

**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL FACTOR DE PRODUCCIÓN DE CAMIONES  
RESPECTO AL TIEMPO DE ACARREO DE MATERIAL ESTÉRIL EN LA  
EMPRESA DRUMMOND LTD.**

**SERGIO ANDRÉS RAMÍREZ GUERRERO  
CÓDIGO: 201210890**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD SEDE SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA INGENIERIA DE MINAS  
SOGAMOSO, BOYACA  
2018**

**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL FACTOR DE PRODUCCIÓN DE CAMIONES  
RESPECTO AL TIEMPO DE ACARREO DE MATERIAL ESTÉRIL EN LA  
EMPRESA DRUMMOND LTD.**

**SERGIO ANDRÉS RAMÍREZ GUERRERO**  
Código: 201210890

*“Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero de Minas en la modalidad de práctica empresarial”*

**Director:**  
**ELKIN DAVID PALACIOS**  
Ingeniero de minas

**Codirector:**  
**BENTON KELLY**  
Ingeniero de minas

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA**  
**FACULTAD SEDE SECCIONAL SOGAMOSO**  
**ESCUELA INGENIERIA DE MINAS**  
**SOGAMOSO, BOYACA**  
**2018**

**Nota de Aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

  
Firma del Director de Escuela

  
Firma del Director del Proyecto

  
Firma del Jurado

  
Firma del Jurado

Sogamoso, mayo 15 de 2018.

**“LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y  
TECNOLOGICA DE COLOMBIA FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO,  
RESIDE EN ELLA MISMA, POR LO TANTO, NO RESPONDE A LAS  
OPINIONES EXPRESADAS EN ESTE PROYECTO”**

**SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN DEL MISMO INDICANDO SU ORIGEN Y  
SU AUTOR.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios por permitirme culminar esta etapa de la mejor manera. Gracias a la empresa Drummond Ltd. por brindarme la oportunidad de obtener mi primera experiencia laboral, igualmente gracias a los integrantes del departamento de ingeniería, el área de planeación a corto plazo por todos los conocimientos aportados y la confianza depositada para la realización de actividades, que día a día me ayudan a crecer como profesional y a estar más cerca de alcanzar mis objetivos.

Gracias a mi familia (mamá, hermano y hermana), a mi novia, por ser mí apoyo incondicional en cada paso de mi vida.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	15
I. INFORME DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL	16
1. GENERALIDADES	16
2. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL	17
2.1. ASPECTOS GENERALES	17
2.2. FUNCIONES ASIGNADAS	17
II. INFORME TÉCNICO DEL TEMA DE LA PRÁCTICA	19
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	19
1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	19
1.2. VÍAS DE ACCESO	20
1.3. GEOLOGÍA.	22
1.3.1. Geología Regional	22
1.3.2. Estratigrafía	23
1.3.3. Geología Local	26
1.4. PARÁMETROS MINEROS	28
1.4.1 Método de explotación	28
1.4.2 Desarrollo.	29
1.4.3 Perforación y Voladura.	30
1.4.4 Cargue y transporte.	34
2. MARCO TEÓRICO	35
2.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.	35
2.2. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	36
3. SISTEMA DE ACARREO DE MATERIAL ESTÉRIL.	38
3.1. EQUIPOS UTILIZADOS.	38
3.1.1 Características camión CAT-793.	39
3.2. FACTORES OPERACIONALES DEL PROCESO DE ACARREO	41
4. CALCULO DE TIEMPOS DE CICLO Y FACTOR DE PRODUCCIÓN DE CAMIONES	46

4.1. SOFTWARE DISPATCH.	46
4.1.1. Recopilación y organización de datos.	48
4.2. TIEMPOS DE CICLO	58
4.2.1 Cálculo de tiempos.	59
4.2.2 Análisis sensibilidad tiempo de ciclo.	62
4.3. FACTOR DE PRODUCCIÓN.	68
4.3.1 Cálculo de Truck factor	68
4.3.2 Análisis de resultados Truck Factor.	71
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA E INFOGRAFIA	77
ANEXOS	78

## LISTA DE FOTOS

	pág.
Foto 1. Localización Especifica De La Mina Pribbenow.	20
Foto 2. Operación Del Minador De Pared Alta.	29
Foto 3. Remoción Y Transporte De Material Aluvial Con Dragalina/Alimentador	30
Foto 4. Cargue Y Transporte.	34
Foto 5. Área De Cargue	44



## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Coordenadas Del Área De Concesión	20
Tabla 2. Número Total De Camiones En La Empresa Drummond Ltd.	39
Tabla 3. Especificaciones De Operación De Camiones Cat-793	39
Tabla 4. Medidas Del Camión Cat-793	41
Tabla 5. Base De Datos Sistema Dispatch.	49
Tabla 6. Organización De Datos.	49
Tabla 7. Organización De Datos Por Intervalos, Variable “Empty Haul”.	51
Tabla 8. Organización De Datos Por Intervalos, Variable “Queue”.	
Tabla 9. Organización De Datos Por Intervalos, Variable “Spot”.	52
Tabla 10. Organización De Datos Por Intervalos, Variable “Loading”.	
Tabla 11. Organización De Datos Por Intervalos, Variable “Loaded Haul”.	53
Tabla 12. Organización De Datos Por Intervalos, Variable	54
Tabla 13. Organización De Datos Por Intervalos, Variable	54
Tabla 14. Promedio Tiempos De Ciclo De Acarreo Año 2017, Ejemplo Pala 31.	60
Tabla 15. Promedio Tiempos De Ciclo Mina Pribbenow Ene – Sep. 2017.	60
Tabla 16. Promedio Tiempos De Ciclo Mina El Descanso Ene – Sep. 2017.	61
Tabla 17. Calculo Del Truck Factor Anual En La Mina Pribbenow.	69
Tabla 18. Calculo Del Truck Factor Anual En La Mina El Descanso	70

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Área De Localización	19
Figura 2. Vías De Acceso Al Contrato La Loma (Mina Pribbenow).	21
Figura 3. Columna Estratigráfica Generalizada De La Sub-Cuenca Del Cesar.	25
Figura 4. Columna Esquemática De Carbones En El Sinclinal De El Boquerón	26
Figura 5. Columna Estratigráfica Zona Norte Y Sur De La Mina Pribbenow.	27
Figura 6. Radios De Influencia Voladura.	31
Figura 7. Especificaciones Del Barreno Típico	33
Figura 8. Patrón De Voladuras.	33
Figura 9. Dimensiones Del Camión Cat-793	40
Figura 10. Ancho De Vías Y Bermas	42
Figura 11. Diámetro Y Radio De Giro.	43
Figura 12. Disposición En Área De Descargue	45
Figura 13. Grafica De Mina Dispatch – Pribbenow Mine	47
Figura 14. Ventana Haul Route Del Sistema Dispatch.	48
Figura 15. Monitor De Camiones.	48
Figura 16. Distribución De Frecuencias “Avg Cycle Time”	56
Figura 17. Distribución De Frecuencias “Spot”	57
Figura 18. Distribución De Frecuencias “Empty Haul”	57
Figura 19. Distribución De Frecuencias “Loaded Haul”	57
Figura 20. Distribución De Frecuencias “At Dump”	57
Figura 21. Distribución De Frecuencias “Queue”	58
Figura 22. Distribución De Frecuencias “Loading”	58
Figura 23. Flujograma Del Ciclo De Acarreo.	59
Figura 24. Nivel De Influencia.	66

## LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Grafica 1. Sensibilidad Tiempo De Ciclo, Pala 6231	62
Grafica 2. Sensibilidad Tiempo De Ciclo, Pala 6188 Y 6233	63
Grafica 3. Sensibilidad Tiempo De Ciclo, Pala 6234 Y 6235	64
Grafica 4. Sensibilidad Tiempo De Ciclo, Pala 6237 Y 6245	64
Grafica 5. Sensibilidad Tiempo De Ciclo, Pala 6246 Y 6261	65
Grafica 6. Sensibilidad Tiempo De Ciclo, Pala 6262	65
Grafica 7. Resultados Truck Factor Vs Cycle Time, Mp.	71
Grafica 8. Relación Truck Factor Vs Cycle Time, Mp.	72
Grafica 9. Resultados Truck Factor Vs Cycle Time, Ed.	73
Grafica 10. Relación Truck Factor Vs Cycle Time, Ed.	74

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Actualización Estudio Geotécnico Mina Pribbenow	78
Anexo B. Mapa De Rutas De Trafico	83

## RESUMEN

En el siguiente estudio se realiza una descripción del proceso de acarreo de material estéril que se lleva a cabo en las minas Pribbenow y El Descanso, identificando los factores operacionales y las variables de tiempo de ciclo que lo componen. Con base en ello, se realizó un análisis de sensibilidad del factor de producción de camiones “*TRUCK FACTOR*” respecto al tiempo de ciclo, lo que permite establecer la relación de influencia de este parámetro basado en el rango de variación que presenta durante el proceso de acarreo.

Para realizar el análisis fue necesaria la medición y recopilación de datos relacionados con el tiempo de ciclo, lo cual fue posible apoyados en el *software Dispatch* durante el año 2017.

El análisis se desarrolló basado en herramientas estadísticas básicas y avanzadas, teniendo en cuenta la información de las variables del tiempo de ciclo de acarreo, el número de cargas realizadas y la capacidad de los equipos registrada en bases de datos.

El análisis deja como resultado la relación directa que existe entre el “*Truck Factor*” y el “tiempo de ciclo”, de igual manera permitió establecer el comportamiento del tiempo de ciclo respecto a cada una de las variables que lo componen, con el fin de implementar estrategias que contribuyan a su mejoramiento.

## INTRODUCCIÓN

Las operaciones de transporte o acarreo del material estéril previamente fragmentado son tareas necesarias para acceder al mineral de aprovechamiento económico en un proyecto minero y a su vez son claves para asegurar la continuidad del proceso de beneficio del mineral, por lo tanto, debe ser desempeñado por equipos de acarreo (camiones) de gran capacidad, a fin de asegurar una alta eficiencia y productividad que garanticen la rentabilidad del proyecto.

La productividad de un camión se define por su producción o volumen de material desplazado en un año con relación a lo proyectado por planeamiento minero, de acuerdo a lo anterior, es importante determinar cuál es el factor de producción "*Truck Factor*" de los camiones usados en la operación, identificando y evaluando los parámetros operacionales que lo afectan.

Esta propuesta se enfoca en realizar un análisis de sensibilidad del "*Truck Factor*" respecto al tiempo de ciclo "*Cycle Time*", en el acarreo de material estéril en las minas Pribbenow y el Descanso, que pertenecen a la empresa Drummond Ltd. El análisis se enfocara en el tiempo de ciclo ya que es el factor más importante en el cálculo del factor de producción.

La información correspondiente al factor de producción y tiempo de ciclo de los camiones se recopilará apoyados en el *Software Dispatch*, implementado en la empresa Drummond Ltd. con el fin de monitorear las operaciones en las minas Pribbenow y el Descanso.

Como resultado, el estudio arrojó datos que, mediante la aplicación de métodos de muestreo y de herramientas estadísticas básicas y avanzadas, permitieron establecer criterios que contribuyen a la mejora del sistema de acarreo.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Realizar un análisis de sensibilidad del factor de producción de camiones respecto al tiempo de ciclo en el acarreo de material estéril en las minas Pribbenow y El Descanso, Drummond Ltd.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las operaciones y equipos que se llevan a cabo en el acarreo de material estéril.
- Recopilar datos del factor de producción de camiones y tiempos de ciclo en el acarreo de material estéril en las minas Pribbenow y El Descanso durante el año 2017.
- Procesar la información correspondiente al factor de producción y tiempos de ciclo durante el año 2017.
- Analizar los resultados obtenidos, estableciendo la relación de influencia del tiempo de ciclo en el factor de producción de camiones.
- Identificar factores operacionales que afectan el tiempo de ciclo.
- Definir estrategias que contribuyan al mejoramiento del proceso de acarreo de material estéril en las minas Pribbenow y el Descanso.

## **I. INFORME DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL**

### **1. GENERALIDADES**

La empresa Drummond Ltd. como parte de su compromiso continuo con el crecimiento económico local y la participación de la comunidad, brinda la oportunidad a estudiantes universitarios que se encuentren en terminación académica en carreras afines a la operación minera de tener su primera experiencia profesional mediante un contrato de aprendizaje en un periodo de prácticas con una duración de 6 meses; el cargo asignado para el desarrollo de las practicas fue de estudiante de ingeniería de minas en práctica, en el departamento de ingeniería, sub-área planeación a corto plazo.

El periodo de prácticas inicia con una jornada de inducción donde se capacita al personal nuevo acerca de las políticas empresariales, laborales, de seguridad y socio – ambientales de la empresa.

Seguido esto, se reconoce el lugar de trabajo y el personal que labora en las oficinas de ingeniería. De igual forma, se recibe una asignación de actividades a realizar por parte del jefe inmediato, se realizan unas rotaciones por cada una de las áreas que se involucran con el proceso de extracción del carbón con el fin de reconocer el área de explotación, los procedimientos operacionales, equipos utilizados, métodos de explotación implementados, plan ambiental, necesarios para la buena extracción y comercialización del carbón.

