cariño, no me deja desfallecer, ella que con su voz de aliento me ayuda a superarme cada día y con mucho esfuerzo ha sido capaz de sacar adelante a sus hijos.

A mis hermanos, que siempre han estado a mi lado y son parte fundamental de mi vida.

A mis amigos, porque cada uno de ellos ha motivado mis sueños y esperanzas con sus buenos deseos.

## Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN .....	11
2	PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA .....	12
2.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	12
2.2	RESEÑA HISTÓRICA.....	13
2.3	ASPECTOS ESTRATÉGICOS .....	15
2.3.1	Visión .....	15
2.3.2	Misión.....	15
2.3.3	Valores .....	15
2.4	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL .....	17
2.5	PORTAFOLIO DE PRODUCTOS Y SERVICIOS .....	18
3	INFORME DE LAS PRÁCTICAS.....	19
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA SECCIÓN DE MÉTODOS & EQUIPOS.....	19
3.2	INFORME DE FUNCIONES .....	19
3.2.1	Creación del documento de Análisis y Diseño para la optimización del Plan de Perforación y Voladura.....	20
3.2.2	Auditoria de voladuras en DBIIS .....	20
3.2.3	Análisis del impacto generado en el control de emisiones debido a la modificación de boquillas en tanqueros .....	21
3.2.4	Coordinación de la Operación de Registro Geofísico.....	21
3.2.5	Entrenamiento HAULSIM .....	22
3.2.6	Proyecto HAULSIM (Calibración y Análisis Colinas) .....	22
3.2.7	Prueba productividad de camiones 320 (EH5500 – Cat320) y 240 Ton....	23
3.2.8	Soporte en el proyecto piloto de verticalización para optimización de taludes. 24	
3.2.9	Toma y análisis de datos para el proyecto de modificación del sistema de Riego en tanqueros. ....	24
3.3	LOGROS ALCANZADOS .....	25
3.3.1	Coordinar equipo de registro geofísico.....	26
3.3.2	Afianzar conocimientos en las diferentes actividades mineras .....	26
3.3.3	Reconocer los equipos mineros .....	26
3.3.4	Manejar la herramienta de Office Excel .....	26
3.3.5	Realizar análisis de datos tomados en campo para los diferentes proyectos trabajados durante el periodo de las prácticas .....	26

3.3.6	Aplicar la herramienta Minitab para análisis estadísticos .....	26
3.3.7	Afianzar conocimientos en el software minero Minex.....	27
3.3.8	Entrenar en curso del software minero Haulsim.....	27
3.3.9	Participar en el proyecto “Análisis Colinas” con la aplicación del software minero Haulsim .....	27
3.4	IMPACTOS PERCIBIDOS POR EL ESTUDIANTE .....	27
3.5	LIMITACIONES .....	28
4	PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....	29
4.1	TITULO .....	29
4.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	29
4.3	JUSTIFICACIÓN.....	30
4.4	OBJETIVOS.....	31
4.4.1	Objetivo General .....	31
4.4.2	Objetivos Específicos .....	31
4.5	RESULTADOS ESPERADOS .....	31
4.6	MARCO DE REFERENCIA .....	31
4.6.1	Marco de Antecedentes .....	32
4.6.2	Marco teórico .....	32
4.7	METODOLOGÍA .....	36
4.8	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.....	37
4.9	CRONOGRAMA .....	39
5	LOGROS ALCANZADOS.....	40
6	IMPACTOS PERCIBIDOS POR EL ESTUDIANTE .....	42
7	LIMITACIONES.....	43
8	CONCLUSIONES.....	44
9	RECOMENDACIONES .....	45
10	BIBLIOGRAFÍA .....	46
11	GLOSARIO .....	47
12	ANEXOS.....	48

## Lista de Tablas

Tabla 1. Porcentaje de cumplimiento de logros alcanzados durante las prácticas	25
Tabla 2. Resultados de Volumen en porcentaje extraído de las simulaciones .....	38
<b>Tabla 3.</b> Porcentaje de Cumplimiento para los Objetivos de esta propuesta .....	38
Tabla 4. Cronograma de Actividades de la Propuesta.....	39



## Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación Geográfica.....	12
Figura 2. Estructura Organizacional General .....	17
Figura 3. Estructura Organizacional de Servicios Técnicos.....	18
Figura 4. Estructura Organizacional de la sección de Métodos y Equipos .....	19
Figura 5. Sitios tentativos de botado (Software Minex).....	48
Figura 6. Avance de palas en Plano Mensual de Minería (Software Minex).....	48
Figura 7. Hoja de cálculo para ratificar las velocidades seleccionadas en el software .....	49
Figura 8. Representación de la Situación en el Sector Colinas del Tajo Oreganal	50
Figura 9. Velocidades Max y Min por rutas de la simulación (guía en colores) .....	50
Figura 10. Estrategia de Optimización del Plan de Acarreo.....	51
Figura 11. Cuadro de Velocidades.....	51
Figura 12. Escenario de Riesgo.....	52
Figura 13. Noviembre – Diciembre (Camiones 320 Ton).....	53
Figura 14. Noviembre – Diciembre (camiones 240 Ton).....	54

## **Anexos**

Anexo A. Espacios disponibles de botado para el funcionamiento adecuado del Plan de Acarreo .....	48
Anexo B. Imagen de cómo se representa un avance de palas en un Plan Mensual de Minería.....	48
Anexo C. Reporte extraído de Haulsim (Archivo Excel) para ser evaluado y determinar que las velocidades son similares a las descritas en el Plan de Acarreo. ....	49
Anexo D. Simulación 1.....	50
Anexo E. Simulación 2.....	51
Anexo F. Simulación 3.....	52
Anexo G. Tablas dinámicas del CTD sobre el progreso de las velocidades durante los meses Noviembre y Diciembre en el Sector Colinas. Camiones 320 Ton .....	53
Anexo H. Tablas dinámicas del CTD sobre el progreso de las velocidades durante los meses Noviembre y Diciembre en el Sector Colinas. Camiones 240 Ton .....	54

## 1 INTRODUCCIÓN

En el presente informe se describe de forma detallada las funciones realizadas como Aprendiz Universitaria durante un periodo de 6 (Seis) meses en el Departamento de Servicios Técnicos (Planeación Corto Plazo) en el área de Métodos & Equipos en Carbones del Cerrejón Limited. Donde llevé a cabo actividades operativas, análisis de datos, curso de entrenamiento en software minero Haulsim y participación al proyecto introductorio de este, brindar soporte en proyecto piloto (Verticalización para optimización de taludes), supervisar y coordinar una operación (Operación de registro geofísico), entre otras funciones.

Durante las prácticas, mi alma Mater fue fundamental para demostrar destrezas y competencias adquiridas en el programa de Ingeniería de Minas, gracias a la empresa pude poner estas en práctica y fortalecerlas para que abrieran un campo a nuevos conocimientos. Las actividades realizadas permitieron extender saberes interdisciplinarios al estar involucrada en diferentes procesos, por ejemplo en planeación minera, perforación y voladura, botaderos y vías, informes de calidad de carbón, y por supuesto proyectos que hacían parte de la sección de Métodos & Equipos, donde se evaluaba el estado, eficiencia y productividades de los equipos mineros.

En el siguiente informe, se presenta un análisis realizado en el software minero Haulsim para determinar una estrategia u alternativa que mejore la congestión por velocidades de los camiones en el sector colinas del tajo Oreganal, cerca al HW (High Wall), ya que, la productividad del tajo se ve afectada. Por lo tanto, se expondrán las condiciones de la situación actual y se mostraran resultados y conclusiones en base a las simulaciones hechas en este.

## 2 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

Carbones del Cerrejón Limited, es una mina de explotación de Carbón a cielo abierto más grande del mundo, pertenece a Xtrata Pic de Suiza, BHP Billiton de Australia y Anglo American de Sudáfrica, cada una de las empresas posee la tercera parte de la mina. Sus destinos de exportación van desde Centro y Suramérica, Norteamérica, Europa, Mediterráneo hasta el continente Asiático.

### 2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Ubicada entre los municipios de Albania, Barrancas y Hatonuevo en La Guajira (Como puede apreciarse en la figura 1), posee recursos estimados en 1.961 millones de toneladas de carbón. Es una empresa integrada de minería, transporte y embarque en La Guajira, departamento ubicado en el extremo norte de Colombia. Única mina de carbón térmico a cielo abierto que produce más de 33 millones de toneladas al año, la conforma una línea férrea de 150 km de largo, un puerto marítimo capaz de recibir buques de hasta 204.000 toneladas de capacidad. (CERREJON, 2017)

**Figura 1. Ubicación Geográfica**



**Fuente:** Plataforma Interna de Cerrejón para trabajadores y colaboradores

Cerrejón es conocido por sus programas sociales y ambientales, los cuales han merecido premios internacionales. El Sistema de Fundaciones Cerrejón, conformado por cuatro fundaciones, trabaja estrechamente con el Gobierno colombiano y con entes nacionales e internacionales para promover y acelerar el desarrollo sostenible y equitativo de La Guajira y de su gente. (CERREJÓN, 2017)

Emplea a más de 14.000 personas, de las cuales el 99% son colombianas; Es el exportador privado más grande de Colombia y uno de sus más importantes contribuyentes en materia de impuestos.

## **2.2 RESEÑA HISTÓRICA**

A continuación, se presenta en orden cronológico, los hechos sobresalientes en la historia del proceso de la empresa Carbones del Cerrejón.

**1975.** El Gobierno colombiano invita a 17 firmas a participar en la licitación para la explotación de 32.000 hectáreas que actualmente componen el Cerrejón Zona Norte. Sólo cinco de estas compañías se presentaron y únicamente tres cumplieron con los requisitos: Intercor, filial de Exxon, fue la escogida. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1976.** Carbones de Colombia S.A. (Carbocol) e Intercor, después de un concurso internacional, firmaron en el mes de diciembre un contrato de asociación por 33 años para explotar las reservas carboníferas de El Cerrejón Zona Norte. Este contrato contempla tres etapas: exploración (1977-1980), construcción (1981-1986) y producción (1986-2009). En enero de 1999 se firmó un acuerdo con el Estado colombiano para extender la última etapa por 25 años más, hasta 2034. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1977.** Se realizan 202 estudios durante el período de exploración. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1980.** Se obtienen los resultados de los estudios geológicos y de factibilidad y se firma la declaratoria de comercialidad de Cerrejón Zona Norte. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1983.** El gobierno nacional otorgó en concesión a Carbocol unas zonas de playa y terrenos de bajamar en Bahía Portete y autorizó la construcción y operación de un puerto privado para la explotación y exportación del carbón y todos aquellos productos necesarios de infraestructura de los proyectos carboníferos. En noviembre se le da el nombre de Puerto Bolívar al más importante puerto carbonífero de América Latina que contaría con un canal dragado de cuatro km. de longitud, 19 m de profundidad y 225 m de ancho, con capacidad inicial para recibir barcos de hasta 180.000 t. de peso muerto. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1984.** Se realiza el primer viaje de 150 km. del tren minero de trocha ancha, transportando 8.500 toneladas de carbón desde La Mina hasta Puerto Bolívar. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1985.** Se hace el primer embarque anticipado de carbón con 33.000 toneladas, enviado en el buque Giovanni, con destino a Dinamarca. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1986.** El 26 de febrero el buque Bulk Venturer transporta 23.000 toneladas de carbón, realizando el primer zarpe del muelle en Puerto Bolívar. Después de seis años, y con una inversión de 3.000 millones de dólares, se finalizó la etapa de construcción y montaje de las instalaciones e infraestructura de El Cerrejón Zona Norte que dio inicio a la operación de minería en gran escala. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1987.** Se inicia el retrolenado del área norte del tajo, cumpliendo así con los programas y compromisos adquiridos para la protección del medio ambiente. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1988-1990.** La firma comercial Testing & Engineering certifica la calidad del carbón colombiano exportado. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1991-1992.** Se ponen en marcha los programas de mejoramiento continuo y el de recuperación y protección de la cuenca alta y media del río Ranchería. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1995.** Cerrejón cumplió una década de exportaciones con un acumulado histórico de 100 millones de toneladas de carbón; se removieron 80.3 millones de BCMs. Intercor realizó esta actividad con un promedio anual de 4.500 trabajadores directos y 3.500 indirectos. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1996-1997.** Se inician las operaciones en las nuevas áreas de minería. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**1998-1999.** Se firma el acuerdo que establece las bases para el acceso a la infraestructura férrea por parte de terceros y se extiende el contrato de asociación por 25 años más. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**2000-2001.** Se inauguró la ampliación de la infraestructura del complejo. Se vendió la participación de Carbocol en el Cerrejón Zona Norte (50%), al consorcio integrado por dos subsidiarias de Billiton Company, una subsidiaria de Anglo American y una subsidiaria de Glencore que conforman la Sociedad Cerrejón Zona Norte S.A. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**2001.** El carbón ocupa el segundo renglón de exportación de Colombia. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**2002.** En febrero, subsidiarias de Anglo American, BHP Billiton y Glencore adquieren el 50% restante de Cerrejón Zona Norte, mediante la compra de la participación de Exxon Mobil en Intercor, convirtiéndose así en dueños únicos por partes iguales de Carbones del Cerrejón Limited, Cerrejón, cuyos accionistas son subsidiarias de las tres compañías antes mencionadas. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**2006.** Glencore vende su participación a la empresa europea Xstrata plc, cuyas subsidiarias son actualmente propietarias de Cerrejón junto con subsidiarias de BHP Billiton y Anglo American. Las oficinas principales de Cerrejón se trasladan de Barranquilla a Bogotá. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**2008.** Se constituye el Sistema de Fundaciones Cerrejón. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**2010.** Cerrejón alcanza un acumulado de exportación de 444.9 millones de toneladas de carbón y nos ubicamos entre las 10 empresas más grandes del país. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