Después de las rotaciones se profundiza en el buen desarrollo de las actividades asignadas y se debe proponer la realización de un proyecto que contribuya a la mejora continua del proceso y a su vez permita al estudiante cumplir con los requisitos de grado exigidos por la universidad para obtener el título profesional.



## 2. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

### 2.1. ASPECTOS GENERALES

- COORDINADOR DE LA PRÁCTICA POR PARTE DE LA EMPRESA: ING. PAUL KLEE.
- JEFE INMEDIATO: ING. PAUL KLEE. Supervisor Leader del Área de *Engineering-Plan*
- CARGO ASIGNADO.  
    **Cargo:** Practicante de Ingeniería de Minas.  
    **Área:** Ingeniería.  
    **Sub-Área:** Planeación a corto plazo.
- SITIO DE TRABAJO: Mina Pribbenow.
- HORARIO: 6:00 am – 6:00 pm. Turno #3, Rotación 7-3, 7-4.

### 2.2. FUNCIONES ASIGNADAS

- **VISITAS AL DEPARTAMENTO DE CAMIONES Y DESPACHO:** Esta función consiste en realizar visitas periódicas a dichos departamentos con el fin de conocer información de los equipos utilizados en el acarreo de material estéril y a su vez recopilar los datos correspondientes a tiempos de ciclo y factor de producción de los camiones.
- **ACTUALIZACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS:** Consiste en la organización y tabulación de los datos correspondientes a tiempo de ciclo y factor de producción de camiones generados por el *software Dispatch*.
- **ACTUALIZACIÓN Y ELABORACIÓN DEL MAPA DE SHOTS:** Esta tarea consiste en actualizar diariamente la posición de los equipos y delimitar el área de influencia de las voladuras a realizar, con el fin de tomar las medidas de seguridad necesarias para evitar accidentes y daños a los equipos.
- **ACTUALIZACIÓN DEL BLASTING:** Consiste en actualización del mapa de registro de voladuras que debe elaborarse diariamente por el grupo de actualización. El resultado de seguir este procedimiento será un mapa actualizado con las voladuras que se realizaron el día anterior.

- **UPDATE – REPORT:** Consiste en la realización de un reporte diario que relacione el número de equipos en operación de perforación, cargue y transporte de roca y carbón, y el total de toneladas transportadas en los dos turnos del día.
- **MONTHLY REPORT:** Reporte mensual que agrupa los resultados de las diferentes áreas de la mina con el fin de comparar de los resultados obtenidos con los estimados en cada mes.
- **SHOVELS EFICIENCE REPORT:** Este reporte se realiza diariamente en base a la información de rendimiento de las palas del día anterior. Aquí se evalúan los parámetros operacionales relacionados con el carguío de material, estableciendo la eficiencia de las palas.
- **HWM REPORT:** Consiste en realizar un reporte diario de los pozos que ha ido minando el *highwall mining (minador de pared alta)*, con el fin de llevar un registro del número de pozos minados, día y turno en que se terminó, número de pozos por minar, y la longitud total de cada uno de ellos. Aparte se debe realizar un mapa en AutoCAD donde se evidencie gráficamente la secuencia de pozos minados por el HWM, posición actual y siguiente.
- Realizar visitas al área de explotación y cualquier otra tarea adicional asignada.

## II. INFORME TÉCNICO DEL TEMA DE LA PRÁCTICA

### 1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

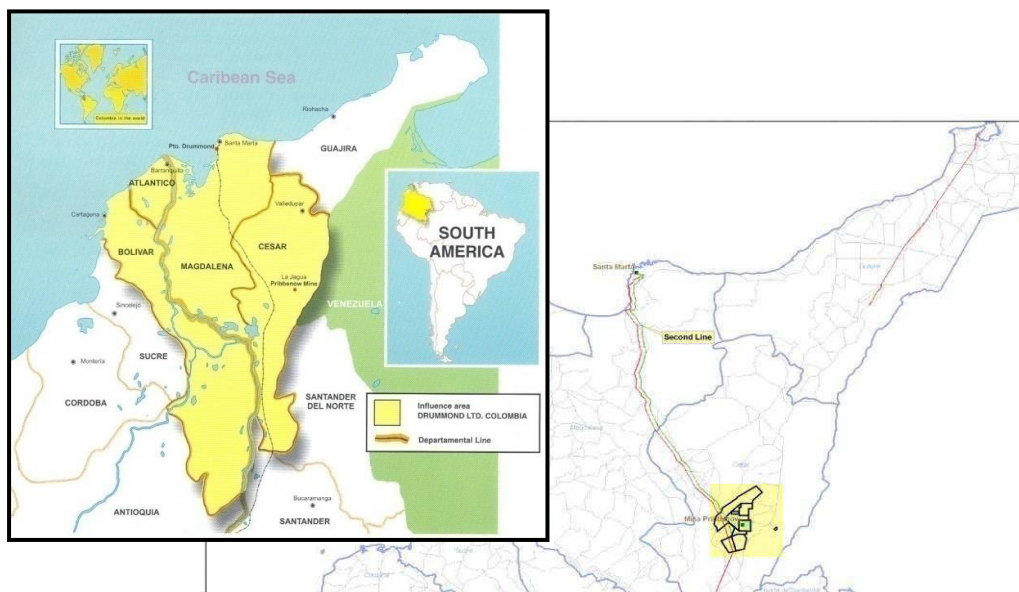
#### 1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El área de localización del proyecto carbonífero se ubica en jurisdicción de los municipios de La Jagua de Ibirico, El Paso y Chiriguaná en el Departamento del Cesar, a 13.7 km al Este del corregimiento de La Loma (municipio de El Paso) y a 17.3 km de la cabecera municipal de la Jagua de Ibirico (ver figura 1 y foto 1).

Desde el punto de vista de competencia y administración del medio ambiente, el área de estudio se encuentra en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Cesar "CORPOCESAR". La Licencia Ambiental se encuentra en el MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

El área total de la concesión minera otorgada por el Ministerio de Minas y Energía, es de 6560 Hectáreas, incluyendo áreas de operación de minería, escombreras, patios de acopio e infraestructura minera como: oficinas de administración de la mina, campamento, talleres, vías, facilidades de cargue del carbón en el tren, planta de explosivos y hangar. (Tabla 1).

**Figura 1. Área de localización**



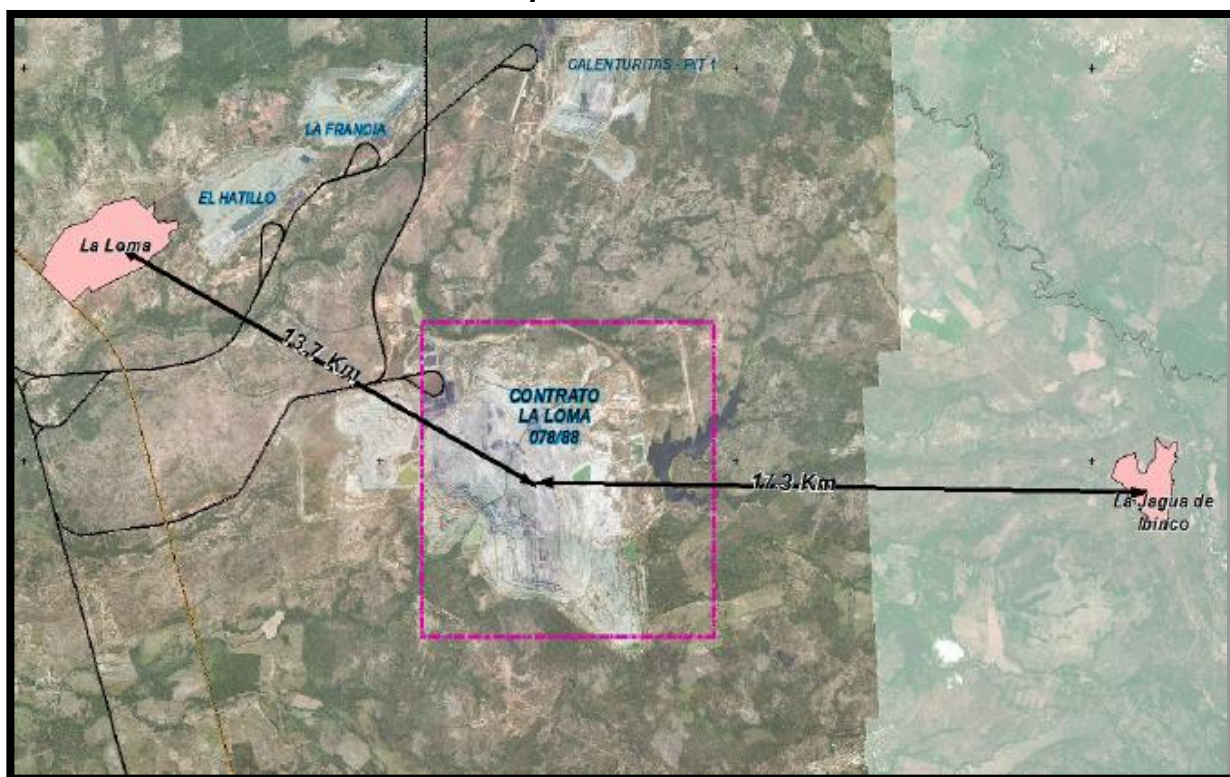
Fuente. Datos suministrados por la empresa Drummond Ltd.

**Tabla 1. Coordenadas del área de concesión**

EXTREMO	Coordenada N	Coordenada E	Punto
Nor-Oeste	1'553.500	1'061.200	1
Nor-Este	1'553.500	1'069.400	2
Sur-Oeste	1'545.500	1'061.200	3
Sur-Este	1'545.500	1'069.400	4

Fuente. Datos suministrados por la empresa Drummond Ltd.

**Foto 1. Localización específica de la mina Pribbenow.**



Fuente. Google Earth.

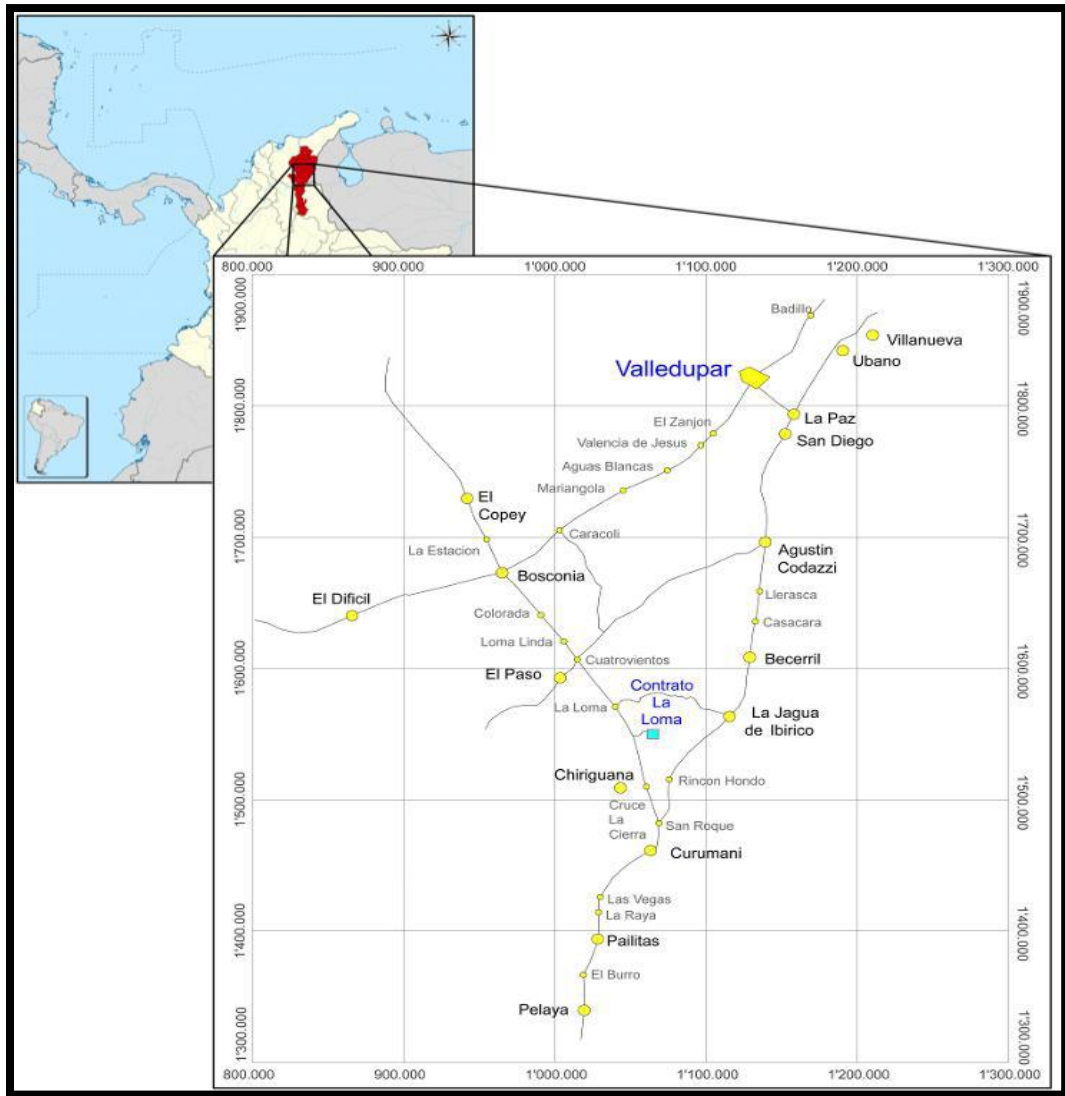
## 1.2. VÍAS DE ACCESO

La principal vía de comunicación es la carretera troncal de Caribe que se localiza aproximadamente a un kilómetro del corregimiento de La Loma y aproximadamente a 6 Km al Sur de La Loma, Drummond construyó la vía de acceso que empalma esta carretera principal con el área de explotación del proyecto, con una longitud de aproximadamente de 18 Km (ver figura 2).