## **2.3 ASPECTOS ESTRATÉGICOS**

### **2.3.1 Visión**

“Ser el productor y exportador de carbón líder a nivel mundial y un aliado clave para el progreso y desarrollo sostenible de La Guajira”. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

### **2.3.2 Misión**

“Producir y exportar carbón de manera eficiente, confiable y rentable, cumpliendo con los más altos estándares en seguridad, salud, medio ambiente y ética empresarial, contribuyendo al progreso de nuestra gente, las comunidades vecinas y La Guajira.” (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

### **2.3.3 Valores**

Para continuar promoviendo procesos claros y comportamientos eficaces que contribuyan a que seamos cada vez más eficientes y responsables, el Estilo Cerrejón cuenta con unos valores que dan forma a la filosofía corporativa y que permiten generar, más que un modelo corporativo, un estilo de vida. Estos valores constituyen la base que nos permite identificarnos dentro de la cultura organizacional que vivimos en Cerrejón. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**Seguridad, Salud y Medio Ambiente:** Nuestras más altas prioridades son la seguridad y la salud de todos quienes laboren en nuestras operaciones y el cuidado del medio ambiente. Debemos obtener resultados de excelencia en nuestro negocio, mediante procesos de trabajo que controlen el riesgo a las

personas, al medio ambiente y a los equipos e instalaciones. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**Respeto:** Es absolutamente indispensable que los miembros de la comunidad Cerrejón respetemos a cada uno de nuestros compañeros de trabajo sin distinción de género, raza, color, religión, preferencia sexual o cualquier otra diferencia de pensamiento o filosofía de vida, siempre ajustándonos a nuestros valores y a la ley colombiana. Igual respeto debemos a las comunidades en las que vivimos y a aquellas con las que nos relacionamos. Estamos particularmente interesados en la promoción activa de la mujer en Cerrejón y en la vinculación y promoción de poblaciones minoritarias y etnias locales. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**Responsabilidad:** La responsabilidad tiene un doble aspecto: el de nuestros derechos, que debemos ejercer en su plena dimensión, y el de nuestros deberes, que tiene que ver con nuestras decisiones frente al negocio bajo nuestra responsabilidad, al medio ambiente, las comunidades, nuestros colaboradores y demás grupos de interés. En Cerrejón a esto le llamamos “Asumir la potestad”. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**Ética:** Estamos convencidos de que ser éticos, a nivel individual y colectivo, es un imperativo moral y además es la clave para el éxito de Cerrejón. Por ello, además de cumplir con los requerimientos legales, nos interesa conseguir resultados manteniendo siempre un comportamiento ético, honrado y de la más alta rectitud en todas nuestras acciones. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**Transparencia:** Es nuestro propósito mantener una relación y una comunicación clara, abierta y coherente en cualquier nivel de la organización y con los demás grupos de interés. Estamos abiertos a compartir la forma como pensamos y actuamos, y a escuchar sinceramente las opiniones de los demás. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

**Integridad:** Debemos ser consistentes entre lo que decimos y lo que hacemos; por ello consideramos fundamentales la sinceridad y la honestidad. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

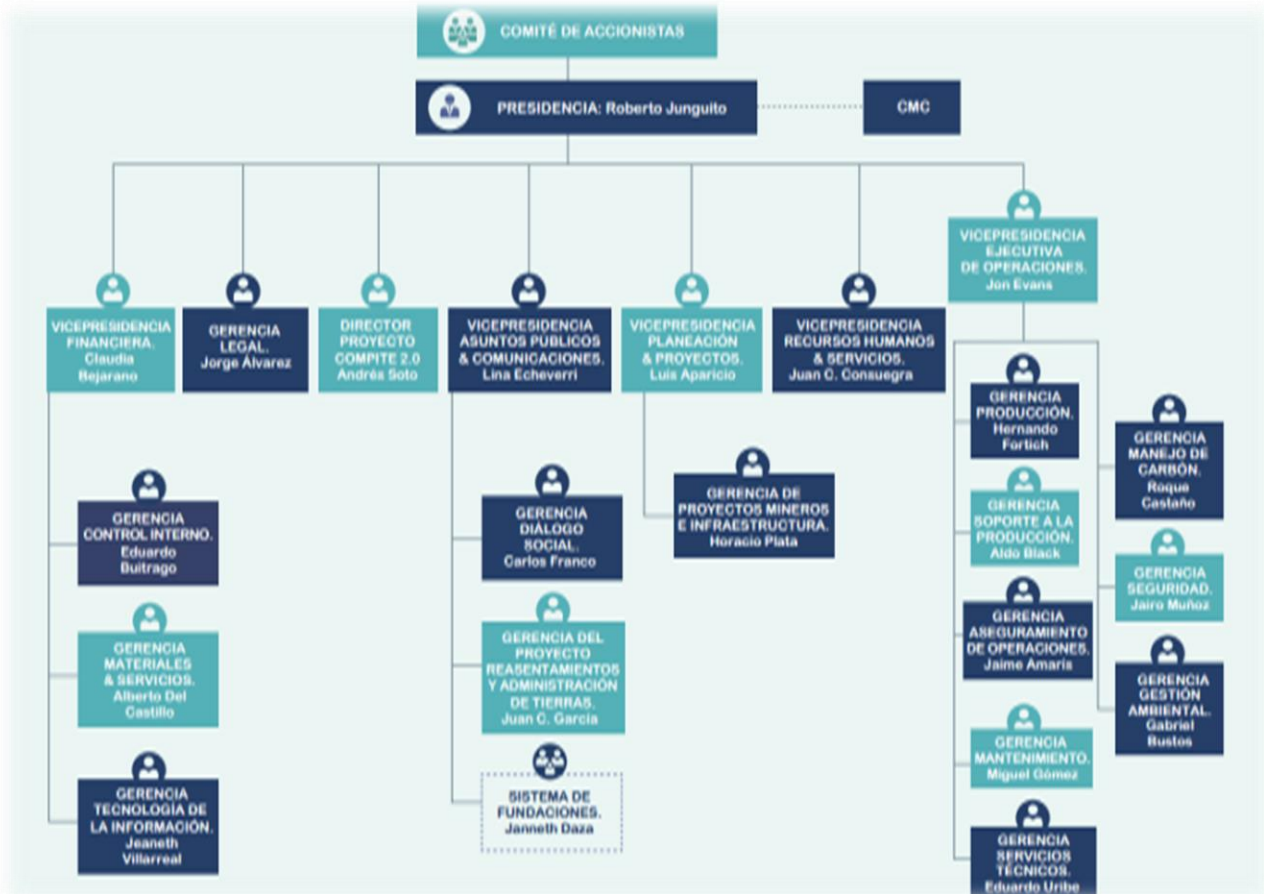
**Empoderamiento:** Creemos firmemente que somos capaces de elegir nuestro destino. Tenemos la posibilidad de tomar decisiones libres en línea con nuestras aspiraciones de crecimiento y desarrollo. Valoramos el liderazgo, la participación, la innovación, la adaptabilidad y el trabajo en equipo. Promovemos la empleabilidad dentro de un ambiente de igualdad de oportunidades donde cada uno de nosotros pueda encontrar una profunda satisfacción por lo que hace y, a la vez, hacer una significativa contribución a los logros de la empresa. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)



## 2.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La siguiente figura, representa los departamentos que componen la empresa, sus relaciones y/o dependencias que se establecen entre estas para organizarse. Lo cual, permite tener una idea acerca de la estructura formal y general de Carbones del Cerrejón Limited.

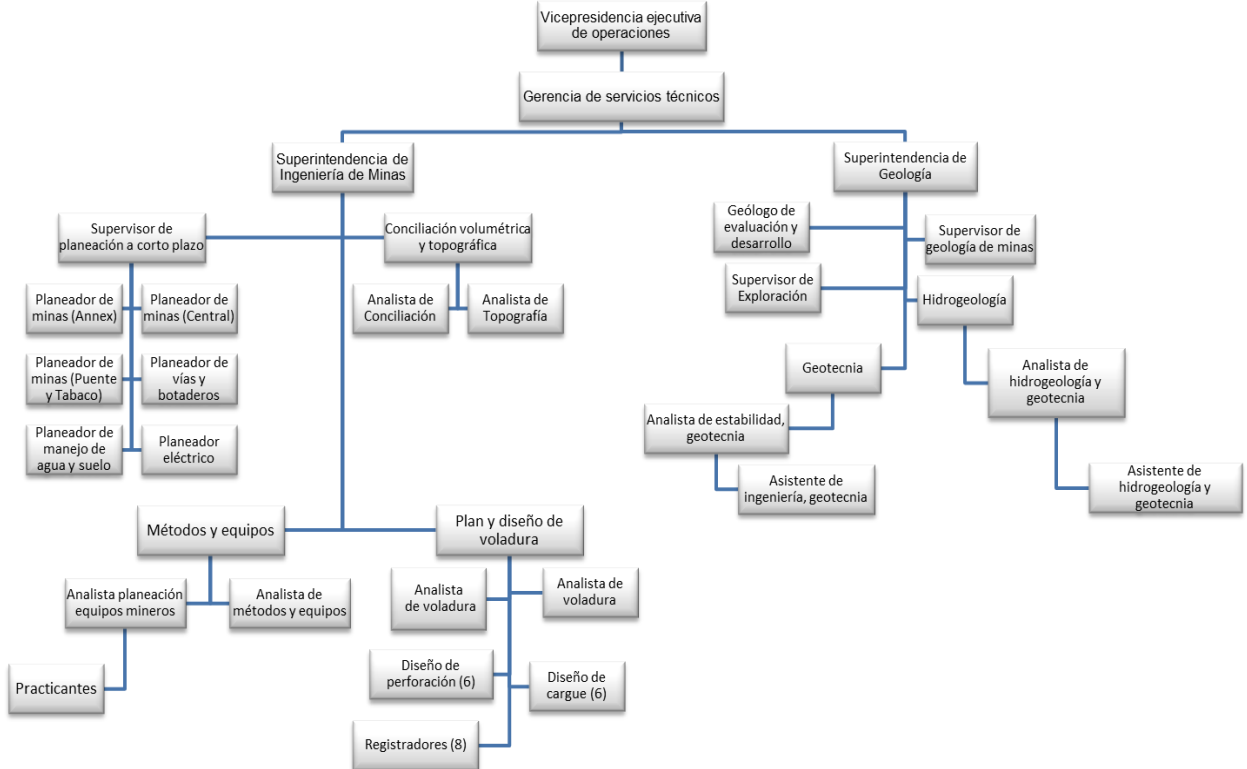
**Figura 2. Estructura Organizacional General**



**Fuente:** Plataforma Interna de Cerrejón para trabajadores y colaboradores.

Por otra parte, en la figura 3 se encuentra el organigrama de la estructura organizacional del Departamento de Servicios Técnicos-Planeación Corto Plazo, en el cual realice las prácticas universitarias.

**Figura 3. Estructura Organizacional de Servicios Técnicos**



**Fuente:** Plataforma Interna de Cerrejón para trabajadores y colaboradores.

## 2.5 PORTAFOLIO DE PRODUCTOS Y SERVICIOS

El proceso de extracción de carbón térmico en La Guajira se desarrolla bajo los más altos estándares de seguridad, salud, medio ambiente y respeto por los derechos humanos, con lo que buscamos entregar al mercado internacional un producto de la calidad solicitada por nuestros clientes, generando un menor impacto sobre las personas y el ambiente. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

La mayoría del carbón se utiliza para la generación de energía eléctrica y algunos volúmenes en menor proporción son empleados en diversos procesos industriales y calefacción doméstica. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

El 60% del carbón minado en Cerrejón es triturado y despachado en tren, y luego transportado a través de sistemas de cargue directo, que depositan el mineral directamente en las bodegas de los buques carboneros que zarpan a diferentes destinos. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

El 40% restante es almacenado de acuerdo a sus parámetros de calidad, principalmente poder calorífico, para luego ser triturado e incorporado al flujo normal, con el fin de ajustar la calidad del carbón solicitada por cada cliente. (Carbones del Cerrejón Limited, 2017)

### 3 INFORME DE LAS PRÁCTICAS

En este capítulo, se describe la dependencia en la cual realicé las prácticas. También, se describen las funciones asignadas, los proyectos donde participé, y que tanto y como logré alcanzar los objetivos propuestos para cumplir con lo anteriormente mencionado. Además, explico de qué forma este proceso me ha influenciado a nivel personal y profesional, y también que limitaciones encontré en este.

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LA SECCIÓN DE MÉTODOS & EQUIPOS

La práctica fue realizada en el Departamento de Servicios Técnicos – Planeación corto plazo, Superintendencia de Ingeniería de Minas en la sección de Métodos y Equipos.

**Figura 4. Estructura Organizacional de la sección de Métodos y Equipos**



#### 3.2 INFORME DE FUNCIONES

Cada uno de los siguientes ítem, especifican el tema, el objetivo, funciones de cumplimiento, ejecución (tiempo), recursos, resultados, de los proyectos y actividades que fueron asignados durante el periodo de prácticas en la empresa Carbones del Cerrejón Limited.

### 3.2.1 Creación del documento de Análisis y Diseño para la optimización del Plan de Perforación y Voladura

- **OBJETIVO:** Optimizar el Plan de Perforación y Voladura
- **PROBLEMÁTICA:** El sistema utilizado para el Plan de P&V es un proceso que contiene el Plan de Disparo, Plan de Registro y la Operación de Registro Geofísico, este se ha visto afectado por inconsistencias en la información y además por la demora de recibir la misma ya que ninguno de estos procesos están conectados entre sí debido a que no se cumple el conducto regular que se tiene actualmente. Por lo tanto, se requiere actualizar y optimizar este sistema para permitir que el flujo de la información almacenada sea coherente y veraz, al igual que esta sea ágil y simple para que todos los involucrados puedan manejarlo.
- **FUNCIONES:**
  - Recolección de información para entender el proceso llevado a cabo para la creación del Plan de Perforación y Voladura
  - Análisis del sistema actual del Plan de P&V para determinar cómo puede optimizarse el proceso
  - Realización del documento de Análisis y Diseño para optimización del plan
- **TIEMPO DE EJECUCIÓN:** Dos (2) semanas
- **RECURSOS EMPLEADOS:** Computador.
- **RESULTADOS OBTENIDOS:** Se revisó y aprobó el documento para ser enviado al diseñador encargado de crear la actualización del sistema del Plan de P&V.

### 3.2.2 Auditoria de voladuras en DBIIS

- **OBJETIVO:** Realizar un análisis de seguimiento a las voladuras auditadas.
- **PROBLEMÁTICA:** Actualmente se manejan dos sistemas para consignar la información sobre las voladuras que diariamente son disparadas en la empresa, estos son DBIIS y VoIVol. El primero es utilizado por diseñadores de perforación y cargue, y de igual forma por los analistas de voladuras. El segundo, es para el personal de voladura que se encuentra en campo. En ambos documentos se anexan los datos correspondientes a la fecha de disparo, altura de banco y el volumen de las voladuras. Sin embargo, en ocasiones se presentan algunas desviaciones. Por lo tanto, estas deben ser corroboradas en el documento DBIIS con respecto a VoIVol basándose en las variables mencionadas.
- **FUNCIONES:**
  - Análisis de la información en DBIIS.
  - Identificar y representar las diferencias almacenadas entre DBIIS y VoIVol
  - Análisis de la desviación total y la desviación de las voladuras sin Precorte

- Determinar responsabilidades por las voladuras auditadas que presenten desviaciones.
- Realización de una presentación en PowerPoint con los resultados arrojados por la auditoría.
- **TIEMPO DE EJECUCION:** El seguimiento se realiza de forma mensual.
- **RECURSOS EMPLEADOS:** Computador, software (Excel, PowerPoint)
- **RESULTADOS OBTENIDOS:** Se identifican las desviaciones y luego se corrigen, ya que ambos documentos deben coincidir, sobre todo en las cantidades de Kg de agentes o emulsión que estos ingresan en ambos archivos.

### 3.2.3 Análisis del impacto generado en el control de emisiones debido a la modificación de boquillas en tanqueros

- **BJETIVO:** Determinar el impacto generado en el control de emisiones debido a la modificación de las boquillas de los tanqueros.
- **PROBLEMÁTICA:** Las boquillas (central y laterales) utilizadas por los tanqueros sobre-humectan la vía generando escorrentías que provocan un decremento en el control de las emisiones. Por tal razón, las áreas de mantenimiento y producción proporcionaron un lineamiento para realizar una modificación aplicada en la boquilla central para disminuir estas escorrentías (apertura y ángulo de las boquillas).
- **FUNCIONES:**
  - Analizar la información almacenada en el archivo de Excel en donde se encuentra la Base de Datos con los valores tomados en las pruebas realizadas en campo, teniendo en cuenta las variables de entrada (Flujo de Equipos, Emisión y Evaporación). Al igual se toma en consideración la autonomía de los tanqueros.
  - Analizar los datos en Minitab.
  - Realizar una presentación en PowerPoint sobre la información y resultados obtenidos.
- **TIEMPO DE EJECUCIÓN:** 2 (Dos) semanas.
- **RECURSOS EMPLEADOS:** Computador, software (Excel, PowerPoint y Minitab)
- **RESULTADOS OBTENIDOS:** El análisis realizado determinó que la modificación implementada en la boquilla central para los tanqueros es óptima para el riego de vías y control de emisiones, presentando un 41.3% de mejoras frente a las boquillas laterales. Por lo tanto, se recomienda la implementación y utilización de dichas modificaciones para la disminución de material particulado en las operaciones mineras.

### 3.2.4 Coordinación de la Operación de Registro Geofísico

- **OBJETIVO:** Supervisar los reportes de turnos diarios realizados por los operadores de las camionetas de registro geofísico.

- **PROBLEMÁTICA:** Con el propósito de mejorar el aprovechamiento de uso de la disponibilidad de los vehículos utilizados para la operación de registro geofísico, se debe realizar un seguimiento y control de los informes de turnos diarios realizados por los operadores de dicha operación.
- **FUNCIONES:**
  - Análisis de los reportes de turnos diarios realizados por los operadores para asegurar el correcto diligenciamiento de estos.
  - Actualización de las gráficas de Uso y Disponibilidad de las camionetas de registro para revisión de gerencia de Servicios Técnicos y Superintendencia de Ingeniería de Minas.
  - Charlas de seguridad a los operadores de registro y diseñadores de cargue. De igual manera, sobre actualizaciones relacionadas a la operación según la necesidad que se presentara.
- **TIEMPO DE EJECUCIÓN:** Durante el periodo de las prácticas. 6 (seis) meses
- **RECURSOS EMPLEADOS:** Computador, software Excel y PowerPoint.
- **RESULTADOS OBTENIDOS:** Aprovechamiento de uso de la disponibilidad de las camionetas de registro geofísico. Mejoramiento de la ejecución de la operación.

### 3.2.5 Entrenamiento HAULSIM

- **OBJETIVO:** Realizar entrenamiento en el software Haulsim, que permita al estudiante dar soporte en el análisis de problemáticas que puedan presentarse en la operación minera.
- **PROBLEMÁTICA:** La empresa requería un personal capacitado en el manejo del software para presentar alternativas o estrategias de operación con el propósito de reducir gastos y optimizar recursos.
- **FUNCIONES:**
  - Recibir el entrenamiento.
  - Dar soporte al ingeniero encargado de dirigir el proyecto HAULSIM.
- **TIEMPO DE EJECUCIÓN:** 2 (DOS) Semanas.
- **RECURSOS EMPLEADOS:** Computador, módulo de entrenamiento.
- **RESULTADOS OBTENIDOS:** Certificación en el curso de entrenamiento HAULSIM.

### 3.2.6 Proyecto HAULSIM (Calibración y Análisis Colinas)

- **OBJETIVO:**
  - Calibrar el software HAULSIM para que los parámetros de simulación sean similares o iguales a los de la operación minera en campo.
  - Presentar una alternativa de operación al problema presentado en el sector colinas en el tajo Oreganal.
- **PROBLEMÁTICA:** El Sector Colinas en el tajo Oreganal ha estado presentando una disminución significativa en las velocidades de los

camiones a causa de la congestión en un tramo de la vía. Para presentar una alternativa en el Plan de acarreo actual es necesario utilizar el software Haulsim, ya que este puede presentar soluciones alternativas que no aumenten el costo de operación. Además, con el planteamiento de este problema, se pone a prueba por vez primera el uso y veracidad de esta herramienta.

- **FUNCIONES:**
  - Ingresar los datos de entrada (Grid, rutas, camiones, palas, equipos auxiliares, tareas, demoras estándar y demoras imprevistas, etc.)
  - Calibración del software Haulsim (ingresar parámetros de operación real)
  - Simulación del problema, comprobar y analizar resultados.
  - Crear alternativas (cambio de rutas, cambiar el Plan de acarreo, ubicación de palas y botadores, entre otros.)
  - Realizar simulaciones de las alternativas presentadas, verificar y analizar resultados de estas.
  - Comparar y escoger la mejor solución al problema planteado.
- **TIEMPO DE EJECUCIÓN:** 2 (Dos) Meses.
- **RECURSOS EMPLEADOS:** Computador, software (Haulsim, Excel). Plan de acarreo.
- **RESULTADOS OBTENIDOS:** La productividad del Plan de Acarreo mejoró al aumentar las velocidades de los camiones que presentaban la congestión en el tramo de una vía en el sector colinas del tajo Oreganal.

### 3.2.7 Prueba productividad de camiones 320 (EH5500 – Cat320) y 240 Ton.

- **OBJETIVO:** Evaluar la eficiencia de los camiones 320 y 240 para el cálculo de productividades.
- **PROBLEMÁTICA:** En la empresa se trabaja con 3 tipos de camiones para el cargue y transporte de material estéril (Hitachi EH5500 BL, Cat 793C y Komatsu 930 E-4), cada uno posee ciertos tiempos de viaje lleno y vacío promedio estimados por el Plan de acarreo, y se determina la velocidad de estos teniendo en cuenta las distancias recorridas desde el punto de cargue al botadero. El Plan de acarreo estaba siendo afectado por la falta en el cumplimiento de la productividad, debido a que los camiones 240 no se encontraban en su máxima eficiencia viéndose afectados por los camiones 320 y además estos últimos se igualaban en velocidad.
- **FUNCIONES:**
  - Tomar datos correspondientes a los tiempos de viaje vacío y lleno de los camiones.
  - Tomar datos del pesaje de los camiones con y sin carga.
  - Realizar el análisis de los datos en el programa Excel.
- **TIEMPO DE EJECUCIÓN:** 2 (Dos) días.
- **RECURSOS EMPLEADOS:** Camioneta, binoculares, cronómetros, planillas, computador con Minex y Excel

- **RESULTADOS OBTENIDOS:** Se calculó la velocidad de los camiones y se obtuvo la productividad de estos determinando que el camión 240 ton presentó mayor velocidad en los ciclos con respecto a los demás y manteniendo la productividad del plan de acarreo, sin embargo, este se ve afectado por las velocidades de los camiones 320 ton mostrando una pérdida de Bcm en cada viaje. Al igual, se determinó que las velocidades de los camiones 320 ton estaban resultando igual en las mediciones debido a un cambio en las especificaciones técnicas del Cat 793 al reducir su potencia.

### 3.2.8 Soporte en el proyecto piloto de verticalización para optimización de taludes.

- **OBJETIVO:** Proveer soporte en el proyecto de verticalización para optimización de taludes.
- **PROBLEMÁTICA:** El proyecto de verticalización de taludes consiste en maximizar el ángulo de las paredes altas para profundizar los niveles en el tajo y aprovechar los mantos de carbón. Por lo tanto, se requieren esquemas con los diseños de perforación y cargue de las voladuras, y además un protocolo de actividades para que todo esto siga un conducto regular aprobado por planeadores y consultores.
- **FUNCIONES:**
  - Creación de los esquemas de diseño de los 4 niveles de perforación y cargue de voladura.
  - Realizar el protocolo de las actividades que deben ejecutarse para las voladuras involucradas en la prueba piloto.
- **TIEMPO DE EJECUCIÓN:** La realización del protocolo se llevó a cabo en 1 (Un) día. En cambio, los esquemas de diseño se realizaban a medida que avanzaba el proyecto. Sin embargo, el tiempo aproximado fue de 3 (Tres) meses.
- **RECURSOS EMPLEADOS:** Computador con el programa Excel, PowerPoint, impresiones para la divulgación de los esquemas y el protocolo.
- **RESULTADOS OBTENIDOS:** Los esquemas de los 4 niveles de perforación y el protocolo de actividades para la prueba piloto fueron correctos y satisfactorio en el proceso. Antes de terminar con el periodo de prácticas, se realizaron las respectivas correcciones a cada diseño y fueron entregados para su divulgación al personal involucrado.

### 3.2.9 Toma y análisis de datos para el proyecto de modificación del sistema de Riego en tanqueros.

- **OBJETIVO:** Determinar el impacto generado en el control de emisiones debido a la modificación del sistema de riego de los tanqueros.



- **PROBLEMÁTICA:** Se requiere determinar el impacto generado en el control de emisiones por la modificación del sistema de riego en tanqueros Mega vs Cat (Caterpillar)
- **FUNCIONES:**
  - Recolección de datos en el área de prueba (tiempos dinámicos de tanqueros y el flujo de camiones que transitan en la vía, así como equipos auxiliares)
  - Análisis de la información en los programas Excel y Minitab.
- **TIEMPO DE EJECUCIÓN:** 2 (Dos) meses.
- **RECURSOS EMPLEADOS:** Camionetas, equipo Dustmate, planillas, cronómetros, computador (software Excel y Minitab).
- **RESULTADOS OBTENIDOS:** El Sistema de riego CAT presenta mejoras funcionales con respecto al Sistema MEGA.
  - ✓ Ajuste de flujo de acuerdo a la velocidad
  - ✓ Sistema de bombeo independiente de las RPM del motor
  - ✓ Mejor perfil de riego
  - ✓ Menor Mantenimiento

### 3.3 LOGROS ALCANZADOS

En la siguiente tabla se presenta el porcentaje de cumplimiento para cada uno de los objetivos trazados en el proceso de las prácticas.

**Tabla 1. Porcentaje de cumplimiento de logros alcanzados durante las prácticas**

OBJETIVOS	% DE CUMPLIMIENTO
Coordinar equipo de registro geofísico	90
Afianzar conocimientos en las diferentes actividades mineras	90
Reconocer los equipos mineros	95
Manejar la herramienta de Office Excel	80
Realizar análisis de datos tomados en campo para los diferentes proyectos trabajados durante el periodo de las prácticas	80
Aplicar la herramienta Minitab para análisis estadísticos	80
Afianzar conocimientos en el software minero Minex	65
Entrenar en curso del software minero Haulsim	100
Participar en el proyecto “Análisis Colinas” con la aplicación del software minero Haulsim	100

A continuación, se justifica el porcentaje de cumplimiento para cada uno de los objetivos mencionados:

### **3.3.1 Coordinar equipo de registro geofísico**

Durante el periodo de las practicas, una de las funciones que tuve a cargo fue coordinar al equipo de registro geofísico, en este debía poner en práctica habilidades de liderazgo que permitieran comunicarme de forma breve y clara a un grupo de operadores, para que estos llevaran a cabo de forma eficiente y eficaz su trabajo. El cumplimiento de este fue 90% dada a algunas limitaciones como la diferencia de los turnos y al cambio de estos.