A través de esta vía se permite el acceso de algunos vecinos del área del proyecto con lo que la vía se presenta como de servidumbre de uso limitado.

Las vías internas han sido diseñadas y construidas de acuerdo al plan de minería y con un criterio típico de explotación minera. Los vehículos que transitan estas vías son de la compañía y contratistas que son utilizados en todas las labores que tienen relación con la operación del Proyecto Carbonífero.

**Figura 2. Vías de Acceso al contrato la loma (mina Pribbenow).**



Fuente. Territorial N° 9 Cesar. Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte. República de Colombia. [Citado en 08 noviembre del 2014]. Disponible en Internet < <http://www.mapacarreteras.org/uploads/mapas/219-mapa-carreteras-cesar.jpg> >

### 1.3. GEOLOGÍA.

**1.3.1. Geología Regional.** La cuenca del Cesar - Ranchería, hace parte de lo que actualmente se conoce como el terreno Cesar (INGEOMINAS, 1983). Esta es una cuenca de tipo continental, que se considera una prolongación de la cuenca petrolífera del valle medio del Magdalena, desplazada hacia el NE por la falla de rumbo de Santa Marta - Bucaramanga, y separada de la cuenca baja de la Guajira por la falla de Oca, y de la cuenca del Catatumbo por el levantamiento de la Serranía del Perijá (M.K.S.1990). En esta área se pueden relacionar los siguientes eventos geológicos generales:

- A comienzos del Mesozoico, se produce el rompimiento de la corteza Siálica a consecuencia de la separación del micro continente Chortis y Sudamérica Septentrional. Después, entre el jurásico y el cretáceo inferior, ocurrieron la sedimentación continental y una fase de vulcanismo félsico, y paralelamente se presentó una fase de fallamiento. Los espacios dejados por la tectónica de bloques, fueron llenándose mediante la acumulación de los sedimentos de la cobertura cretácea marina, la cual se presentó a finales del hauteriviano.
- Al inicio del Terciario, se desarrollaron extensos deltas, y el "graben del río Cesar " perdió toda conexión con el graben principal del valle medio del río Magdalena.
- Concomitantemente, se presentó el desarrollo tectónico de fallas inversas, las cuales ocurrieron desde el mioceno hasta el plioceno con el cabalgamiento de la Serranía de Perijá sobre el valle del río Cesar, esto a consecuencia de la convergencia de la placa Caribe y la placa del Norte de Sudamérica, a lo largo de la falla marginal del Caribe Sur (INGEOMINAS 1983 reportado por M.K.S.1990).

La estructura geológica regional, está conformada por sucesiones de sinclinales y anticlinales con rumbo Suroeste - Noreste separados por fallas paralelas (INGETEC 1993). Las rocas más antiguas que afloran en el área corresponden a rocas sedimentarias del Cretáceo superior (Maestrichtiano) y Terciario inferior (base del Paleoceno), formación Catatumbo (M.K.S.1990).

En la cuenca del Río Cesar afloran rocas desde el Jurásico hasta el presente. La unidad portadora de carbones es denominada Formación Cuervos del Terciario Paleoceno, en cuyo Miembro Medio se encuentran los mantos de carbón que están explotando en las operaciones mineras existentes en la zona.

**1.3.2. Estratigrafía.** La columna estratigráfica del área, comprende una secuencia de rocas sedimentarias de edad cretácea superior hasta reciente. A continuación, se describen las formaciones reconocidas con base en estudios disponibles:

- **Formación Molinos:** esta formación, fue sedimentada posiblemente en ambientes de una línea de mares transicional cercana a la costa, o un ambiente lacustre costero. Litológicamente, está compuesto por lutitas y arcillolitas de color gris a negro, en parte son calcáreas y están asociadas con algunas areniscas ínter - estratificadas de color gris y grano fino a medio, micáceas o arcillosas. En la parte superior de la formación se presentan delgados mantos de carbón (M.K.S., 1990).
- **Terciario Inferior - Formación Barco:** Esta formación, corresponde a la secuencia de bancos de 5 a 20 metros de espesor, de areniscas masivas, cuarzo micáceas, de color gris y de grano fino a grueso, localmente carbonosas; el espesor de esta formación varía entre 76 y 278 metros. Los depósitos de ésta formación, se asocian con condiciones transicionales de un ambiente marino o un ambiente continental. Se estima que corresponde en edad, al paleoceno inferior. 29
- **Terciario Medio - Formación Los Cuervos:** Esta formación, descansa discordantemente sobre la formación Barco, y constituye la formación portadora de los mantos de carbón. El espesor de esta formación varía en el área adyacente a la Mina entre 1000 y 1300 metros, variando en otras regiones entre 280 y 1600 metros. Los reportes suelen dividir esta formación en tres unidades.

**Unidad Inferior:** Compuesta por arcillolitas de color gris a negro, con intercalaciones de arenisca. Los mantos de carbón presentes, tienen menos de 0.6 metros, por lo que carecen de interés económico. El espesor promedio se estima en 280 metros (INGETEC, 1991; M.K.S.1990).

**Unidad Intermedia:** Constituye la unidad carbonífera de la formación y el espesor promedio se estima en 480 metros. Litológicamente está compuesto por una secuencia de arcillolitas (40%), limolitas y arenisca (30%), y mantos de carbón (13%). Las arcillolitas, limolitas y areniscas, se presentan intercaladas y separan los mantos de carbón (INGETEC, 1991).

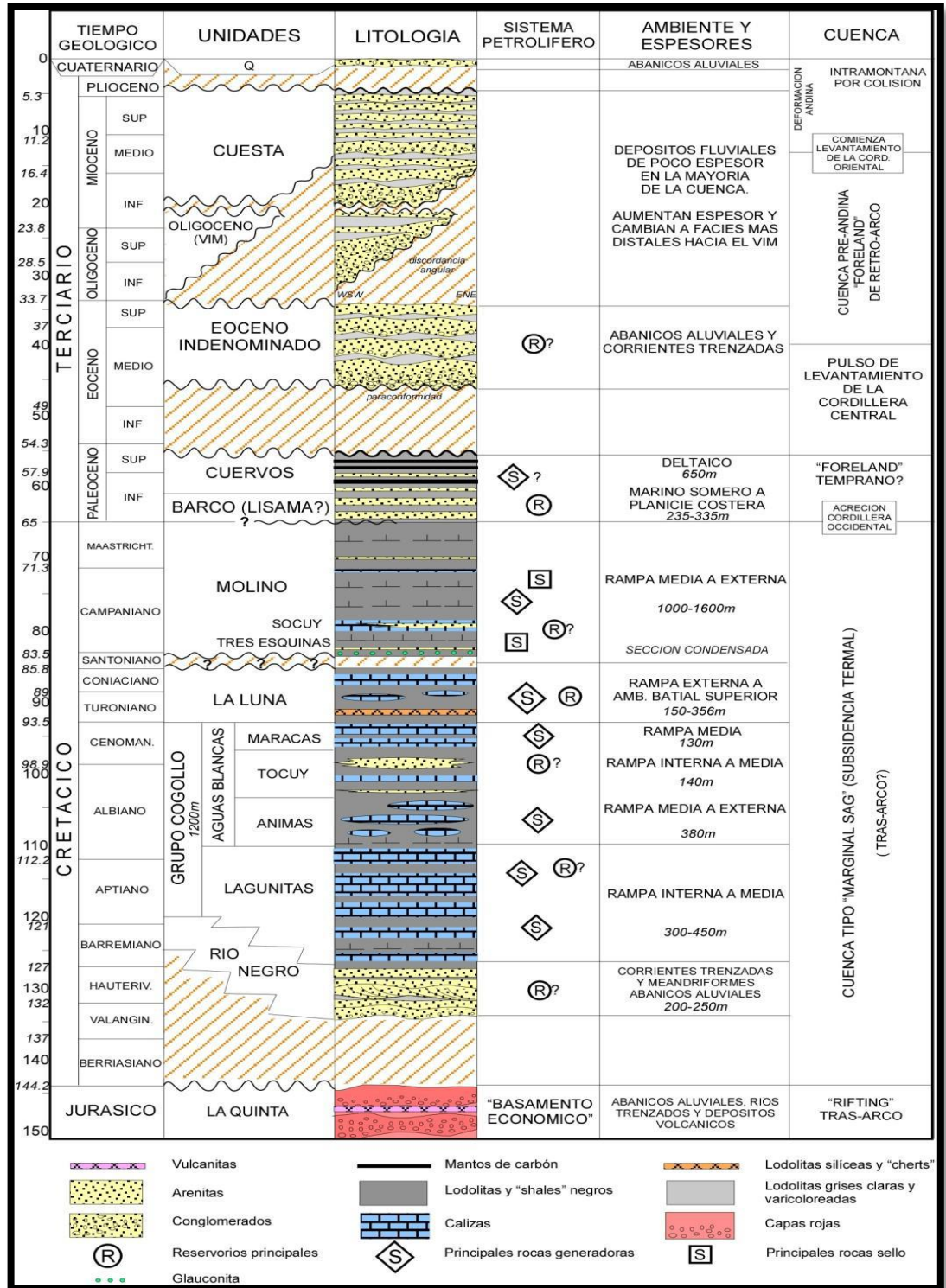
**Unidad Superior:** Esta unidad está conformada por areniscas cuarzo - micáceas de color gris claro a medio, de grano fino y con intercalaciones de limolita. En la parte superior de la formación, se presenta un dominio de arcillolitas y limolitas de color gris con nódulos limolíticos y tonalidades verdes, rojas, y amarillas, descritas

como arcillolitas abigarradas. Se estima que el espesor promedio de esta unidad es de 220 metros (INGETEC, 1991).

- Terciario superior - Formación Cuesta: Esta formación descansa discordantemente sobre la formación Los Cuervos. Litológicamente está compuesta por un conglomerado basal, sobre el que permanece una secuencia de areniscas, de grano medio a conglomerático, cuarzo - micáceas de colores rojizos. Los estratos arcillosos son de colores rojos y pardos (INGETEC, 1991; (M.K.S.1990).
- Cuaternario, depósitos de Terraza: Estos depósitos son zonas remanentes de terrazas fluviales pleistocénicas, testigos de los diferentes cauces trabajados durante distintas épocas por el río Cesar y sus tributarios. Los depósitos reposan discordantemente sobre los sedimentos pre y pleistocénicos, compuestos por areniscas cuarzosas conglomeráticas de color café a café rojizo oscuras. El espesor puede variar entre 30 y 50 metros (M.K.S.1990).
- Aluviones recientes: Estos depósitos, cubren el área con ligeras variaciones de espesor y composición. Se pueden distinguir cuatro niveles: dos arcillosos; y dos arenosos. Los niveles arcillosos, están constituidos por arcillas plásticas de color rojo, ricas en óxidos de hierro. Los niveles arenosos, son de color pardo, grano medio a grueso, poco cementados, y con presencia de cantos de cuarzo, chert, cuarcitas y rocas ígneas de grano fino (INGETEC, 1991).



**Figura 3. Columna estratigráfica generalizada de la sub-cuenca del Cesar.**

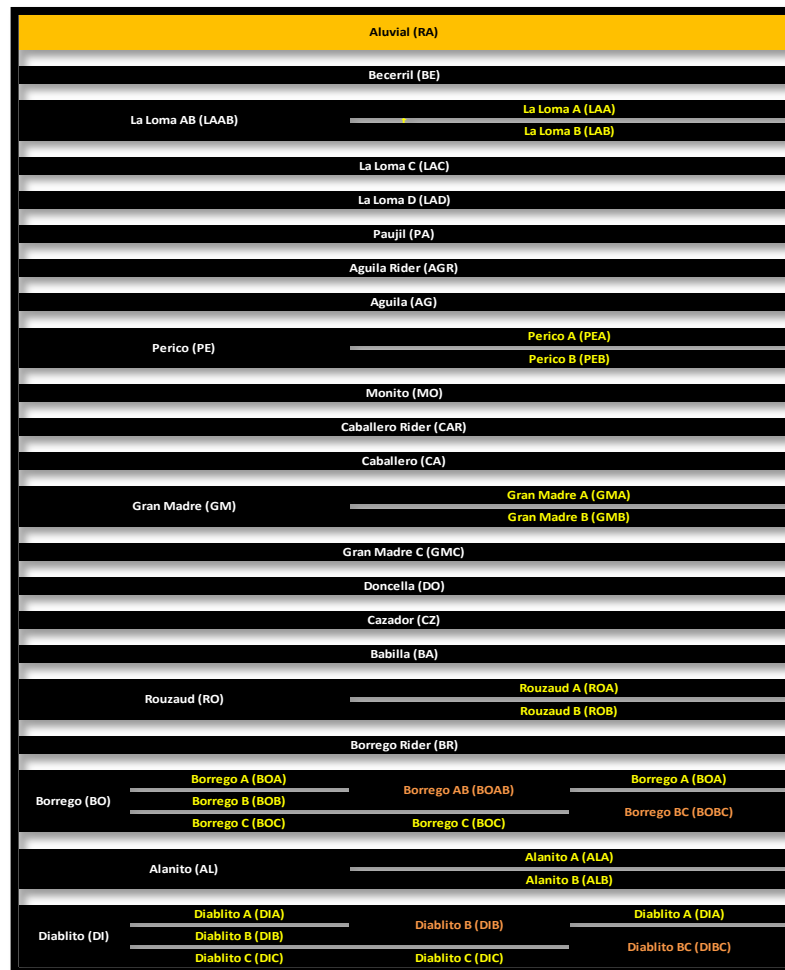


Fuente. DRUMMOND LTD. Documento "Plan de minería para la prórroga del contrato 078/88 la loma". Geología y reservas. Departamento de Ingeniería, 2017. p 22

**1.3.3. Geología Local.** El área del contrato cubre parte de una estructura regional denominada como Sinclinal El Boquerón. El sinclinal el Boquerón es una estructura suave limitada al Oeste por la Falla El Tigre y al Este por el sub-afloramiento de la unidad portadora de carbón. En el cierre norte de esta estructura se desarrolla actualmente la operación de Mina Pribbenow.