### **3.3.2 Afianzar conocimientos en las diferentes actividades mineras**

Gracias a las prácticas y el departamento en el cual las realicé, pude aprender sobre el proceso minero, afianzando conocimientos y adquiriendo otros, ya sea en el campo o con los planeadores quienes me brindaron la oportunidad y la confianza de realizar algunas tareas junto a ellos. El cumplimiento de este logro es de 90% dada a la limitación del periodo de las practicas, ya que se debía profundizar más.

### **3.3.3 Reconocer los equipos mineros**

Las visitas a la mina, taller de mantenimiento y patio de ensamble, entre otras áreas permitieron el reconocimiento de cada equipo minero.

### **3.3.4 Manejar la herramienta de Office Excel**

El manejo de esta herramienta fue fundamental en las prácticas, ya que con esta se realizaban los informes del equipo de registro geofísico, análisis de datos, entre otras actividades asignadas durante el proceso. Aprendí sobre funciones en Excel que desconocía y profundicé conocimientos del programa.

### **3.3.5 Realizar análisis de datos tomados en campo para los diferentes proyectos trabajados durante el periodo de las prácticas**

Este logro tiene un 80% de cumplimiento. En el primer proyecto trabajado, no participe en la toma de datos solo realice el análisis de este. Para los últimos dos proyectos trabajados, estuve en la toma de datos y en el análisis, el cual fue junto a mi jefe inmediato. Por último, en el proyecto de productividad de los equipos mineros solo asistí algunas veces en la toma de datos. En este último, la limitación fue la duración de las practicas. Además, las competencias requeridas para algunos de los análisis y toma de decisiones sobre este.

### **3.3.6 Aplicar la herramienta Minitab para análisis estadísticos**

Gracias al departamento y sección donde he realizado las practicas, conocí esta herramienta en la cual se puede analizar datos y obtener los resultados

rápidamente. En los tres proyectos que participe, solo uno de ellos no requirió un análisis estadístico en Minitab, por otra parte, los demás sí, y alcance el logro mencionado. El cumplimiento de este fue 80% dada la limitación del tiempo para seguir profundizando en las diferentes funciones que pueden aplicarse con este.

### **3.3.7 Afianzar conocimientos en el software minero Minex**

Durante la realización de las prácticas logré afianzar conocimientos adquiridos en la universidad acerca del software minero Minex, sus funciones y lo que puede brindar sus distintas barras de herramienta. Al igual, el departamento me brindó la oportunidad de entender cómo se realizan planos mineros, secuencia minera, rampas, diseño de perforación y cargue, entre otros procesos que hacen parte de mi ámbito profesional como Ingeniera de Minas. El cumplimiento es 65% dada las limitaciones de atender a otras tareas o funciones diarias, el tiempo de las prácticas y además, debido a mi entrenamiento en el software minero Haulsim, una de mis funciones principales fue asistir a uno de los planeadores en el proyecto de este, por tal razón, las tareas en Minex fueron asignadas casi en su totalidad a mi compañera.

### **3.3.8 Entrenar en curso del software minero Haulsim**

El cumplimiento de este logro es 100%, ya que asistí al curso, lo terminé y obtuve mi certificación.

### **3.3.9 Participar en el proyecto “Análisis Colinas” con la aplicación del software minero Haulsim**

El cumplimiento de este logro es 100%, se realizó la calibración del software teniendo en cuenta parámetros y la información de entrada, se realizaron simulaciones y se presentó una solución como alternativa para la situación presentada en el proyecto. Es decir, se colocó a prueba el conocimiento adquirido en el entrenamiento del curso del software Haulsim y los resultados para la empresa fueron satisfactorios.

## **3.4 IMPACTOS PERCIBIDOS POR EL ESTUDIANTE**

A nivel personal, las prácticas me permitieron conocer profesionales que con sus aportes e historias acerca de sus experiencias me enriquecieron como persona, me introduje al mundo laboral sin saber que reto me enfrentaba, pero aun así estaba dispuesta a hacerlo, conté con la suerte de tener un jefe que a pesar de su carácter fuerte y sus exigencias, me guió para lograr la disciplina que se necesitaba para el cumplimiento de mis funciones, aprendí a acatar órdenes, al igual que darlas al dirigir a un personal de operadores que fortalecieron valores como respeto, tolerancia, paciencia y sobre todo trabajo en equipo.

A nivel académico, como practicante en el Departamento de Servicios Técnicos (Corto Plazo), me permitió conocer las distintas actividades correspondientes a la

minería como la etapa de Exploración con el modelamiento geológico de la mina, Planeación Minera (parámetros mineros, creación de planos, secuencia minera, etc.), Producción (Trabajo operativo, dirección y seguimiento al plan establecido para el cumplimiento semanal, mensual y anual), Perforación y Voladura (Diseño de mallas de perforación y Diseño de cargue), Calidad del carbón (Informe mensual de lo producido por tajos y en conjunto) y finalmente la sección de Métodos & Equipos que permitió conocer acerca de los equipos que hacen parte de una operación minera (Camiones, palas, taladros, equipos auxiliares, camionetas de registro, entre otros) y un plus importante fue la participación en proyectos que exigieron de análisis estadísticos, lo cuales hicieron fortalecer el uso y aprovechamiento de las múltiples funciones del programa Excel. Al igual, conocí aspectos de otras áreas relacionadas al campo de conocimiento que me concierne como la Hidrogeología, Geotecnia y Movimiento Eléctrico en una Mina.

A nivel laboral, las oportunidades de conocer la estructura organizacional de esta empresa, sus políticas, sus estándares de seguridad, la dirección para completar las actividades concernientes a un área donde su perspectiva es totalmente minero-administrativa, permitieron desarrollar habilidades propicias para su entendimiento, logrando así, la participación en la resolución y optimización de problemas en cualquier proceso y tareas operativas.

Adquirir experiencia laboral en una empresa como Carbones del Cerrejón Limited, debido a que es reconocida a nivel mundial por producir y exportar Carbón, es fundamental para reiterar las competencias adquiridas y ejercer profesionalmente de manera correcta en un proyecto minero.

### **3.5 LIMITACIONES**

La mayor limitación para realizar las prácticas, fue el desconocimiento de programas como Minitab y no conocer las múltiples funciones que tiene Excel. También, cabe admitir que a pesar de que software como Minex y Arcgis son enseñados durante la formación académica, se tiene un gran desconocimiento de muchas de las herramientas y funciones que se aplican a la disciplina del programa de Ingeniería de Minas.

## **4 PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

### **4.1 TITULO**

Implementación del software Haulsim para el aumento de velocidades de los camiones del Sector Colinas cerca al HW en el Tajo Oreganal en Carbones del Cerrejón Limited, Municipio Albania la Guajira.

### **4.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La minería es una actividad que representa un porcentaje significativo en la economía de Colombia debido a sus riquezas minerales. En el ámbito energético, se extrae carbón, gas y petróleo, metales como el oro y níquel, piedras preciosas como la esmeralda, sales minerales, entre otros. Carbones del Cerrejón Limited, es una de las empresas a cielo abierto más grandes de Latino América y el mundo, siendo el mayor productor y exportador de Carbón y la mayor parte de este, es utilizado para la generación de energía eléctrica.

La operación minera de Carbones del Cerrejón Limited, se constituye por las etapas de Prospección, Rescate y Relocalización de Fauna, Remoción de Suelos, Perforación y Voladura, Remoción-Cargue y Transporte de Carbón, Remoción de Estéril, etc. Por tal razón, la empresa cuenta con distintos Departamentos que ayudan en el cumplimiento de dichas etapas, entre ellos está el Dpto. de Servicios Técnicos – Planeación Corto Plazo, que se encarga de los planes semanales, mensuales y anuales a través de software especializados como Minex, Arcgis y Talpac. Este último, tiene como función principal “analizar el desempeño de las flotas de camiones existentes, para el cálculo de tiempo de viaje de camiones y para estimar las productividades de las flotas” (BENITEZ, 2012), permitiendo que exista un Plan de Acarreo y Botaderos, el cual “nos da a conocer el número de camiones por Tajo que se necesitan para mover el estéril y el carbón planeado a los sitios de botado con sus volúmenes” (BENITEZ, 2012).

Teniendo en cuenta lo anterior, el Sector Colinas en el tajo Oreganal ha presentado una disminución significativa en las velocidades de los camiones a causa de la congestión en un tramo de la vía. En el Plan de Acarreo asignado para esta zona, se tiene una ruta Sur por la que salen las palas K05, E31, I15 y Q03, y una ruta Norte por la que salen las palas K04 y Q05, ambas rutas se unen en la vía hacia el botadero Palmarito N+240 e incluso por el tema de voladuras, se da el caso en que los camiones de los 6 equipos de cargue salen por la misma ruta desde los niveles de las palas creando una alta congestión. Aunque una de las causas del problema sea tener un solo acceso hacia el botadero, otro factor que se debe tener en cuenta es sobre los equipos de transporte asignados para estas rutas, que son camiones 320 y 240 ton, los cuales manejan tiempos dinámicos y velocidades distintas, siendo el camión 240 ton más veloz y viéndose impactado

por el 320 ton. En consecuencia, las productividades de la flota de camiones se ven afectadas y la meta de producción del tajo no se cumple.

El Plan de Acarreo actual se hace utilizando el software Talpac, el cual sólo utiliza una simulación unitaria por ruta, donde se calcula el número óptimo por cada una, y después se van ajustando de acuerdo a la productividad de la flota para luego poder ubicar el número total de equipos en el tajo. En cambio, Haulsim es un software de simulación usado para modelar operaciones mineras, donde se puede aplicar la mejor configuración de equipos, aunque es un trabajo complejo porque involucra toda una red. Pero, desde el punto de vista de la empresa Carbones del Cerrejón Limited con una flota superior a 100 equipos, Haulsim distribuye de tal manera que se pueda minimizar el tiempo en que los equipos de cargue se encuentren detenidos, para que se equilibre la red de transporte, mejorando así, el Plan de Acarreo anterior. Al igual, puede eliminar y adicionar rutas alternativas que se ajusten a las condiciones reales de campo y con resultados sustentados establecer estrategias en el Plan sin generar costos.

En base a la información descrita anteriormente ¿Qué estrategia se puede implementar a través de Haulsim para mejorar las velocidades de los camiones 320 y 240 ton en el Sector Colinas en el tajo Oreganal?

### **4.3 JUSTIFICACIÓN**

El plan de Acarreo actual en Carbones del Cerrejón Limited, se hace realizando una simulación unitaria por ruta y con parámetros generales calibrados, pero no hay análisis dinámico del proceso de tal forma que se ajuste mejor a la realidad y a las condiciones de campo imperante y cambiante mes a mes. El análisis de alternativas se hace con datos técnicos pero con componentes empíricos o pruebas en campo de tal forma que no hay una simulación previa que sustente la alternativa.

Por lo tanto, se hace necesario contar con un software que simule las condiciones reales de campo, que tenga en cuenta la congestión, el impacto de los equipos auxiliares y la señalización, nos ayude a tomar mejores decisiones, mejorar el plan, y una vez obtenido esto hacer estrategias a largo y mediano plazo encaminadas a la reducción de costos y optimización de los recursos.

Teniendo en cuenta lo anterior, Haulsim es un software minero diseñado para simular operaciones mineras, permite interactuar con las condiciones establecidas recreando alternativas de planeación sin crear costo alguno y además sustentando la alternativa que se requiera. En este caso, se requiere del uso de este Software para implementar una estrategia que permita mejorar las velocidades de los camiones 320 y 240 Ton en el sector Colinas del tajo Oreganal.

## **4.4 OBJETIVOS**

### **4.4.1 Objetivo General**

Establecer una estrategia que mejore el decremento significativo de las velocidades presentadas por los camiones 320 y 240 Ton a causa de la congestión presentada en el sector Colinas del tajo Oreganal implementando el software minero Haulsim.

### **4.4.2 Objetivos Específicos**

- Calibrar el software Haulsim para que las velocidades sean similares a las arrojadas por el Plan de acarreo realizado actualmente en el programa Talpac.
- Reproducir la operación minera que refleje la situación actual del sector colinas en el tajo Oreganal.
- Manipular las condiciones asignadas en Haulsim e interactuar con estas de tal forma que puedan arrojar alternativas de mejoras al problema presentado.
- Definir una estrategia que sea aplicable a las condiciones reales de campo.

## **4.5 RESULTADOS ESPERADOS**

En el desarrollo de esta propuesta, se espera como resultado:

- Haulsim configurado en su totalidad con los parámetros generales de la Operación minera de la empresa.
- Demostrar como mejoraron las velocidades de los camiones 320 y 240 ton.
- Creación de una estrategia como alternativa de mejora hacia la situación en Colinas.
- Implementación de Haulsim para el análisis de alterativas de la Operación minera de la empresa.
- Simulador Haulsim para la reducción de costos y optimización de recursos.

## **4.6 MARCO DE REFERENCIA**

El marco de referencia está centrado en la recolección de información relacionada a la problemática planteada. Por una parte, se encuentra el marco de antecedentes, donde se consulta sobre investigaciones iguales o similares a esta, para determinar que conocimientos nuevos se obtuvieron, a que conclusiones llegaron y como esto puede ser de utilidad. Por otra parte, en el marco teórico, se conceptualiza y describen los temas que atañen de forma directa la temática central de la propuesta, a modo de introducción y contextualización en esta.

#### **4.6.1 Marco de Antecedentes**

Carbones del Cerrejón Limited representa para el país la operación minera con mayor dinamismo económico, proporcionando empleos, generando impuestos y regalías, colaborando con el desarrollo sostenible de la región, etc. Por consiguiente, sus actividades deben cumplir con la meta de productividad, considerando los estándares establecidos en seguridad, ambiente y salud. Encaminados en este mismo sentido, todos los procesos requeridos para llevar a cabo la extracción del Carbón son importantes y el hecho de contar con un software minero como Haulsim, que permita la solución de problemas analizando simulaciones que modelan la operación minera y generando alternativas o estrategias que pueden ser sustentadas, algo que antes a través de otros software utilizados por la empresa no sería posible, representa una ventaja significativa cuando se habla de reducción de costos u optimización de recursos.