En el área del contrato se encuentra una sucesión de 21 mantos principales que se pueden subdividir en mantos individuales. En la Figura 4 se presenta una columna esquemática con las posibles combinaciones de mantos individuales y mantos principales en el Sinclinal El Boquerón. El intervalo minable comprende entre los mantos La Loma hasta el manto Borrego. En el anexo A se observa la geología local y los perfiles geológicos del área de explotación.

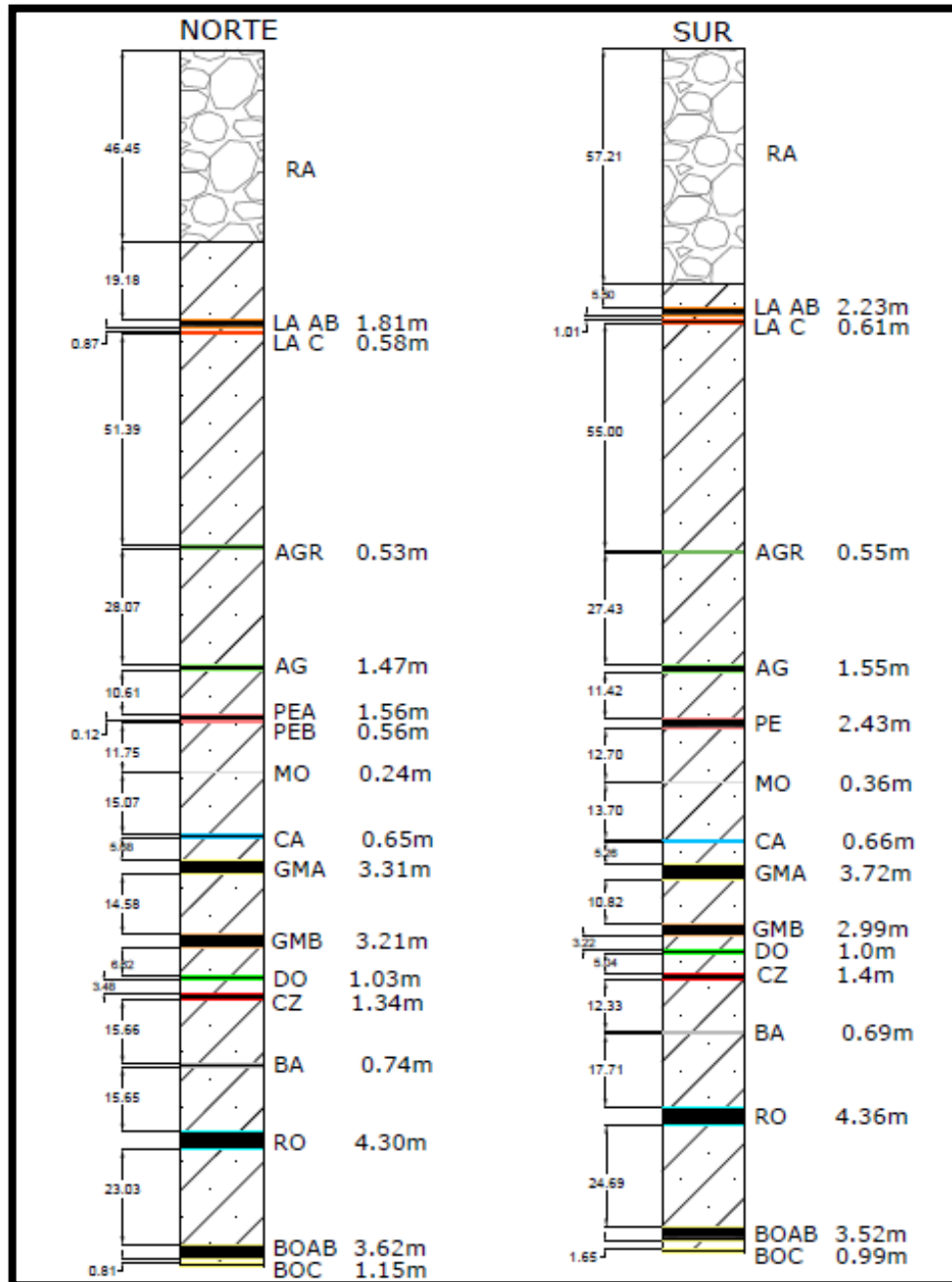
**Figura 4. Columna esquemática de carbones en el Sinclinal de El Boquerón**



Fuente. DRUMMOND LTD. Documento "Plan de minería para la prórroga del contrato 078/88 la loma". Geología y reservas. Departamento de Ingeniera, 2017. p 22

En la figura 5 se presenta una columna estratigráfica generalizada de la zona norte y sur de la mina Pribbenow, los numerosos mantos de carbón presentan un alto grado de continuidad y predictibilidad, presentan espesores que varían desde 0.50 m hasta 4.36 m con pendientes entre 5 y 18%

**Figura 5. Columna estratigráfica zona norte y sur de la mina Pribbenow.**



Fuente. DRUMMOND LTD. Documento "Plan de minería para la prórroga del contrato 078/88 la loma". Geología y reservas. Departamento de Ingeniería, 2017. P 23

## 1.4. PARÁMETROS MINEROS

En la operación minera del proyecto La Loma, mina Pribbenow se utilizan equipos móviles, eléctricos y diésel para extraer y recuperar la capa superior del suelo, el material aluvial, la roca existente entre mantos y para la extracción del carbón.

Los cargadores frontales remueven la capa superior del suelo y la depositan en pilas para su conservación temporal y posterior uso en el proceso de revegetalización de taludes y recuperación de áreas afectadas por la operación minera.

Para la operación de remoción de estéril en los contratos La Loma se emplean los Sistemas Dragalina/Alimentador Blindado/Camión, para la remoción de los primeros 60m de material aluvial y Excavador/Camión para la remoción de la roca entre los mantos explotables en los diferentes niveles.

El carbón expuesto se extrae por medio de excavadoras hidráulicas y/o cargadores frontales, los cuales cargarán en camiones carboneros, para transportarlo al centro de acopio en donde será apilado de acuerdo con las calidades para posteriormente ser cargado en los trenes que lo llevarán al puerto para su embarque y distribución.

1.4.1 **Método de explotación.** En la mina Pribbenow se implementa el método de explotación a cielo abierto denominado Open Pit (tajo abierto) con un sistema de retrolleado en sectores ya minados para la disposición de material estéril, apoyado con escombreras o botaderos exteriores.

El avance de la operación se realiza por bancos descendentes de 10 m de altura y la recuperación del material se realiza en sentido N – S.

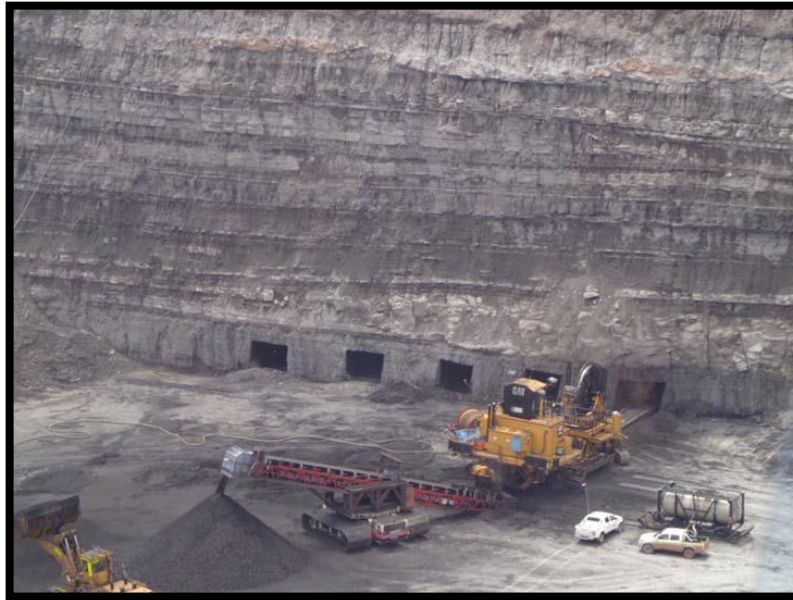
- **Minador de pared alta.**

Cuando se alcanza el límite económicamente explotable en minería a cielo abierto, es posible recuperar una parte de las reservas que quedan en la pared alta final. Este proceso se denomina Minería de Pared Alta, y puede ser realizado por diferentes equipos que se encuentran actualmente en el mercado. El equipo seleccionado por la compañía fue el CAT HW-300 (Minador de Pared Alta), el cual avanza a lo largo de la cara del manto expuesto en la pared alta final, minando cámaras de 2.9m de ancho para mantos con un espesor entre 1.25m hasta de 2.5m y de 3.5m de ancho para mantos con espesor superior a 3.0m, la profundidad de la excavación es variable, esta puede oscilar entre los 150m a 490m y dependerá directamente del buzamiento de los mantos. Se deben dejar pilares de carbón entre cámaras, (Ver Foto 5) los cuales tienen como objetivo dar sostenimiento, evitando así desplomes que comprometan tanto la seguridad de los

trabajadores como de los equipos. Durante este proceso no hay producción de material estéril.

El minador de pared alta inició operaciones el 28 de septiembre de 2013 y hasta la fecha ha explotado un total de 2.29 millones de toneladas métricas de los mantos La Loma, Águila, Perico, Gran Madre – A, Gran Madre – B, Doncella, Cazador, Rouzaud y Borrego.

**Foto 2. Operación del Minador de pared alta.**



Fuente. DRUMMOND LTD. Documento “Plan de minería para la prórroga del contrato 078/88 la loma”. Geología y reservas. Departamento de Ingeniería, 2017.

1.4.2 **Desarrollo.** Para poder acceder a los mantos de carbón inicialmente se realizan las siguientes operaciones:

- Remoción de capas de suelo

Una de las actividades más importantes durante la apertura de nuevas áreas mineras es la recuperación de la capa de suelo (el espesor del suelo es variable y puede estar entre 15 y 20 cm).

En todas las áreas intervenidas por la explotación minera se limpiará el material vegetal antes de la remoción de la capa de suelo, el material vegetal y la capa de suelo se ubicarán en pilas temporales para su uso posterior en el proceso de revegetalización de taludes.

- Remoción de material aluvial

El material aluvial es la primera capa en la secuencia geológica, son depósitos no consolidados producto del material de arrastre de todas las corrientes superficiales. Al no estar consolidado, este material no necesita perforación ni voladura. En el contrato La Loma, el espesor de material aluvial se encuentra alrededor de 70m. Después de recuperar la capa superficial y aprovechable del suelo, se extrae el material aluvial de la siguiente manera:

Se utiliza el sistema Dragalina/Alimentador Blindado/Camión para remover dos niveles de 30m de espesor cada uno y adicionalmente se utiliza el sistema de excavador/camión como un sistema auxiliar que permitirá la remoción del espesor remanente en los casos que sea necesario.

**Foto 3. Remoción y Transporte de Material Aluvial con Dragalina/Alimentador**



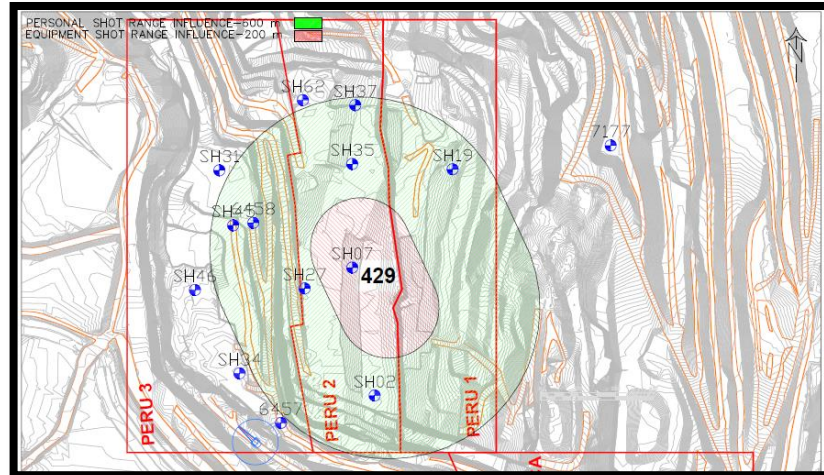
Fuente: Drummond Ltd.