En Colombia, el software Haulsim es utilizado únicamente en la empresa Carbones del Cerrejón. Por tal motivo, los antecedentes sobre la implementación de este para el mejoramiento del Plan de Acarreo son escasos. Sin embargo, en otros países como Perú y Brasil es usado, y en consultas anteriores con el representante de RPM Global (Runge Pincock Minarco) y entrenador del curso Haulsim Frederico Mello se obtuvo la siguiente información y cito: "...otros clientes calculan el número óptimo para cada ruta (como en Talpac). Después configuran las tareas de acuerdo con eso y, por último, van ajustando de acuerdo con la productividad de los equipos y el número total de equipos disponibles en el tajo." Lo que indica, que por primera vez en Haulsim se incluyen datos de flotas de camiones, equipos de cargue, equipos auxiliares, señalización, rutas extensas, múltiples tareas, entre otros datos de entrada en conjunto, para la realización de una simulación compleja.

#### **4.6.2 Marco teórico**

Los temas que se plasman a continuación, es una sinopsis escrita de libros y documentos o informes cortos que describen el conocimiento sobre el problema de estudio, por lo tanto, nos ayuda a justificar de alguna forma como esta investigación agrega valor a la bibliografía existente.

##### **4.6.2.1 HAULSIM**

HAULSIM es un software de simulación de eventos discretos usado para modelar con exactitud operaciones mineras. Con su sencilla interfaz de usuario y diseño intuitivo, HAULSIM permite a los usuarios simular operaciones actuales y futuras de planes mineros con total confianza. Decisiones de inversión de capital pueden ser realizadas con total precisión y un claro entendimiento del impacto total. (RPM GLOBAL, 2017)

HAULSIM es usado para probar los efectos de escenarios de "Qué pasa si..." tales como: (RPM GLOBAL, 2017)



- Añadir, remover o modificar un equipo;
- Mejorar las prácticas de mantención;
- Cambiar las rutas de transporte;
- Cambiar la distribución de los camiones;
- Los efectos de agregar o cambiar el control de tráfico;
- Modificar los límites de velocidad.

“Los procesos involucrados en la creación y análisis de un modelo HAULSIM...” (RPM GLOBAL, 2017) son los siguientes:

- ✓ Dibujar o importar una ruta
- ✓ Agregar ubicaciones
- ✓ Agregar equipos
- ✓ Asignar tareas o grupos
- ✓ Agregar demoras
- ✓ Ejecutar la simulación
- ✓ Ver y analizar los resultados

HAULSIM cuenta con beneficios de simulación, como son:

- Evaluar y analizar el desempeño de un sistema de carguío y transporte.
- Optimizar variables y KPIs de un sistema de carguío y transporte.
- Comparar alternativas y escenarios, con la perspectiva de ahorro de tiempo y dinero.
- Toma de decisión en base a evaluaciones más objetivas.
- Ahorro de costos de implantación de soluciones operacionalmente factibles.
- Mejora de los procesos de carguío y transporte.
- Incremento de la productividad e incremento en los ingresos.

#### **4.6.2.2 Plan de acarreo**

La empresa Carbones del Cerrejón Limited maneja un plan mensual minero para llevar a cabo sus respectivas operaciones, con el fin de cumplir con la producción anual. Dicho plan consiste en especificar la ubicación de cada pala, nivel y área de avance. Al igual, definir las rutas de salida de camiones para cada avance de las palas. Por consiguiente, "la primera tarea es ubicar los botaderos disponibles para el mes a planear, teniendo en cuenta la secuencia de botado entregada por Planeación Mediano Plazo la cual se computa con el Asbuilt mensual. (...) de esta forma quedan definidos los posibles espacios donde se puede descargar (ver figura 5)." (BENITEZ, 2012)

Por otra parte se requieren los planes mensuales de cada tajo en donde se especifique la ubicación de cada pala, el nivel y área de avance (ver figura 6). (BENITEZ, 2012)

Como parte final y fundamental del plan mensual de minería se realiza el plan de acarreo y botaderos. Este plan nos da a conocer el número de camiones por tajo que se necesitan para mover el estéril y el carbón planeado y los sitios de botado con sus volúmenes. (BENITEZ, 2012)

La planeación de los ciclos de acarreo tiene fundamentalmente tres partes que son: datos de entrada, procesos que se realizan a estos datos y el resultado que son las asignaciones de equipos a las palas y sitios de botado. (BENITEZ, 2012)

Por consiguiente, se realiza un balance, "...el cual consiste en hacer una distribución eficiente de camiones de tal forma que la suma de los camiones asignados sea igual al total de camiones disponibles en la mina." (BENITEZ, 2012)

Para llevar a cabo dicho proceso, se tiene en cuenta los siguientes datos de entrada: (BENITEZ, 2012)

- **Tiempos fijos, dinámicos, factores de carga y productividades**

- ✓ **Tiempos dinámicos:** Tiempo de viaje vacío y lleno, resultado del análisis de TALPAC
- ✓ **Tiempos fijos:** Tiempo de espera en pala, tiempo de acuatamiento en la pala, tiempo de cargue dependiendo del tipo de camión y equipo de cargue, tiempo de botado y demoras varias. Estos tiempos fijos son puestos internamente en la hoja de cálculo teniendo en cuenta los tiempos que se manejan en Cerrejón.
- ✓ **Factor de Cargue:** Se tienen los siguientes datos de acuerdo al tipo de camión.
  - [PRJ] CATERPILLAR 793C (240) – Cerrejón =94 Bcm/carga
  - [PRJ] HITACHI EH5000 BL Cerrejón (320) = 125 Bcm/carga
- ✓ **Productividad (Bcms/hr):** La productividad es el resultado de dividir el factor de cargue entre el tiempo total (tiempo fijo + tiempo dinámico), de tal forma que se puede saber la capacidad de acarreo que tiene un camión en determinada ruta.

- **Uso y Horas Lluvias**

Estos datos son proporcionados por Mediano Plazo, y varían dependiendo de la época del año.

- **Disponibilidad y Número de camiones**

La disponibilidad y el Número de camiones 240T y 320T son proporcionados por el Departamento de Mantenimiento.

- **Costo por Hora**

El costo horario por flota de camión es suministrado por la oficina de financiera de Producción.

- **Volúmenes en botaderos disponibles**

Se calcula cuanto volumen máximo se tiene para cada botadero disponible en sus diferentes niveles.

- **Volúmenes por pala y nivel**

La información de los volúmenes planeados para las palas y su respectivo nivel, se encuentra guardada en "Secoplan".

- **Otros datos**

A continuación se describen otros datos importantes

- ✓ Horas = 24 hr
- ✓ Relación Lleno/Vacío = 0.94. Este dato se usa para simular la reasignación que hace el CTD una vez los camiones hayan descargado en los botaderos, de tal forma que la distancia vacía es mayor a la llena.

#### **4.6.2.3 Cálculo de camiones**

El ejercicio de cálculo se basa en que sabiendo cuanto volumen debe sacar determinada pala en los diferentes niveles en los que vaya a estar durante todo el mes, debemos calcular cuántos camiones en promedio ponderado se necesitarían para sacar este volumen. (BENITEZ, 2012)

Por ejemplo:

- Para un solo nivel de pala y un solo botadero
  - ✓ Volumen pala (X) en nivel (Y): 700.000 BCMS
  - ✓ Productividad de camiones 320 desde pala (X) EN N+Y al pueblo N+Z: 200 BCMS/HR
  - ✓ Uso: 90%
  - ✓ Disponibilidad: 80%
  - ✓ Días de la ruta: 30
  - ✓ Horas del día: 24
  - ✓ Capacidad de acarreo:  $\text{productividad (200BCMS/HR)} * \text{uso (0.90)} * \text{disponibilidad (0.80)} * 24\text{horas} * 30 \text{ días} = 103.680 \text{ BCMS/MES}$
  - ✓ Número de camiones para la ruta por mes:  $700.000\text{BCMS}/103.680\text{BCMS}/\text{CAMIÓN} = 6.75 \text{ Camiones}$
- Para el caso de palas que vayan a tener varios niveles y puedan descargar a varios botaderos se cuenta con varias rutas y por ende varias

productividades. Básicamente se hace el mismo cálculo asignando un volumen a cada ruta y por ende un número de días por ruta. Al final se tienen varios resultados de números de camión (un resultado por cada ruta) y estos son ponderados por volumen para calcular el resultado definitivo. (BENITEZ, 2012)

#### **4.6.2.4 Uso de TALPAC en la planeación de ciclos**

TALPAC es un software que se utiliza para analizar el desempeño de las flotas existentes, es decir, para el cálculo de tiempo de viaje de camiones y para estimar la productividad de la flota, de tal forma que permite hacer un análisis relativo de alternativas de ruta de transporte y sea usado en estudios de planeación de corto plazo. (BENITEZ, 2012)

Los datos de entrada más relevantes son: los datos resultantes de las rutas digitalizadas, resistencia a la rodadura del material de la vía, los límites de velocidad definidos y la época del año discriminando si se está en verano o en invierno. (BENITEZ, 2012)

La información generada por Talpac es copiada y llevada a las hojas de cálculo de productividad, donde se hace el balance de camiones que consiste en asignar el número de camiones por pala y por ende por tajo. (BENITEZ, 2012)

### **4.7 METODOLOGÍA**

La realización de esta propuesta estuvo enfocada en una investigación exploratoria, ya que por vez primera es implementado el software minero de simulación HAULSIM en Colombia y en la empresa Carbones del Cerrejón Limited para resolver una problemática, donde se identifican nuevas variables a partir de datos de entrada que originan una simulación compleja.

Se pretende alcanzar los objetivos de este proyecto, principalmente mediante la calibración de HAULSIM con respecto a las velocidades de los camiones, es decir, se ingresan los datos de entrada y parámetros de configuración correspondientes a la problemática presentada en el Sector Colinas cerca al HW del tajo Oreganal. Se ejecutan múltiples simulaciones para establecer valores próximos o iguales a las velocidades de los camiones (tiempos dinámicos: Viaje Lleno, Viaje Vacío) utilizados en el campo y que están determinados por el Plan de Acarreo. Luego, se varían los valores de la velocidad máxima y mínima en el software para que estas sean iguales a las establecidas (Velocidad máxima y mínima estándar), se descargan los reportes de cada iteración en formato Excel para calcular y comparar las velocidades teniendo en cuenta las rutas (Distancia) y los camiones (tiempos de viaje) asignados en el Plan.

Basados en los resultados sobre las velocidades idóneas para reproducir una simulación que represente la operación minera, se procede a realizar un análisis

que derive respuestas sobre cómo y qué está afectando la producción y a su vez, que se establezcan opciones para experimentar y/o manipular las condiciones originales. Por lo tanto, la situación actual refleja que los camiones salen del CC (Cambio en Caliente) Dique Lina y del CC PH-31, se tiene una ruta Sur por la que salen la cuatro (4) palas, y una ruta Norte por la que salen dos (2), estas rutas se unen en el botadero Palmarito N+240 y se crea una zona de bajas velocidades provocadas por la congestión. El Volumen diario planeado en esa zona es de 110.900 BCMs y en la simulación este puede mejorar, ya que Haulsim trabaja de forma ideal, por tal motivo se deben hacer estrategias de mejora para la problemática real, lo importante es que tal volumen sea similar al requerido en el Plan para definir alternativas de mejoras al problema presentado.

Principalmente, las alternativas de mejoras para las simulaciones que continúan se realizaran bajo la manipulación de algunas de las condiciones o configuraciones predeterminadas, por ejemplo, separar los flujos por el corredor de HW y en Botadero Palmarito N+240, es decir, los camiones salen por los mismos CC y se tienen las mismas rutas, solo se cambiaría el flujo de la K05 a unir la con la ruta Norte, de esta forma se reparten la cantidad de camiones por ruta, lo que disminuiría la congestión y favorecería las velocidades, así mismo al mantener las rutas separadas en el botadero hasta unirse en un tramo final de la vía aportaría positivamente a las velocidades. Por lo tanto, como acción prioritaria para esta alternativa, se debe construir un corredor por el HW que permita separar el flujo del Sur, lo que representaría altos costos y el uso de recursos para la empresa que deben justificarse. Por esta razón, se debe realizar una simulación de un Escenario de Riesgo que muestre una única ruta por el Sur, así se puede dimensionar el riesgo que se corre de no tener ruta por el Norte y no hacer la separación de flujo de camiones. Al hacer esto, se justifica la estrategia que se llegue a implementar gracias al análisis de la información arrojada por Haulsim.

#### **4.8 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS**

La propuesta “Implementación del software Haulsim para el aumento de velocidades de los camiones del Sector Colinas cerca al HW en el Tajo Oreganal en Carbones del Cerrejón Limited, Municipio Albania la Guajira.” Proporcionó los siguientes logros:

1. Se determinó la velocidad máxima y mínima para la calibración del Software Haulsim (Ver figura 7) de esta manera los camiones actúan de forma óptima en la simulación al presentar velocidades similares a las reales. Aunque esta calibración se hizo con el fin de resolver la situación del Tajo Oreganal donde se presentaban congestiones por la velocidad de los camiones y el único modelo utilizado fue este, el resultado obtenido sirve para finalizar la configuración general de cada uno de los modelos de los tajos.

2. Se logró representar la situación del Sector Colinas con éxito. Al realizar la iteración que representa la problemática presentada, se evaluó que a pesar de que los tramos están congestionados, el volumen diario actual simulado cumple con el plan. Lo que quiere decir, que el volumen extraído no se ve afectado, pero el Plan de Acarreo si, al estar impactado por factores como Uso y Disponibilidad a causa de las bajas velocidades (Ver figura 8).