1.4.3 **Perforación y Voladura.** La perforación y voladura de rocas se realiza para fragmentar la roca que se encuentra compacta después de retirar la capa de material aluvial, es uno de los procesos más importantes y delicados de la mina, por ende, se llevan a cabo los siguientes procedimientos:

- 1) Este proceso se inicia con la delimitación de la zona de perforación y voladura de acuerdo con el plan minero establecido. Se delimita el área de influencia de la voladura con un radio de seguridad para equipos y personal. Los equipos deben estar por fuera de un radio de 200 m y el

personal 600 m del área de acción de la voladura, esto para evitar accidentes y daños a los equipos. (Ver figura 6).

**Figura 6. Radios de influencia voladura.**



Fuente: Drummond Ltd. Departamento de ingeniería.

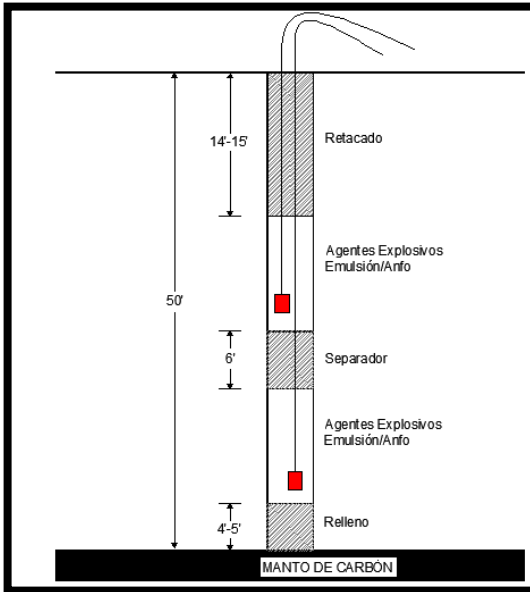
- 2) Inspección y preparación de la zona de voladura, realizando la señalización o delimitación del área de tal manera que todo el personal que trabaja en la operación de la mina la reconozca e identifique, permitiendo el acceso a la zona de voladura únicamente para el personal autorizado.
- 3) Se procede con la perforación de la roca en la zona definida para voladura, con barrenos de diámetros que varían entre 9 pulgadas y 9,87 pulgadas. Se utilizan las unidades en pulgadas y pies, ya que convencionalmente en el lenguaje de voladuras son las unidades usadas; donde: 1 Pulg = 2.54 cm y 1 Pie = 30.48 cm.
- 4) El patrón de perforación varía entre 15 y 180 pies de longitud. El ancho del banco típico es de 45 a 70 metros.
- 5) Para bancos con un espesor menor a 20 pies, la distancia entre la cara libre del banco y la primera línea de barrenos (burden) varía entre 15 y 18 pies, y el espaciamiento entre barrenos oscila entre 20 y 25 pies. Para bancos con un espesor entre 30 a 45 pies el burden varía entre 24 y 28 pies, y el espaciamiento entre 26 y 30. Para bancos con espesores superiores a 50 pies el burden está comprendido entre 27 y 32 pies, y el espaciamiento entre 32 y 36 pies. El retacado intermedio del barreno es de 5 a 8 pies de longitud de material inerte. (Ver Figura 7 y Figura 8).
- 6) Antes del cargue de un patrón de voladura, el operador del taladro debe reportar la presencia de inconsistencias, en cuanto al material del terreno o

del proceso en general, encontradas durante la perforación de los barrenos. De ser necesario, la secuencia de carga es alterada para ajustarla a estas nuevas condiciones, con el fin de prevenir eventos como: proyección de roca, sobre tamaño de la roca, o cualquier otro que impida el cumplimiento del objetivo del proceso de perforación y voladura.

- 7) El supervisor programa el uso de agentes explosivos y accesorios explosivos para la ejecución de la voladura. Estos son transportados hacia el lugar de voladura en un camión adecuado para este material.
- 8) El supervisor en el área a volar explica y entrega el material al shooter (Persona que hace el cargue del pozo) y a su ayudante, además da las instrucciones para el sistema de amarre y la secuencia de encendido.
- 9) Por último, en el área de voladura son cargados los pozos con agente explosivo, controlando el suministro por cada barreno y asegurando que se obtenga el factor de carga diseñado. En Drummond el explosivo utilizado es una mezcla entre los agentes explosivos (EMULSION / ANFO) en las siguientes proporciones:
  - 75/25 mezcla de densidad de 1.28 g/cm<sup>3</sup>
  - 60/40 mezcla de densidad de 1.30 g/cm<sup>3</sup>
  - 50/50 mezcla de densidad de 1.25 g/cm<sup>3</sup>

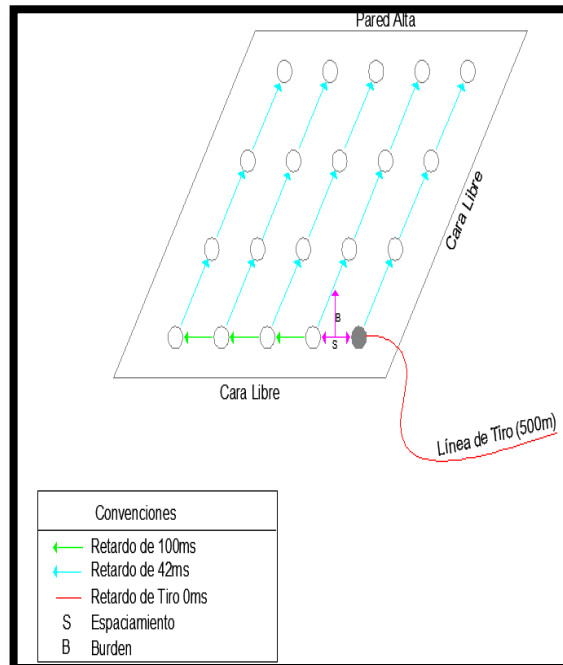


**Figura 7. Especificaciones del Barreno típico**



Fuente: DRUMMOND LTD. Documento "Plan de minería para la prórroga del contrato 078/88 la loma". Departamento de Ingeniería, 2017

**Figura 8. Patrón de voladuras.**



Fuente: DRUMMOND LTD. Documento "Plan de minería para la prórroga del contrato 078/88 la loma". Departamento de Ingeniería, 2017

1.4.4 **Cargue y transporte.** Después de extraer el material aluvial se realiza la perforación y voladura de la roca estéril que se encuentra entre cada manto, con el fin de dejar expuesto el carbón; la roca volada posee espesores que oscilan de 4m hasta 60m, los cuales se remueven por medio de palas frontales y excavadoras que cargan en camiones de acarreo y transportan el material estéril hasta el sitio donde serán depositado, ya sea escombreras y/o relleno del tajo. En el anexo B se observan las diferentes rutas de acarreo y el nivel de tráfico en cada una de ellas.

La mina cuenta con tres (3) tipos de palas para realizar la labor de cargue de estéril distribuidas de la siguiente manera:

- Hitachi EX 3600-6
- Pala hidráulica Komatsu PC 8000-6
- Bucyrus 495 HR

14 palas Komatsu PC 8000-6 con capacidad del cucharón de 42 m<sup>3</sup> y rendimiento promedio de 2025 m<sup>3</sup>/hr (7 Mina Pribbenow y 7 Mina el Descanso).

2 palas Komatsu PC 80007485 (una en cada mina) con capacidad del cucharón entre 35.2 y 39 m<sup>3</sup>, con rendimientos promedio de 1730 m<sup>3</sup>/hr.

4 palas Hitachi EX 3600-6, 25 m<sup>3</sup> capacidad del cucharón y rendimiento de 1150 m<sup>3</sup>/hr. (2 mina Pribbenow y 2 mina El Descanso).

4 palas Bucyrus 495 HR con capacidad del cucharón de 50 m<sup>3</sup> (4 mina el descanso)

**Foto 4. Cargue y transporte.**



Fuente: Autor del proyecto.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

El análisis de sensibilidad es un estudio cuantitativo o cualitativo de las relaciones que existen entre la información que entra y sale de un modelo, determinando los parámetros de entrada que más influyen en la variabilidad de la salida, y que, por lo tanto, deben ser estudiados y analizados para fortalecer el modelo bajo estudio.

Este análisis es utilizado para incrementar la confianza en el modelo y para investigar su robustez.

Los métodos para realizar un análisis de sensibilidad se agrupan principalmente en tres clases: los métodos de selección, los métodos locales y los métodos globales.

- **Métodos de selección:** se utilizan para identificar un conjunto de parámetros que afectan la salida, utilizando poco esfuerzo computacional. Sin embargo, tienen como inconveniente que proporcionan una medida cualitativa y no cuantitativa.
- **Métodos locales:** se concentran en un impacto local de los parámetros de entrada, por lo cual todos los parámetros varían dentro de un rango de incertidumbre muy pequeño. Este método se puede considerar como un caso particular del OAT (*one at a time*), que es un procedimiento donde se varía solamente un parámetro al tiempo y los otros se mantienen constantes.
- **Análisis de sensibilidad global:** todos los parámetros de entrada son variados al mismo tiempo, dentro de rangos de incertidumbre diferentes, determinando de manera cuantitativa los parámetros de entrada que más afectan el desempeño del modelo.

El análisis de sensibilidad global presenta dos ventajas principalmente, la primera es poder definir los rangos de variación de cada uno de los parámetros sin ninguna restricción y la otra ventaja es poder estimar la importancia de cada parámetro, variando todos al mismo tiempo.

El análisis de sensibilidad mide cuanto pueden llegar a afectar a los resultados de un modelo variaciones relativamente pequeñas en los valores de los parámetros. Tiene un gran número de utilidades:

- En primer lugar, sirve para comprobar la lógica interna de un modelo, ayuda a entender cómo funciona el modelo o porque no funciona correctamente y aprender más acerca de su funcionamiento.

- En un modelo con pocos parámetros, puede resultar obvio a partir del estudio de sus ecuaciones que parámetros van a tener más influencia sobre los resultados del modelo; pero en un modelo complejo esto no será tan obvio y puede resultar imprescindible un análisis de sensibilidad.
- Para definir la importancia de cada parámetro lo que servirá para determinar el grado de esfuerzo que debe prestarse a su medición o muestreo.

## 2.2. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

A continuación, se enuncian los términos y herramientas estadísticas claves para el análisis y descripción de los datos.

**Variable:** es una característica que puede fluctuar y cuyas variaciones pueden ser medidas u observadas.

De acuerdo a su nivel de medición pueden ser:

**Variables Cualitativas:** son variables que expresan cualidades, características o modalidad. Cada modalidad se presenta como un atributo y su medición consiste en la clasificación de dichos atributos.

**Variables Cuantitativas:** son variables numéricas, matemáticas. Las variables cuantitativas también pueden ser:

- **Variable discreta:** es la variable que solo puede tomar valores exactos dentro de un conjunto establecido. Por ejemplo, el número de animales de una granja.
- **Variable continua:** Es la variable que puede adquirir cualquier valor dentro de un intervalo específico de valores, permite escoger valores existentes entre dos variables. Por ejemplo, la altura (1,66 m, 1,67 cm, 1,68 cm, etc.)

Según su influencia las variables pueden ser:

**Variables Independientes:** es aquella cuyo valor no depende de otra variable y a su vez es la causa del fenómeno en estudio, por esto se pueden, agrupar y manipular para su posterior estudio. Suelen representarse en el eje de las abscisas (x).

**Variable Dependiente:** son aquellas cuyo valor depende del que tomen otras variables, La variable dependiente es el factor que es observado y medido para determinar el efecto de la variable independiente y suelen representarse en el eje de las ordenadas (y).

Según Hayman (1974: 69), la define como propiedad o característica que se trata de cambiar mediante la manipulación de la variable independiente.

**Media Aritmética:** también conocida en matemáticas y estadística como promedio o media, es el valor característico de un conjunto finito de datos cuantitativos. Es resultado de sumar todos los valores de un conjunto dividido entre el total de datos sumados.

**Media Ponderada:** es una medida de tendencia central que se utiliza para describir con un valor centralizado conjuntos de datos con frecuencias. Se obtiene de multiplicar cada uno de los datos por su frecuencia para posteriormente ser sumados, obteniendo así una suma ponderada; después se divide entre la suma de las frecuencias y se obtiene la media ponderada.

**Frecuencia:** en estadística, es el número de veces en que dicho evento se repite durante un experimento o muestra estadística. Comúnmente, la distribución de la frecuencia suele visualizarse con el uso de histogramas.

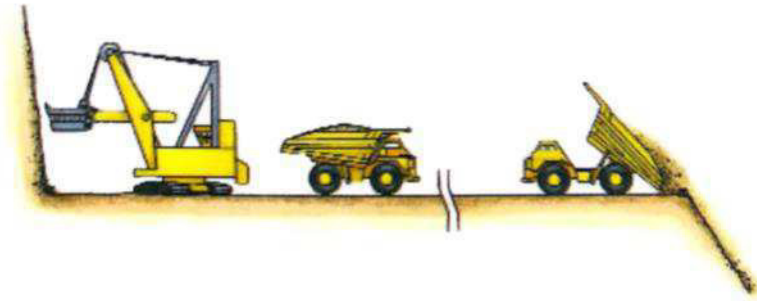
**Intervalo:** corresponde a un par o pares de números entre los cuales se estima estarán datos de una muestra determinada.