3. Al manipular las condiciones originalmente configuradas en Haulsim, ratificó la idea de separar el flujo de camiones como alternativa de mejora, ya que se determinó que hay mayor producción diaria (Aprox. 8.000 BCMs) siempre y cuando las palas estén en condiciones óptimas de disponibilidad y tiempos de pala. Además, se puede reducir entre 1 y 2 camiones por turno si las demás condiciones del área lo permiten (Velocidades, Uso, Disponibilidad, etc.), es decir, que además de aumentar la producción, se puede prescindir de algunos recursos (camiones), lo que representa una optimización significativa en la operación (Ver figura 10). Por otra parte, el escenario de riesgo demostró que si se tiene una única ruta de salida por el Sur para las 6 palas y una sola ruta en el sector del Botadero Palmarito N+240 la producción diaria se reduce en un 8% y se incumpliría el Plan (Ver figura 12).

**Tabla 2. Resultados de Volumen en porcentaje extraído de las simulaciones**

<b>SIMULACIÓN</b>	<b>VOLUMEN BCMs</b>
<b>Simulación 1</b> Situación Actual	Porcentaje Vs Plan 101% <b>Similar</b>
<b>Simulación 2</b> Alternativa de Mejora	Porcentaje Vs Plan 108% <b>Aumenta</b>
<b>Simulación 3</b> Escenario de Riesgo	Porcentaje Vs Plan 92% <b>Disminuye</b>

4. Por lo anterior, la estrategia final es separar el flujo de los camiones 320 y 240 Ton, construyendo un corredor por el HW, para que estos mejoren sus velocidades, además utilizar una rampa central del Botadero Palmarito N+220 a N+240 desde el flujo Sur para separar aún más las rutas.

A continuación, se presenta en la tabla 4 el porcentaje de cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación.

**Tabla 3. Porcentaje de Cumplimiento para los Objetivos de esta propuesta**

<b>OBJETIVO</b>	<b>% DE CUMPLIMIENTO</b>
Calibrar el software Haulsim para que las velocidades sean similares a las arrojadas por el Plan de acarreo realizado actualmente en el programa Talpac.	100



## 5 LOGROS ALCANZADOS

La primera tarea para alcanzar los logros en esta propuesta, fue el entrenamiento en el curso Haulsim. Durante la capacitación, se crea en primera instancia el modelo de un tajo con parámetros y características ideales en una mina de explotación a cielo abierto como parte del entrenamiento, para luego configurar un modelo de cualquier tajo escogido de la empresa en la que se realiza la capacitación. Por consiguiente cuando se logran los objetivos del curso, el siguiente paso es calibrar de forma óptima cada tajo que contiene la mina del Cerrejón, en lo cual estuve involucrada e hizo parte de mi aprendizaje. A cada tajo en campo, le pertenece un modelo en Haulsim y todos configurados con los mismo parámetros y especificaciones técnicas de la mina, lo único cambiante es la topografía, rutas, ubicaciones de equipos de cargue y transporte, y equipos auxiliares, señalización y cantidad de camiones 320, 240 y 190 Ton.

Por lo dicho anteriormente, los resultados obtenidos en la implementación de este proyecto fueron:

- Los modelos en Haulsim de cada tajo se encuentran configurados en su totalidad con los parámetros y especificaciones técnicas utilizadas en la Operación Minera de la empresa Cerrejón, debido a la calibración hecha en el tajo Oreganal para resolver el problema de congestión presentado en el Sector Colinas.
- Las velocidades de los camiones 320 y 240 Ton mejoraron y ya no se presentan congestiones gracias a la alternativa de mejora implementada. Lo anterior se debe al correcto control y seguimiento durante y después de la situación descrita previamente, se evidenció el incremento en las velocidades de los camiones al separar el flujo de estos, no solo adicionando un corredor desde el Sur para alejar las rutas, sino que también se clasificaron los camiones, es decir, se distribuyeron de forma estratégica los 240 Ton con algunos 320 Ton para que transitaran por una vía diferente a los otros camiones 320 Ton ya que se demostró durante el análisis de las pruebas, que estos afectan las velocidades dinámicas de los 240 Ton porque estos últimos tienen mejores tiempos de viajes en el Plan de Acarreo.
- El software minero Haulsim ha sido implementado para el análisis de alternativas, encaminadas a buscar mejoras en la Operación de la empresa, a tomar sabias decisiones, y una vez obtenido esto hacer estrategias a largo y mediano plazo para la optimización de recursos y a su vez reducción de costos. El porqué de que se reduzcan los costos, va de la mano con el hecho de que antes la empresa no contaba con un software que permitiera justificar un cambio de mejora u optimización de algún proceso directamente relacionado con la operación minera, ya que solo se tienen datos técnicos que aunque contiene componentes empíricos, solo se trabaja con alternativas teóricas, donde se realizan pruebas pilotos que pueden resultar de forma positiva, pero en caso de que no funcione, se



obtienen pérdidas en el Uso de recursos como personal, equipos y tiempo. En cambio, con Haulsim las alternativas se sustentan con simulaciones complejas que asemejan la realidad en campo con un análisis dinámico de la operación.

## **6 IMPACTOS PERCIBIDOS POR EL ESTUDIANTE**

La realización de las prácticas en la empresa Carbones del Cerrejón Limited, permitieron ampliar y afianzar los conocimientos previamente adquiridos durante mi proceso académico como Ingeniera de Minas. A nivel personal y profesional, tuve la oportunidad de encontrar personas con gusto por el trabajo en equipo y abiertos a la enseñanza para contar sus experiencias, su modo de trabajo, aconsejar y sobre todo guiar en este proceso de aprendizaje continuo. Al igual, aprendí como referirme a las personas, manejar mis emociones, exponer mis ideas, aceptar críticas constructivas y/o sugerencias de los demás.

Por otra parte, al trazarme objetivos en diferentes áreas de aprendizaje, desarrollé habilidades como el manejo de software, manejo de información sensible, coordinar un grupo de personas, toma de datos en campo, análisis operacional, optimizar procesos, etc., lo cual permite crear una clara perspectiva del campo laboral.

## **7 LIMITACIONES**

El desarrollo de esta propuesta estuvo limitado principalmente por el tiempo que podía dedicarle al mismo, es decir, mis practicas universitarias fueron realizadas en la sección de Métodos & Equipos en el Departamento de Servicios Técnicos. Sin embargo, el proyecto “Análisis Colinas” pertenecía al Planeador de Vías y Botaderos, por tal razón, para brindar soporte en este, debía priorizar y terminar las tareas asignadas por mi jefe inmediato, lo cual consumía la mayor parte del tiempo. Al igual, este proyecto se vio afectado por la falta de recursos, es decir, el computador asignado para trabajar en dicho proyecto no me pertenecía, en consecuencia, trabajé con el del Supervisor de Minas, ya que este contenía el Software Minero Haulsim, el cual es el requerimiento principal para la realización del mismo. Y solo pude utilizarlo, en momentos en los cuales se encontraba disponible.

## 8 CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación presentada, la implementación del software Haulsim para resolver la congestión por bajas velocidades presentadas en el Sector Colinas del Tajo Oreganal, determinó que es necesario separar el flujo de una pala (esta carga el mayor volumen de la zona) del flujo de la ruta Sur y unirlo a la ruta del Norte, de esta forma se reparten la cantidad de camiones por ruta y así se disminuye dicha congestión, lo cual favorece las velocidades y no se ven afectados factores como el Uso y la Disponibilidad. Al igual, se deben mantener separadas las rutas que van hacia el botadero Palmarito hasta que se unan en un tramo final de la vía y esto generaría más ganancias en la producción con un volumen mayor de aproximadamente 8.000 BCMs. Además, los resultados obtenidos en la simulación demuestran que se pueden optimizar los recursos de la Operación al poder prescindir de 1 y hasta 2 camiones para el Plan de Acarreo previsto en esa zona.

Durante el desarrollo de este proyecto, se tuvo en cuenta un escenario de riesgo para justificar el cambio en el Plan y que pasaría si la situación en Colinas continuaba de tal forma, ya que el volumen extraído no se veía afectado, en cambio el Uso y Disponibilidad de camiones sí. Por lo tanto, se resume en que al tener una única ruta por el Sur donde se encuentran las palas y salen los camiones cargados hacia el Botadero, en un momento dado las velocidades empezaran a afectar la producción y se incumpliría el Plan.

Por lo general, el análisis de alternativas se hace con datos técnicos, pero no con componentes empíricos o pruebas en campo, de tal forma que no existe una forma de realizar una simulación que sustente tales alternativas. Por consiguiente, Haulsim es un software que cumple con estas características, donde puede simular condiciones reales de campo y al cual se le pueden ingresar configuraciones tales como: topografía, equipos mineros, equipos auxiliares, rutas, señalización, datos sobre mantenimientos de equipos (horas), demoras estándar (lunch, tanqueo, etc.), demoras irregulares (no están previstas), entre otras condiciones, las cuales vuelven más compleja este tipo de pruebas.

De esta manera, se concluye que la implementación del software Haulsim como simulador de operaciones mineras de la empresa para el análisis de alternativas de mejoras, nos ayuda a tomar buenas decisiones en el momento de desarrollar alguna estrategia de optimización para el Plan de Acarreo como en este caso, u otros procesos en los cuales se busque reducir costos al disminuir los recursos utilizados.

## 9 RECOMENDACIONES

- Realizar modificaciones y validaciones de los nuevos planes mensuales. Con la calibración de Haulsim y sus parámetros generales configurados, ya se puede contar con un modelo por tajo, solo se debe tener en cuenta las actualizaciones de los nuevos sitios de palas y botaderos cada mes o según el avance de la Operación.
- Tener en cuenta que Haulsim no hace un cálculo automático de flota de camiones por Tajo a pesar de tener todas las herramientas para hacerlo ni tampoco hace optimizaciones automáticas.
- Crear los reportes y acondicionar la herramienta para usar las productividades por ruta de tal forma que sea de uso primario para el Plan Mensual.
- Realizar simulaciones continuas que originen estrategias para optimizar el Uso y la Productividad. Al igual, con los datos y rutas, realizar simulaciones encaminadas a buscar ahorros en planes anuales, trimestrales o mensuales de acarreo.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

- BENITEZ, C. (2012). *Procedimiento de Planeación de Ciclos de Acarreo y Control de Avance de Botaderos*. Departamento de Planeación Corto Plazo, Carbones del Cerrejón Limited, La Guajira, Albania.
- Benitez, C., & Fonseca, M. (Octubre de 2017). *Análisis Colinas*. Albania, La Guajira.
- Carbones del Cerrejón Limited. (2017). *Cerrejon Minería Responsable*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2017, de Cerrejón Minería Responsable: <https://www.cerrejon.com/index.php/nuestra-operacion/nuestra-empresa/>
- Carbones del Cerrejón Limited. (2017). *Cerrejón Minería Responsable*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2017, de Cerrejón Minería Responsable: <http://intranetcerrejon/Nuestra-Empresa/Paginas/default.aspx>
- Carbones del Cerrejón Limited. (2017). *Cerrejón Minería Responsable*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2017, de Cerrejón Minería Responsable: <https://www.cerrejon.com/index.php/nuestra-operacion/nuestro-producto/>
- CERREJÓN. (2017). *Cerrejón Minería Responsable*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2017, de Cerrejón Minería Responsable: <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa.aspx>
- CERREJON. (1 de Enero de 2017). *Introducción*. (J. Verdeza, Ed.) Albania, La Guajira.
- RPM GLOBAL. (2017). *Guía de Entrenamiento. HAULSIM - OPEN PIT Guía de Entrenamiento, Versión 2.5*. Brasil.

## 11 GLOSARIO

**ASBUILT:** se refiere a la actualización topográfica de la mina a una fecha dada. En el Cerrejón normalmente esta actualización se hace a mitad y fin de mes.

**CTD:** sigla correspondiente al Computer Truck Dispatch. Este sistema es administrado por los analistas de la **Base de Despacho de Camiones** del Departamento de Producción y a través de este se distribuyen turno por turno los camiones desde las diferentes palas hasta los sitios planeados de descarga.

**KPIs:** es el sistema por medio del cual se clasifican actividades importantes y críticas en la operación y se miden a través de un indicador de tal forma que se le pueda hacer seguimiento. Estos KPIs sirven para medir la gestión de las personas y por lo tanto su calificación anual.

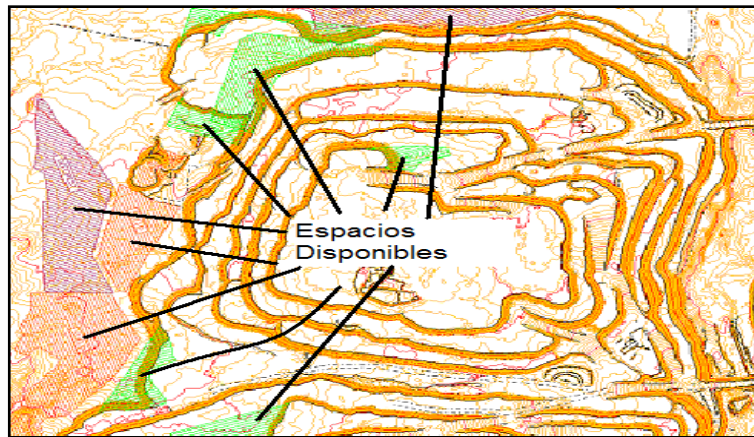
**MINEX:** software especializado en minería y geología. Utilizado para digitalización y despliegue de máscaras y rutas, cálculos volumétricos, despliegue de mantos, entre otros.

**TALPAC:** software que se utiliza para analizar el desempeño de las flotas de camiones existentes, para el cálculo de tiempo de viaje de camiones y para estimar las productividades de las flotas.