**Rango:** es el intervalo entre el valor máximo y el valor mínimo; por ello, comparte unidades con los datos. Permite obtener una idea de la dispersión de los datos, cuanto mayor es el rango, más dispersos están los datos de un conjunto.

**Distribución normal:** también conocida como distribución de Gauss, es la distribución de un conjunto de datos de variables continuas, la cual permite describir fenómenos naturales, sociales y psicológicos. La gráfica de representación toma una forma acampanada.

**Percentil:** Es una medida de posición usada en estadística que indica, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un grupo de observaciones. Por ejemplo, el percentil 20 es el valor bajo el cual se encuentran el 20 por ciento de las observaciones. Se representa con la letra P.

### 3. SISTEMA DE ACARREO DE MATERIAL ESTÉRIL.



El acarreo consiste en desplazar el material estéril previamente fragmentado desde los frentes de trabajo hasta los botaderos donde finalmente es depositado.

El sistema de acarreo en las minas Pribbenow y el Descanso es de tipo discontinuo, donde el medio de transporte realiza movimientos alternativos entre el punto de carga y el de descarga. En este sistema se utilizan unidades de transporte sin camino fijo como los camiones que corresponden a la unidad de acarreo comúnmente utilizada en explotaciones mineras a cielo abierto y a su vez, por su gran capacidad permiten asegurar una alta eficiencia y productividad.

En la mina Pribbenow y el Descanso el acarreo de material estéril es una actividad constante, frecuente y fundamental para alcanzar los objetivos operacionales de la actividad minera.

#### 3.1. EQUIPOS UTILIZADOS.

En la empresa Drummond principalmente se utilizan camiones **Caterpillar 793** como unidad de carreo del material estéril, estos camiones funcionan con combustible diésel de alta cilindrada y tienen una capacidad nominal de 240 Ton, además, están diseñados de forma que requieren un mantenimiento rápido y sencillo.

En la mina Pribbenow también operan camiones Komatsu 850E en una menor proporción, estos camiones son de motor diésel y tienen una capacidad de 255 ton cortas. Se diferencia de los camiones convencionales, ya que utiliza un sistema de accionamiento eléctrico en su parte trasera en lugar de una unidad de transmisión.

Actualmente la empresa Drummond cuenta con una flota total de 255 camiones para el acarreo de material estéril, distribuidos de la siguiente manera (ver tabla 2).

**Tabla 2. Número Total de camiones en la empresa Drummond Ltd.**

<b># DE CAMIONES</b>			
	CAT-793	KOMATSU 850E	TOTAL
<b>MINA PRIBEBNOW</b>	81	14	95
<b>MINA EL DESCANSO</b>	160	-	160
		<b>TOTAL</b>	<b>255</b>

En la mina Pribbenow operan 81 camiones CAT-793 y 14 camiones KOMATSU 850 E, en la mina el descanso 160 camiones son CAT-793.

Cabe mencionar que en ocasiones algunos camiones son asignados al acarreo de carbón, esto se debe a factores como:

- Poca disponibilidad de equipos de carbón.
- Poca remoción de estéril por Palas en mantenimiento.

**3.1.1 Características camión CAT-793.** Las características de servicio y mantenimiento simplificados reducen el tiempo de inactividad, permitiendo a la máquina pasar menos tiempo en las tareas de servicio y más tiempo en los caminos de acarreo.

Las especificaciones técnicas y características de estos camiones (ver tabla 3), hacen que sea el más adecuado de acuerdo a las condiciones de la mina.

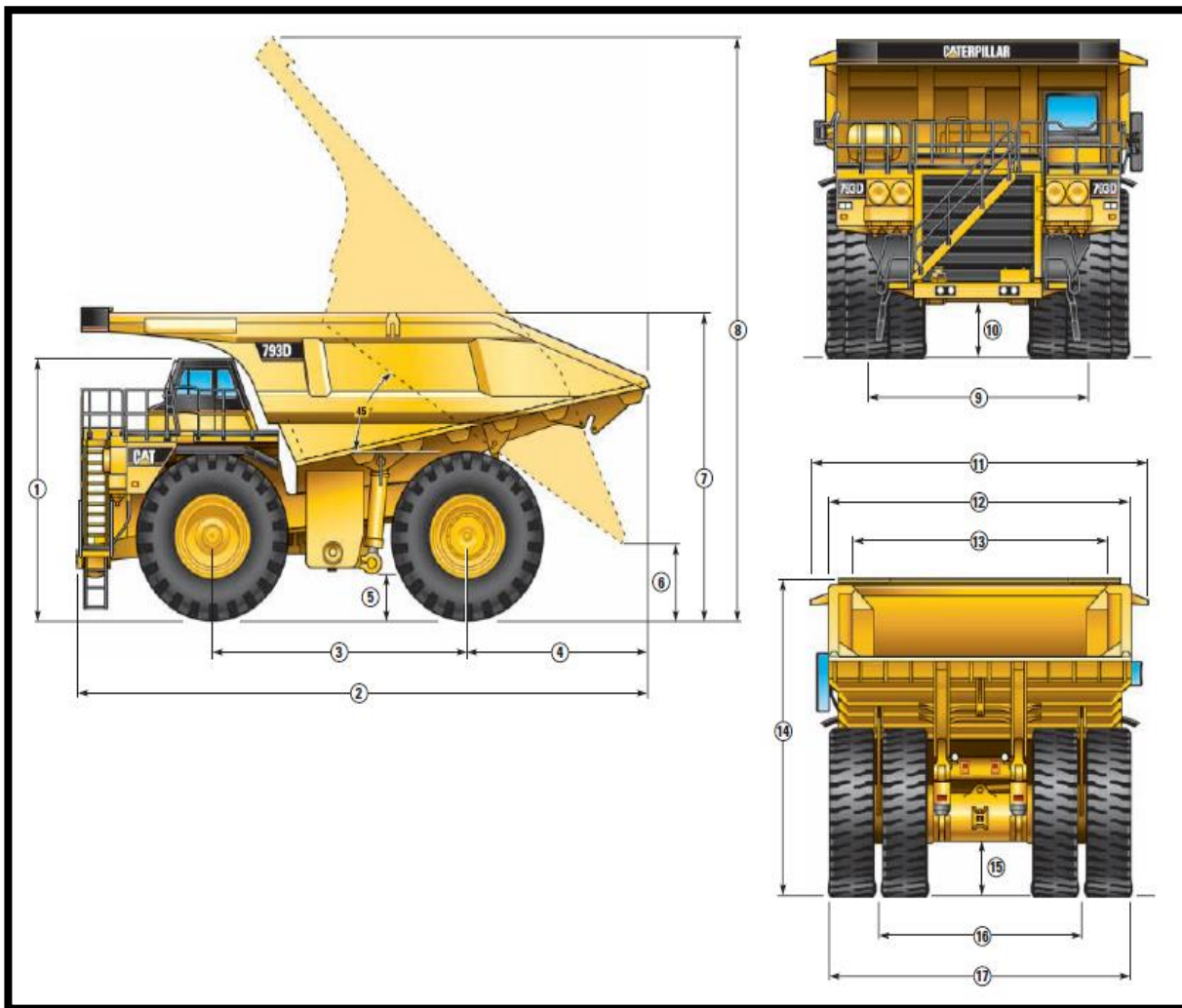
**Tabla 3. Especificaciones de operación de camiones Cat-793**

<b>Especificaciones de operación</b>		
Capacidad nominal de carga util	218 ton metricas	240 ton cortas
Capacidad de la caja	129 m3	169 yd3
Capacidad máxima	Especial	
Velocidad máxima - Cargado	54.3 kph	33.7 mph
Angulo de dirección	36°	
Radio de giro - Delantero	28.42 m	93.2 pie
Diametro del círculo de giro	32.66 m	107,15 pie

Fuente. Caterpillar. Especificaciones de operación, Cat-793

Los camiones CAT-793 son de gran tamaño debido a los altos volúmenes de material que se mueven y a las grandes dimensiones de la mina. En la figura 9 y tabla 4 se observan las dimensiones de un camión Cat-793.

**Figura 9. Dimensiones del camión CAT-793**



Fuente. Caterpillar. Dimensiones, Cat-793



**Tabla 4. Medidas del camión CAT-793**

Medidas del camión CAT-793					
-	(mm)	(pie)	-	(mm)	(pie)
1. Altura hasta la parte superior de ROPS	5,584	18.32	10. Espacio libre del protector del motor	1,294.0	4.25
2. Longitud total	12,862	19.37	11. Ancho total del techo	7,680.0	25.2
3. Distancia entre ejes	5,905	12.38	12. Ancho exterior de la caja	6,940.0	22.77
4. Eje trasero de la cola	3,772	12.38	13. Ancho interior de la caja	6,500.0	21.33
5. Espacio libre sobre el suelo	1,005	3.3	14. Altura delantera del techo	6,494.0	21.31
6. Espacio libre de descarga	1,364	4.48	15. Espacio libre del eje trasero	1,128.0	3.66
7. altura de carga - Vacío	5,871	19.26	16. Ancho entre las líneas de centro de los neumáticos dobles traseros	4,963.0	16.25
8. altura total - Caja subida	13,113	43.02	17. Ancho total de los neumáticos	7,605.0	24.92
9. Ancho entre líneas de centro de los neumáticos delanteros	5,610	18.41			

Fuente. Caterpillar. Medidas del camión, Cat-793

### 3.2. FACTORES OPERACIONALES DEL PROCESO DE ACARREO

Para alcanzar una alta eficiencia en el sistema de acarreo, un equipo depende de factores operacionales aptos para su buen funcionamiento y así alcanzar los objetivos planteados. Se debe tener en cuenta que las condiciones operativas de la mina están expuestas a cambios dinámicos debido a las tareas y actividades que se desarrollan constantemente para asegurar la continuidad del proceso de explotación del carbón.

Los factores operacionales más representativos en el proceso de acarreo de material estéril son:

- **Distancia de recorrido:**

Corresponde al trayecto que deben recorrer los equipos de acarreo desde el punto de carga hasta los botaderos, esta distancia depende de la topografía del terreno y cambia en la medida que se desarrolla la explotación.

Los camiones están sometidos a constantes cambios en las distancias de recorrido, es decir, que la ruta de acarreo puede variar dependiendo del punto de carga y descarga que se le asigne, basado en esto los equipos de acarreo desplazan el material por la mejor ruta o la distancia más corta de un punto a otro. También existen camiones que tienen rutas fijas de acarreo, esto sucede cuando están asignados a proyectos especiales como: construcción y mantenimiento de vías, construcción de bermas, que necesitan de un material en específico.

- **Características de las vías.**

El acarreo de material estéril depende principalmente de las características y condiciones de las vías o caminos de acarreo, un correcto diseño y mantenimiento garantiza que los equipos operen de manera adecuada, segura y efectiva.

La mina Pribbenow cuenta con un sistema de vías y rampas que conectan las áreas o frentes de explotación con los botaderos, estas vías se construyen basados en las características y especificaciones operativas de los equipos de transporte.

Las principales características de las vías de transporte son:

- **Ancho de vía:** Las vías se construyen teniendo en cuenta las dimensiones de los equipos de acarreo, de tal manera que tengan el espacio suficiente para operar de manera eficaz y segura, el ancho de la vía se establece teniendo en cuenta el ancho del camión, la distancia de seguridad entre equipos y ancho de la berma de seguridad.

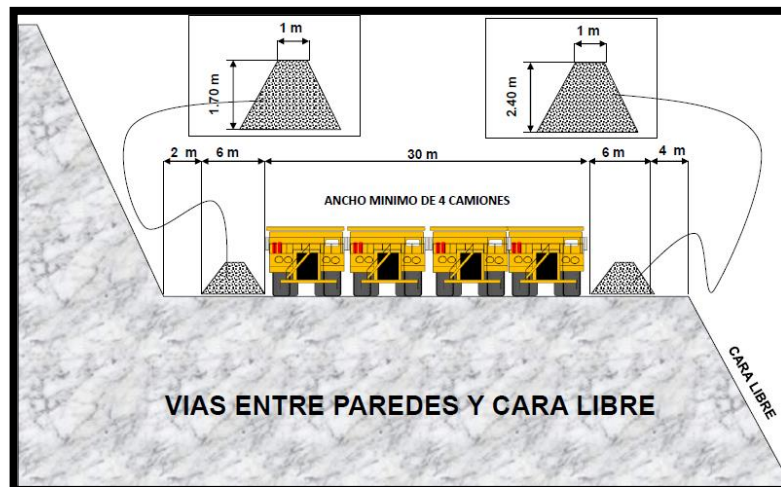
En vías rectas y rampas para el tránsito de camiones CAT-793 en dos sentidos se recomienda un ancho mínimo de 4 veces el ancho del camión más el ancho de la berma de seguridad.

Las bermas de seguridad tienen un ancho de 6 m en ambos costados de la vía y su altura es de 1.70 m cuando la vía es en espacios libres y entre paredes altas, cuando existe riesgo de caída al costado de la vía la altura de la berma es de 2.40 m.

Las vías actualmente cuentan con un ancho de 40 m aproximadamente de acuerdo a las condiciones del terreno.

En la Figura 7 se presentan las dimensiones típicas del ancho de las Vías, Rampas y bermas de la operación minera donde sea necesaria la movilidad de los camiones mineros.

**Figura 10. Ancho de vías y bermas**

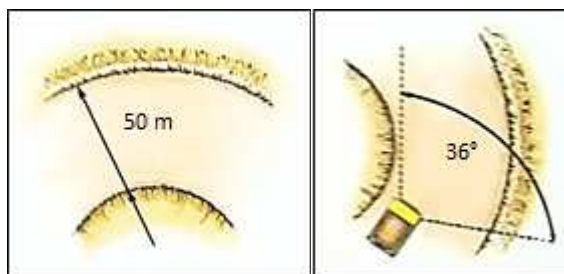


Fuente. Drummond Ltd.

- **Pendientes:** el sistema de rampas en la mina Pribbenow tiene una pendiente promedio de 8%, en algunos casos las rampas pueden presentar pendientes de hasta 10% teniendo en cuenta las condiciones del terreno.  
Las vías horizontales presentan un leve desnivel hacia un costado para garantizar el drenaje de las aguas lluvia.
- **Esquinas:** las esquinas y curvas deben diseñarse usando un radio de giro máximo de acuerdo a las características del equipo de acarreo, el radio debe mantenerse lo más constante posible de manera que los operadores de la máquina puedan ver y evitar los peligros cuando viajan a velocidades normales de operación.

El radio de giro utilizado en las vías de la mina Pribbenow para el tránsito de equipos de acarreo corresponde a 50 m y un ángulo de giro de 36°.

**Figura 11. Diámetro y Radio de giro.**



Fuente: Manual de Caterpillar, "Basic Haul Road Design and maintenance." USA, 2004. p 38.

- **Área de cargue:** El área de cargue de los camiones debe contar con unas condiciones específicas para garantizar el rendimiento de esta operación.

En ancho de banco para el cargue de material estéril con el sistema pala – camión es de 60 m para cargue por dos lados, el piso debe estar lo más nivelado y plano posible, esto garantiza una zona amplia que permite una mejor movilidad de los equipos evitando la congestión del área.

Los camiones se ubican en ambos costados de la pala teniendo en cuenta el alcance de la pala y su ángulo de giro, este último debe ser máximo de 90°.

Es importante que el área de cargue esta ordenada, libre de escombros caídos de la pared y de los camiones que salen de la misma, evitando que los camiones retrocedan sobre las rocas caídas de la superficie o conduzcan sobre las rocas derramadas durante la carga, ya que esto daña los neumáticos y los componentes del tren motriz, y afecta negativamente la precisión de la carga.

Todas las áreas de carga cuentan con los siguientes elementos ubicados adecuadamente para ofrecer apoyo en esta operación.

1. Supervisor del área
2. Dos torres para levantar el cable que proporciona energía a la pala
3. Equipo auxiliar de apoyo (Bulldozer)
4. Bahía de parqueo para equipos livianos
5. Luminarias
6. Conos de señalización

**Foto 5. Área de carga**



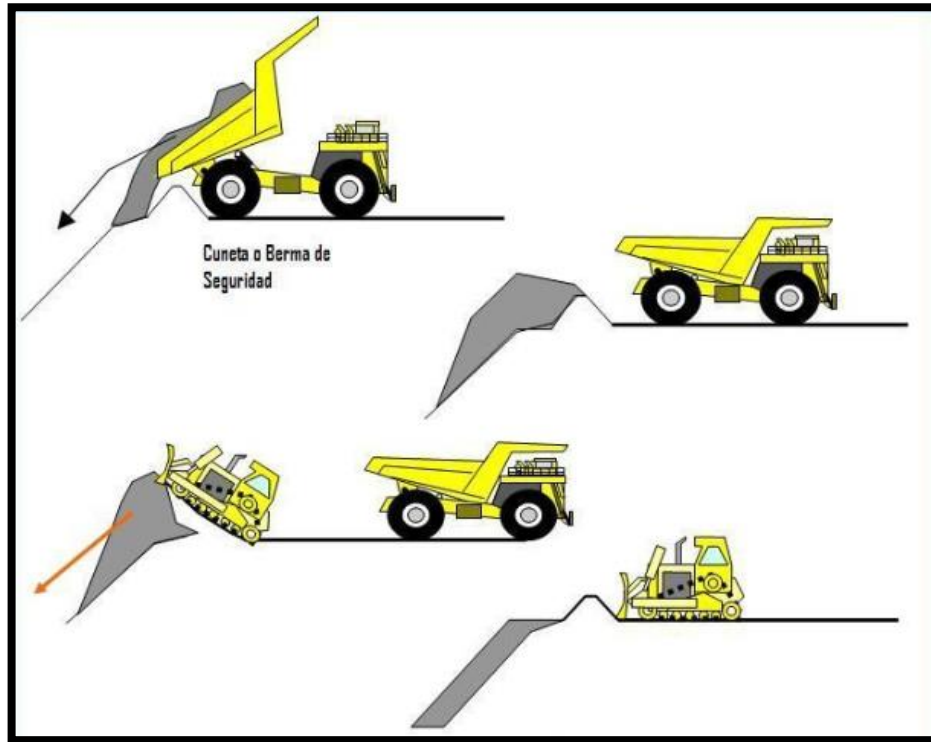
Fuente: Autor del proyecto.

- **Área de descargue:**

El área de descargue corresponde al lugar donde es depositado finalmente el material estéril, para el buen tránsito de los camiones el área cuenta con un punto de ingreso y un punto de salida, el piso debe estar nivelado y plano que permita que los camiones mantengan la velocidad hasta que lleguen a la zona de descarga.

Para garantiza la seguridad de esta tarea todo el borde de la zona de descarga debe tener una berma de seguridad y se nivelará y compactará mediante el tránsito normal de tractores, motoniveladoras y tráfico de camiones. Los análisis de estabilidad realizados en los taludes de los botaderos de la Mina Pribbenow indican factores de seguridad adecuados.

**Figura 12. Disposición en área de descargue**



Fuente: Roberto Diaz Molina, "Apuntes de minería a cielo abierto". 2016, p 58.

## 4. CALCULO DE TIEMPOS DE CICLO Y FACTOR DE PRODUCCIÓN DE CAMIONES

### 4.1. SOFTWARE DISPATCH.

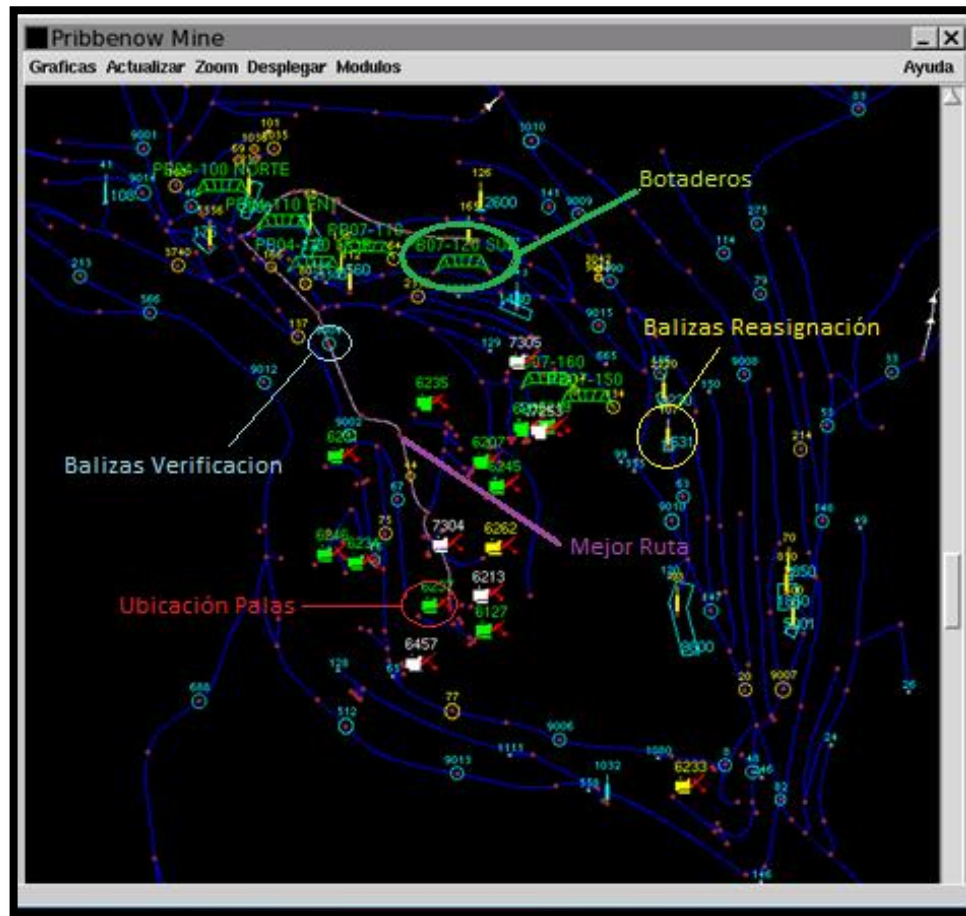
Es un sistema de administración minera a gran escala que permite monitorear, ubicar y registrar en tiempo real las actividades de los equipos de remoción y transporte de material estéril y carbón, utilizando la tecnología del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), computación, y comunicación de datos.

El sistema Dispatch se basa en tres algoritmos para la optimización del proceso de acarreo de material estéril, los algoritmos bases del sistema son:

- **Mejor ruta:** determina y asigna a los camiones la distancia o ruta más corta desde el área de carga hasta los botaderos.
- **Programación lineal:** cuando se asigna una ruta fija a un camión para cumplir un trabajo específico.
- **Programación dinámica:** los camiones son asignados a diferentes palas y botaderos de acuerdo a las prioridades de las palas, por lo tanto, los camiones no tienen un camino fijo, esto quiere decir, que un camión puede cambiar su ruta en determinando momento, esto sucede debido a las balizas de verificación y reasignación que se encuentran en las vías de acarreo.
- **Baliza verificación:** corresponde a un punto en el camino de acarreo que permite comprobar que el camión se dirige al lugar que le fue asignado.
- **Baliza de Reasignación:** punto en el camino de acarreo que asigna una nueva ruta y punto de cargue a un camión para satisfacer las prioridades de las palas.

Para que los algoritmos mencionados anteriormente funcionen de forma adecuada es necesario una red de caminos en buen estado, la topografía y los escenarios de acarreo deben estar actualizados, ubicación de palas, camiones disponibles, información de botaderos y tiempos de viaje. El sistema permite observar en tiempo real cada uno de estos parámetros. (Ver figura 13).

**Figura 13. Grafica de Mina DISPATCH – Pribbenow Mine**

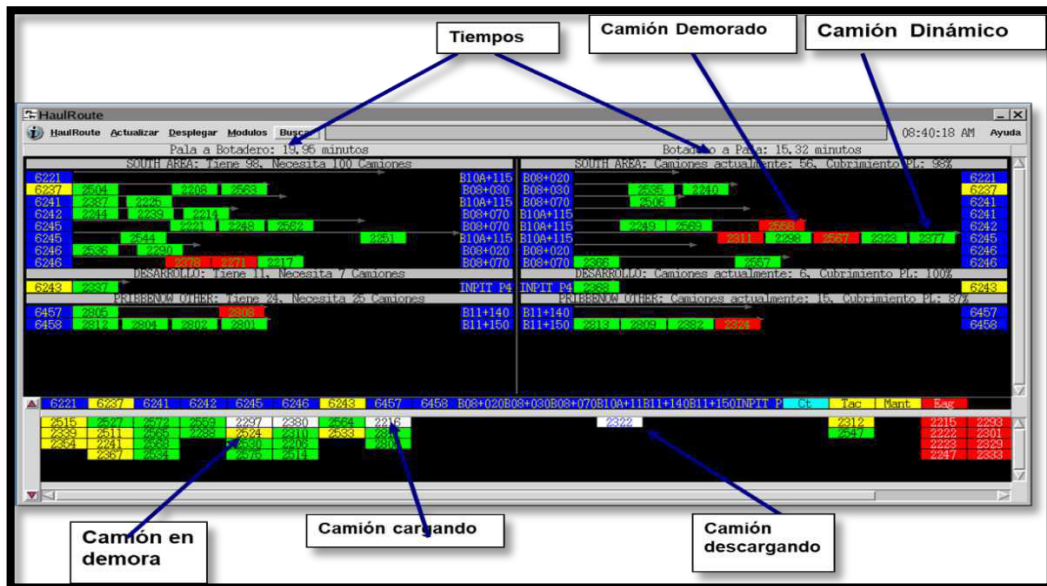


Fuente. *Software Dispatch*, Drummond Ltd.

Este sistema es administrado por el departamento de despacho donde se encargan de monitorear, registrar, almacenar y reportar la información correspondiente a los tiempos de ciclo de los camiones de acarreo y los estados operacionales en el cual se encuentran los equipos.

Los despachadores pueden ver virtualmente la operación de todos los equipos en sus diferentes estados a través de la ventana *Haul Route*.