## 12 ANEXOS

### Anexo A. Espacios disponibles de botado para el funcionamiento adecuado del Plan de Acarreo

Figura 5. Sitios tentativos de botado (Software Minex)

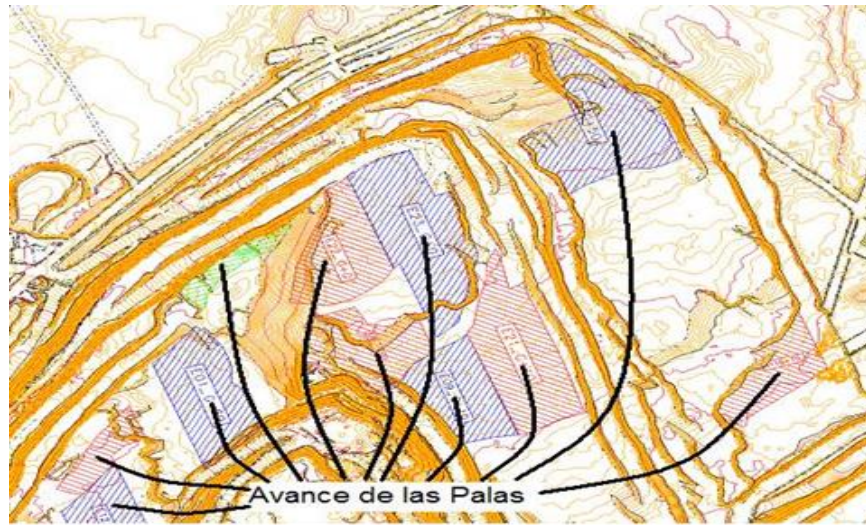


**Fuente:** figura 2. Informe del Procedimiento de Planeación de Acarreo y Control de Avance de Botaderos. (BENITEZ, 2012)

### Anexo B. Imagen de cómo se representa un avance de palas en un Plan Mensual de Minería

Figura 6. Avance de palas en Plano Mensual de Minería (Software Minex)





Fuente: figura 3. Informe del Procedimiento de Planeación de Acarreo y Control de Avance de Botaderos. (BENITEZ, 2012)

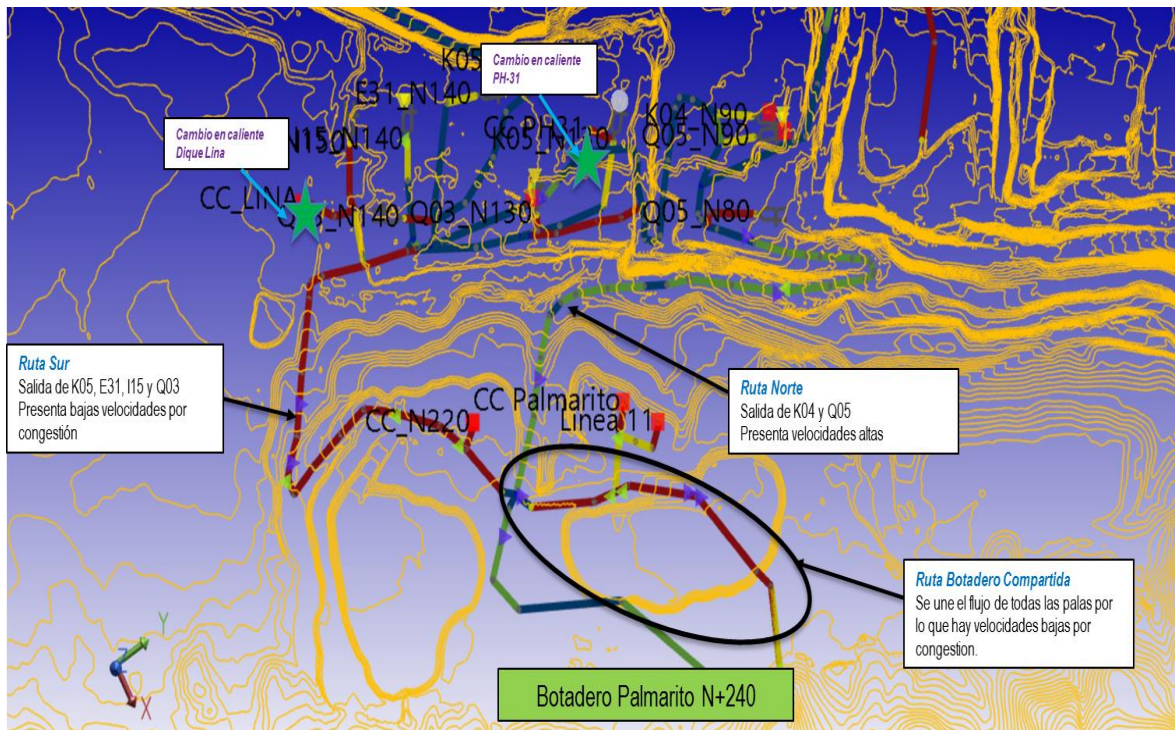
**Anexo C. Reporte extraído de Haulsim (Archivo Excel) para ser evaluado y determinar que las velocidades son similares a las descritas en el Plan de Acarreo.**

**Figura 7. Hoja de cálculo para ratificar las velocidades seleccionadas en el software**

KEY	SIMULATION TIME (MIN)	EQUIPMENT	ID	SOURCE	DESTINATIO N	TRAVEL LOADED (MIN)	TRAVEL EMPTY (MIN)	DISTANCE LOADED	DISTANCE EMPTY	T. VIAJE LLENO (HORAS)	T. VIAJE VACIO (HORAS)	VELOCIDAD LLENO	VELOCIDAD VACIO
19000124	24,11	CAM240_01	1	K03_N35	RETRO_100	9,41	7,57	3,49	3,45	0,156833	0,126167	22,2529224	27,34478203
19000225	56,03	CAM240_01	2	I16_N65	PAT_160ENT	9,56	8,06	3,34	3,82	0,159333	0,134333	20,9623431	28,43672457
19000319	79,13	CAM240_01	3	K03_N65	PAT_160FON	11,24	6,84	4,28	3,3	0,187333	0,114	22,8469751	28,94736842
19000410	101,9	CAM240_01	4	K03_N65	RETRO_100	10,21	8,11	3,84	4,28	0,170167	0,135167	22,5661117	31,66461159
19000502	123,3	CAM240_01	5	I33_N45	RETRO_100	9,72	7,77	3,8	3,8	0,162	0,1295	23,4567901	29,34362934
19000523	144,89	CAM240_01	6	I33_N45	RETRO_100	9,75	7,77	3,8	3,8	0,1625	0,1295	23,3846154	29,34362934
19000611	163,64	CAM240_01	7	K03_N35	RETRO_100	9,37	7,30	3,49	3,49	0,156167	0,121667	22,3479189	28,68493151
19000703	185,19	CAM240_01	8	K02_N75	PAT_160ENT	9,75	9,64	3,32	4,48	0,1625	0,160667	20,4307692	27,88381743
19000730	212,11	CAM240_01	9	I33_N45	RETRO_100	9,61	11,70	3,8	6,02	0,160167	0,195	23,7252862	30,87179487
19000820	233,32	CAM240_01	10	K03_N65	PAT_160FON	11,06	8,09	4,28	3,85	0,184333	0,134833	23,2188065	28,55377009
19010317	442,14	CAM240_01	11	I16_N65	RETRO_100	9,90	9,52	3,82	4,76	0,165	0,158667	23,1515152	30
19010408	464,55	CAM240_01	12	K02_N75	PAT_160FON	11,00	9,38	4,31	4,48	0,183333	0,156333	23,5090909	28,65671642
19010501	487,13	CAM240_01	13	K02_N75	PAT_160ENT	9,75	8,44	3,32	4,31	0,1625	0,140667	20,4307692	30,63981043
19010520	506,48	CAM240_01	14	K03_N65	RETRO_100	10,21	6,84	3,84	3,3	0,170167	0,114	22,5661117	28,94736842
19010616	533,73	CAM240_01	15	I16_N65	RETRO_100	9,95	8,06	3,82	3,82	0,165833	0,134333	23,0351759	28,43672457
19010709	556,18	CAM240_01	16	K02_N75	PAT_160FON	11,00	9,38	4,31	4,48	0,183333	0,156333	23,5090909	28,65671642
19010730	577,2	CAM240_01	17	K02_N75	PAT_160ENT	9,61	8,44	3,32	4,31	0,160167	0,140667	20,7284079	30,63981043
19010819	597,07	CAM240_01	18	K03_N65	RETRO_100	10,14	6,84	3,84	3,3	0,169	0,114	22,7218935	28,94736842
19010910	619,62	CAM240_01	19	K02_N75	PAT_160FON	11,00	9,40	4,31	4,48	0,183333	0,156667	23,5090909	28,59574468
19011006	645,76	CAM240_01	20	K03_N65	RETRO_100	10,21	8,30	3,84	4,28	0,170167	0,138333	22,5661117	30,93975904
19011030	669,75	CAM240_01	21	K02_N75	PAT_160FON	11,00	9,40	4,31	4,48	0,183333	0,156667	23,5090909	28,59574468
19020211	773,33	CAM240_01	22	K02_N75	PAT_160ENT	9,75	16,39	3,32	5,43	0,1625	0,273167	20,4307692	19,87797437
19020305	795,54	CAM240_01	23	K03_N65	PAT_160FON	11,09	6,84	4,28	3,3	0,184833	0,114	23,1559964	28,94736842

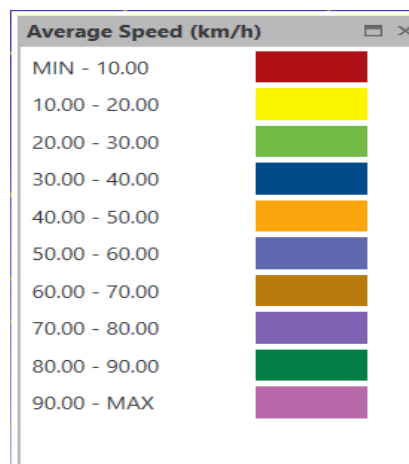
## Anexo D. Simulación 1

**Figura 8. Representación de la Situación en el Sector Colinas del Tajo Oreganal**



Fuente: (Benitez & Fonseca, 2017)

**Figura 9. Velocidades Max y Min por rutas de la simulación (guía en colores)**

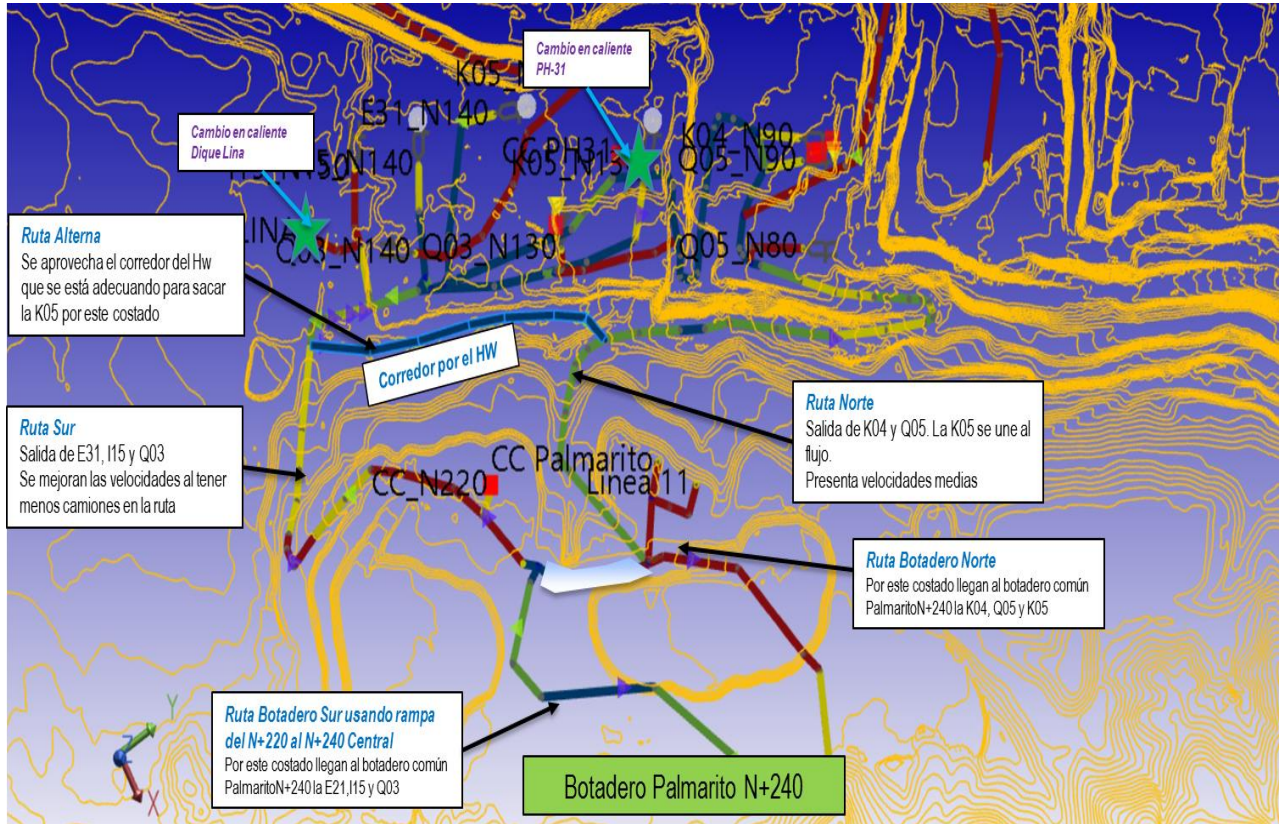


Fuente: (Benitez & Fonseca, 2017)



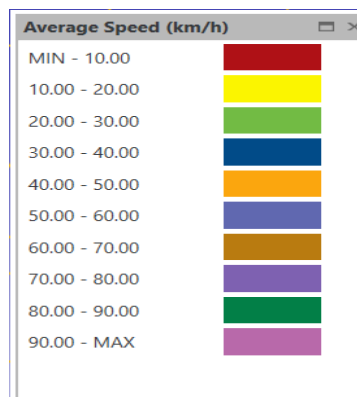
## Anexo E. Simulación 2

Figura 10. Estrategia de Optimización del Plan de Acarreo



Fuente: (Benitez & Fonseca, 2017)

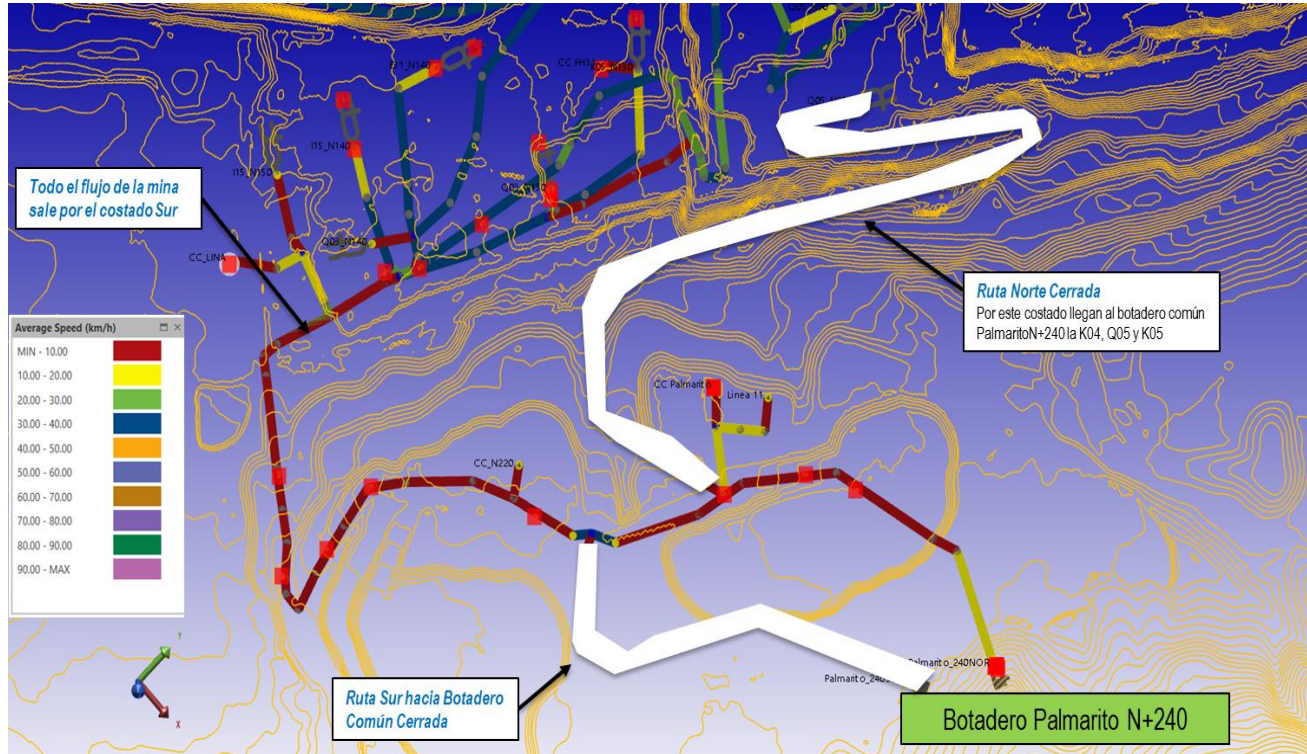
Figura 11. Cuadro de Velocidades



Fuente: (Benitez & Fonseca, 2017)

## Anexo F. Simulación 3

### Figura 12. Escenario de Riesgo



#### Resumen sistema Acarreo:

- Los camiones salen del CC Dique Lina y del CC PH-31
- Se asume una única ruta Sur por la que salen la E31, I15, Q03, K05, K04 y Q05
- La única ruta va hacia el sitio de botado Norte en Palmarito N+240

**Simulación 3:** Se tuvieron en cuenta 22 camiones 240 y 17 camiones 320 de acuerdo al plan mensual de Octubre/17

Volumen Plan 24hr: 110.900 BCMs

Volumen Simulación Situación con única ruta : 101.700 BCMs Lo que representa una disminución de la producción correspondiente al 92%

**Conclusión:** Si se tiene una única ruta de salida por el Sur para las 6 palas y una sola ruta en el sector del botadero Palmarito N+240 la producción diaria se reduce en un 8% y se incumpliría el Plan.

Fuente: (Benitez & Fonseca, 2017)



**Anexo G. Tablas dinámicas del CTD sobre el progreso de las velocidades durante los meses Noviembre y Diciembre en el Sector Colinas. Camiones 320 Ton**

**Figura 13. Noviembre – Diciembre (Camiones 320 Ton)**

Debe seleccionar un Tipo Material (Carbón o Estéril)		Tiempos (Min)	Real
Tipo Material		Viaje Vacio	10.20
Carbón <input type="checkbox"/> Estéril <input checked="" type="checkbox"/>		Ajust. Distancia	2.25
Selecciones		Spot	0.83
Fecha	<input type="checkbox"/>	Cargue	1.95
Turno	<input type="checkbox"/>	Viaje Llento	13.18
Hora	<input type="checkbox"/>	Ajust. Distancia	0.60
Zona	CENTRAL	Botado	3.47
Tajo	OREGANAL 1	Demoras	1.98
Grupo	<input type="checkbox"/>	D Conocidas	1.49
Equipo Acarreo	<input type="checkbox"/>	D. Indeterminadas	32.47
Tipo Flota Car...	<input type="checkbox"/>	Total Ciclo Acarreo	
Flota Cargue	<input type="checkbox"/>		
Equipo Cargue	<input checked="" type="checkbox"/>		
Flota		Concepto	Real
CAM320		Velocidad Vacio (Km/h)	25.55
CAMION240		Velocidad Llento (Km/h)	15.93
CAM777		Distancia Vacio (Km)	4.34
CAR789C		Distancia Llento (Km)	3.50
Tajos		Distancia Vertical (Mts)	120.3
OREGANAL 1	PATILLA	Concepto	Real
TAJO 100	TABACO TOTAL	Factor Cargue (BCM's)	121.90
ANNEX		Productividad Ajust.	225.24
COMUNEROS		Distancia	
EWP			
LA PUENTE			
Selecciones Actuales			
Campos	Valores		
FLOTA_	<input checked="" type="checkbox"/> CAM320		
IDPALA	<input checked="" type="checkbox"/> E31, I15, K04, K05, Q03, Q05		
DES_TA	<input checked="" type="checkbox"/> OREGANAL 1		
MES	<input checked="" type="checkbox"/> Nov		
TIPO_M	<input checked="" type="checkbox"/> Estéril		
_metrics	<input checked="" type="checkbox"/> Real		
_metrics	<input checked="" type="checkbox"/> Real		
_metrics	<input checked="" type="checkbox"/> %OEE Real		

Debe seleccionar un Tipo Material (Carbón o Estéril)		Tiempos (Min)	Real
Tipo Material		Viaje Vacio	9.95
Carbón <input type="checkbox"/> Estéril <input checked="" type="checkbox"/>		Ajust. Distancia	2.80
Selecciones		Spot	0.90
Fecha	<input type="checkbox"/>	Cargue	2.16
Turno	<input type="checkbox"/>	Viaje Llento	13.06
Hora	<input type="checkbox"/>	Ajust. Distancia	0.58
Zona	CENTRAL	Botado	3.64
Tajo	OREGANAL 1	Demoras	2.12
Grupo	<input type="checkbox"/>	D Conocidas	1.52
Equipo Acarreo	<input type="checkbox"/>	D. Indeterminadas	33.09
Tipo Flota Car...	<input type="checkbox"/>	Total Ciclo Acarreo	
Flota Cargue	<input type="checkbox"/>		
Equipo Cargue	<input checked="" type="checkbox"/>		
Flota		Concepto	Real
CAM320		Velocidad Vacio (Km/h)	26.10
CAMION240		Velocidad Llento (Km/h)	15.99
CAM777		Distancia Vacio (Km)	4.33
CAR789C		Distancia Llento (Km)	3.48
Tajos		Distancia Vertical (Mts)	116.1
OREGANAL 1	PATILLA	Concepto	Real
TAJO 100	TABACO TOTAL	Factor Cargue (BCM's)	118.76
ANNEX		Productividad Ajust.	215.32
COMUNEROS		Distancia	
EWP			
LA PUENTE			
Selecciones Actuales			
Campos	Valores		
FLOTA_	<input checked="" type="checkbox"/> CAM320		
IDPALA	<input checked="" type="checkbox"/> E31, I15, K04, K05, Q03, Q05		
DES_TA	<input checked="" type="checkbox"/> OREGANAL 1		
MES	<input checked="" type="checkbox"/> Dic		
TIPO_M	<input checked="" type="checkbox"/> Estéril		
_metrics	<input checked="" type="checkbox"/> Real		
_metrics	<input checked="" type="checkbox"/> Real		
_metrics	<input checked="" type="checkbox"/> %OEE Real		

**Fuente:** Plataforma Interna de Cerrejón para trabajadores y colaboradores.

**Anexo H. Tablas dinámicas del CTD sobre el progreso de las velocidades durante los meses Noviembre y Diciembre en el Sector Colinas. Camiones 240 Ton**

**Figura 14. Noviembre – Diciembre (camiones 240 Ton)**

Debe seleccionar un Tipo Material (Carbón o Estéril)		Tiempos (Min)	Real	Debe seleccionar un Tipo Material (Carbón o Estéril)		Tiempos (Min)	Real
Tipo Material		Viaje Vacio	9.13	Tipo Material		Viaje Vacio	8.83
Carbón <input type="checkbox"/> Estéril <input checked="" type="checkbox"/>		Ajust. Distancia	1.88	Carbón <input type="checkbox"/> Estéril <input checked="" type="checkbox"/>		Ajust. Distancia	2.24
Selecciones		Spot	0.74	Selecciones		Spot	0.82
Fecha	<input type="checkbox"/>	Cargue	1.98	Fecha	<input type="checkbox"/>	Cargue	2.28
Turno	<input type="checkbox"/>	Viaje Lleno	11.49	Turno	<input type="checkbox"/>	Viaje Lleno	11.35
Hora	<input type="checkbox"/>	Ajust. Distancia	0.58	Hora	<input type="checkbox"/>	Ajust. Distancia	0.57
Zona	CENTRAL	Botado	2.74	Zona	CENTRAL	Botado	2.96
Tajo	OREGANAL 1	Demoras	1.90	Tajo	OREGANAL 1	Demoras	1.84
Grupo	<input type="checkbox"/>	D. Conocidas	0.84	Grupo	<input type="checkbox"/>	D. Conocidas	1.12
Equipo Acarreo	<input type="checkbox"/>	D. Indeterminadas	28.55	Equipo Acarreo	<input type="checkbox"/>	D. Indeterminadas	1.12
Tipo Flota Car...	<input type="checkbox"/>	Total Ciclo Acarreo		Tipo Flota Car...	<input type="checkbox"/>	Total Ciclo Acarreo	29.05
Flota Carque	<input type="checkbox"/>			Flota Carque	<input type="checkbox"/>		
Equipo Carque	<input checked="" type="checkbox"/>			Equipo Carque	<input checked="" type="checkbox"/>		
Flota		Concepto		Flota		Concepto	
CAMION240			Real	CAMION240			Real
CAM320		Velocidad Vacio (Km/h)	26.47	CAM320		Velocidad Vacio (Km/h)	27.42
CAM777		Velocidad Lleno (Km/h)	17.95	CAM777		Velocidad Lleno (Km/h)	18.25
CAR789C		Distancia Vacio (Km)	4.03	CAR789C		Distancia Vacio (Km)	4.04
Tajos		Distancia Lleno (Km)	3.44	Tajos		Distancia Lleno (Km)	3.45
OREGANAL 1		Distancia Vertical (Mts)	110.0	OREGANAL 1		Distancia Vertical (Mts)	112.7
PATILLA				PATILLA			
TABACO TOTAL				TABACO TOTAL			
ANNEX		Concepto		ANNEX		Concepto	
COMUNEROS			Real	COMUNEROS			Real
EWP		Factor Cargue (BCM's)	95.62	EWP		Factor Cargue (BCM's)	94.00
LA PUENTE		Productividad Ajust. Distancia	200.96	LA PUENTE		Productividad Ajust. Distancia	194.15
Selecciones Actuales				Selecciones Actuales			
Campos				Campos			
FLOTA_ <input checked="" type="checkbox"/> CAMION240				FLOTA_ <input checked="" type="checkbox"/> CAMION240			
IDPALA <input checked="" type="checkbox"/> E31, I15, K04, K05, Q03, Q05				IDPALA <input checked="" type="checkbox"/> E31, I15, K04, K05, Q03, Q05			
DES_TA <input checked="" type="checkbox"/> OREGANAL 1				DES_TA <input checked="" type="checkbox"/> OREGANAL 1			
MES <input checked="" type="checkbox"/> Nov				MES <input checked="" type="checkbox"/> Dic			
TIPO_M <input checked="" type="checkbox"/> Estéril				TIPO_M <input checked="" type="checkbox"/> Estéril			
_metrics <input checked="" type="checkbox"/> Real				_metrics <input checked="" type="checkbox"/> Real			
_metrics <input checked="" type="checkbox"/> Real				_metrics <input checked="" type="checkbox"/> Real			
_metrics <input checked="" type="checkbox"/> %OEE Real				_metrics <input checked="" type="checkbox"/> %OEE Real			

**Fuente:** Plataforma Interna de Cerrejón para trabajadores y colaboradores.