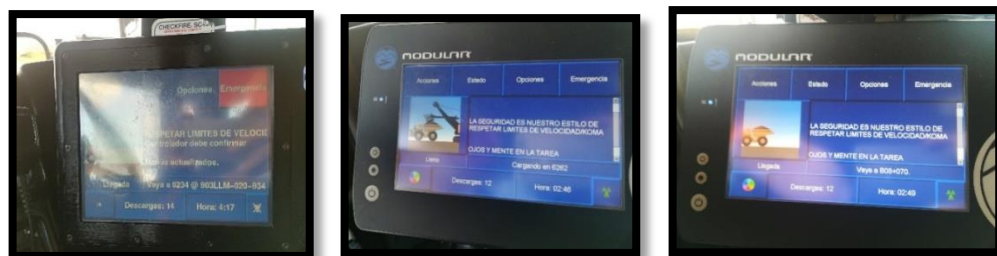
**Figura 14. Ventana Haul Route del Sistema Dispatch.**



Fuente. *Software Dispatch*, Drummond Ltd.

Por otra parte, los camiones cuentan con un monitor que indica al operador la pala asignada, a la cual debe dirigirse para realizar el cargue y de la misma manera indica el botadero en el cual se debe llevar a cabo el descargue del material. Allí también se observa el número de cargas o viajes realizados en un turno y los tiempos transcurridos en la operación de acarreo del material.

**Figura 15. Monitor de Camiones.**



Fuente. Autor del proyecto.

**4.1.1. Recopilación y organización de datos.** La información correspondiente al factor de producción y tiempo de ciclo de los camiones se obtiene apoyados en el software Dispatch, implementado en la empresa Drummond Ltd. con el fin de monitorear las operaciones en las minas Pribbenow y el Descanso.

Para realizar el análisis de sensibilidad de factor de producción de los camiones respecto al tiempo de ciclo en el acarreo de material estéril, es necesario acceder



a las bases de datos del sistema *Dispatch* y recopilar la información necesaria durante el año 2017.

Las bases de datos proporcionan un amplio rango de información que permite realizar un análisis detallado de acuerdo a la variedad y precisión de los datos.

En la tabla 5 se observa la información obtenida en las bases de datos.

**Tabla 5. Base de Datos Sistema Dispatch.**

Shift	Shv	Bench	Dump	Empty Haul	Spot	Queue	Loading	Haul	Dump	Cycle	Loads	Opr Hours	Trk Hours	Loads per	Altitude	BCMs	BCM/HR	Truck Req
01/02/17 D	6245	425BAO-1	B04-080N	10.1	1.1	2.5	1.7	12.2	1	28.6	175	11.3	83.3	2.1	40	18158	217.9	9.321429
01/02/17 D	6245	425BAO-1	INPIT PB S	10.1	1.3	5.4	2	5.6	0.9	25.4	5	0.4	2.1	2.4	6	487	230.2	6.060606
01/02/17 N	6245	425BAO-1	B04-080N	12	1.1	2.3	1.7	14	1	32	123	8.8	65.7	1.9	40	12832	195.4	10.60714
01/02/17 N	6245	425BAO-1	INPIT P45	11.9	1.9	1.5	1.9	2.5	0.7	20.4	2	0.2	0.7	2.9	10	201	295.1	4.973684

Fuente. *Software Dispatch*, Drummond Ltd.

Los valores correspondientes a los tiempos de las operaciones unitarias *Empty Haul*, *Queue*, *Spot*, *Loading*, *Loaded Haul* y *At Dump* para calcular el tiempo de ciclo son tomados de las bases de datos de *Dispatch*. Para su análisis e interpretación son recopilados, tabulados y organizados en tablas, en un archivo Excel durante el año 2017 como se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 6. Organización de datos.**

OVERBURDEN SHOVELS														
MP		PC8000-6	Average Truck Cycle Times (mins)											
ED		PC8000-6	Empty Haul	Spot	Queue	Loading	Loaded Haul	At Dump	Avg Cycle	# of Loads				
Shift	Shv	Bench	->	Dump										
6	01/02/17 D	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	B04-080NORT	10.1	1.1	2.5	1.7	12.2	1	28.6	175
7	01/02/17 D	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	INPIT PB SC	10.1	1.3	5.4	2	5.6	0.9	25.4	5
8	01/02/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	B04-080NORT	12	1.1	2.3	1.7	14	1	32	123
9	01/02/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	INPIT P45	11.9	1.9	1.5	1.9	2.5	0.7	20.4	2
10	01/02/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	INPIT PB SC	12.2	0.7	1.2	2	5.1	1.6	22.7	3
11	01/02/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	SPT+VIAS	11.5	1.2	2.9	2	2.7	0.9	21.2	1
12	01/03/17 D	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	B04-080NORT	10.3	1.2	2	1.9	12.8	1	29.3	79
13	01/03/17 D	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	INPIT PB SC	10.5	0.7	1.2	2.3	6.9	0.4	21.9	1
14	01/03/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	B04-080NORT	11.5	1.3	2.1	1.8	13	1	30.7	123
15	01/03/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	INPIT PB SC	7.7	1.1	1.1	1.8	4.1	0.8	16.6	4
16	01/03/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	SPT+VIAS	14.3	1.3	4.2	1.5	10.4	0.8	32.5	1
17	01/04/17 D	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	B04-080NORT	8.8	0.9	0.4	1.7	11.5	1	24.4	10
18	01/04/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	B04-080NORT	12	1.2	1.9	1.5	12.3	0.8	29.7	76
19	01/04/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	B10B+090	21.8	2.6	9.1	1.7	16.5	1	52.8	1
20	01/04/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	INPIT PB SC	10.2	2	2.7	2.7	10.6	3.1	31.2	1
21	01/04/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	SPT+VIAS	10.3	1.1	1	1.7	10.8	0.9	25.8	1
22	01/05/17 D	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	B04-080NORT	11.3	1.3	2.8	2.1	12	1.1	30.6	114
23	01/05/17 D	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	B04-100DIK	9.1	1.3	0	1.9	8.5	1.8	22.5	1
24	01/05/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	B04-080NORT	10.6	1.2	2.5	1.8	12.6	1	29.7	145
25	01/05/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	B04-100DIK	14	0.6	2.5	2.1	9.1	0.8	29	2
26	01/05/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	INPIT P34	9.5	1.3	3.5	2.1	4.1	1.1	21.7	13
27	01/05/17 N	PC8000-6	6245	425BAO-130-9	≥	INPIT PB SC	10.3	1	1.6	2.1	5.8	1.9	22.7	3

Fuente. Autor del Proyecto.

En la tabla 6, se muestra la información recopilada para el cálculo del tiempo de ciclo, allí se registran los valores medidos por el sistema *Dispatch* en un turno de trabajo y agrupados por palas, mes a mes durante el año 2017. La ventana de Excel se encuentra dividida en doce pestañas que corresponden a los doce meses del año y una pestaña extra que agrupa toda la información registrada en el año. Cabe resaltar que en la tabla solo se observan los primeros datos registrados ya que esta se extiende hacia abajo debido al amplio rango de información que allí se encuentra.

Adicional a los valores del tiempo ciclo se registran otros datos que permiten interpretar mejor la información.

- **Shift:** corresponde a la fecha y al turno de trabajo en que se midieron los datos, en la mina se trabajan dos turnos diarios uno diurno y un turno nocturno representados por los siguientes colores:

01/02/17 Turno diurno  
01/02/17 Turno nocturno

- **Shovel** (Shv): corresponde a la pala a la cual corresponden las cargas.
- **Bench:** banco donde se realizó el cargue del camión.
- **Dump:** botadero donde se depositó la carga
- **MP PC8000-6** representa la mina donde se encuentra la pala y su respectiva referencia.

**MP: mina Pribbenow**  
**ED: mina el descanso**

Con el fin de describir, analizar, resumir y representar los datos recopilados relacionados con los tiempos de ciclo en el acarreo de material estéril durante el año 2017 se realiza una reorganización de la información.

La reorganización consiste en crear una tabla para cada una de las variables que comprenden el tiempo de ciclo, allí se agrupan los tiempos en intervalos, es decir, el número de cargas o viajes realizados con tiempos iguales o similares. Como se observa en las siguientes tablas.

**Tabla 7. Organización de datos por intervalos, Variable “Empty Haul”.**

		Empty Haul									
Min	0.0										
Max	40.7	2	4								
Avg	9.3										
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
180					180						40.7
18				18							
1				1							
131								131			
3						3					
3					3						
6						6					
1											1
2					2						
146					146						
10						10					
7						7					
3										3	
4					4						
2								2			
144						144					
1											1
7						7					
2					2						
178					178						
4					4						
6					6						
1						1					
1									1		
4					4						
145						145					
1						1					
1					1						
1					1						
136						136					
58						58					
1						1					
189					189						
1								1			
1					1						
3						3					
150					150						

Fuente. Autor del Proyecto.

Esta tabla muestra la reorganización de los datos de la variable *Empty Haul*, los valores registrados en cada una de las celdas encerradas en la columna roja corresponden al número de cargas que se realizaron por turno y el cuadro verde representa las cargas realizadas asignadas al intervalo de tiempo al cual corresponden. Por Ejemplo. El día 2 de enero del 2017 se realizaron 180 cargas por los equipos asignados a la pala 6231 con un tiempo promedio de 7.8 min, lo que quiere decir que 180 cargas se realizaron en un tiempo mayor a 6 y menor o igual a 8.

De esta manera se organizaron los datos registrados correspondientes a las demás variables: *Queue*, *Spot*, *Loading*, *Loaded Haul*, *At Dump* y *Avg Cycle Time*.

Tabla 8. Organización de datos por intervalos, Variable "QUEUE".

Queue											
Min	0.0										
Max	22.7	0.5	2.27								
Avg	2.4										
	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	22.7
180			180								
18			18								
1											1
131			131								
3										3	
3		3									
6				6							
1						1					
2			2								
146				146							
10		10									
7					7						
3				3							
4					4						
2		2									
144			144								
1	1										
7		7									
2			2								
178					178						
4					4						
6	6										
1		1									
1				1							
4			4								
145					145						
1						1					
1		1									
1	1										
136					136						
58										58	
1	1										
189							189				
1	1										
1	1										
3						3					
150					150						

Tabla 9. Organización de datos por intervalos, Variable "SPOT".

Spot											
Min	0.0										
Max	5.0	0.1	0.5								
Avg	1.1										
	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	5.0
180			180								
18				18							
1	1										
131					131						
3											3
3				3							
6									6		
1							1				
2	2										
146				146							
10							10				
7							7				
3		3									
4				4							
2			2								
144					144						
1	1										
7				7							
2					2						
178							178				
4								4			
6						6					
1						1					
1						1					
4							4				
145								145			
1							1				
1											1
1											1
136								136			
58									58		
1										1	
189									189		
1	1										
1	1										1
3									3		
150									150		

Fuente. Autor del Proyecto.

**Tabla 10.** Organización de datos por intervalos, Variable “LOADING”. **Tabla 11.** Organización de datos por intervalos, Variable “LOADED HAUL”.

Loading												
MJn	0.0											
Max	5.4	0.1	0.54									
Avg	1.7											
	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.10	5.4	
180				180								
18			18									
1					1							
131		131										
3	3											
3		3										
6			6									
1									1			
2	2											
146				146								
10			10									
7					7							
3					3							
4			4									
2							2					
144			144									
1	1											
7						7						
2					2							
178					178							
4		4										
6	6											
1				1								
1											1	
4				4								
145		145										
1		1										
1	1											
1					1							
136						136						
58									58			
1					1							
189			189									
1		1										
1			1									
3			3									
150					150							

Loaded Haul												
MJn	0.0											
Max	66.6	2	6.66									
Avg	10.5											
	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00	66.6	
180					180							
18						18						
1									1			
131									131			
3									3			
3												
6						6						
1												
2												
146									146			
10									10			
7									7			
3												3
4												
2												2
144												144
1												
7												
2												
178												178
4												
6												
1												
1												
4												
145												145
1												
1												
1												
1												
136												136
58												58
1												
189												189
1												
1												
3												
150												150

Fuente. Autor del Proyecto.

**Tabla 12.** Organización de datos por intervalos, Variable “AT DUMP”.

At Dump												
MJn	0.0											
Max	26.2	0.2	2.62									
Avg	1.3											
	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	26.2	
180					180							
18										18		
1	1											
131						131						
3					3							
3		3										
6				6								
1			1									
2					2							
146						146						
10					10							
7			7									
3					3							
4				4								
2			2									
144					144							
1			1									
7				7								
2			2									
178					178							
4					4							
6						6						
1				1								
1										1		
4		4										
145					145							
1					1							
1					1							
1			1									
136					136							
58					58							
1								1				
189					189							
1					1							
1	1											
3					3							
150					150							

**Tabla 13.** Organización de datos por intervalos, Variable “AVG CYCLE”.

Avg Cycle												
MJn	0.3											
Max	84.6	3	8.46									
Avg	26.3											
	10.00	13.00	16.00	19.00	22.00	25.00	28.00	31.00	34.00	37.00	84.6	
180					180							
18						18						
1									1			
131								131				
3									3			
3												
6												
1												1
2									2			
146								146				
10								10				
7								7				
3												3
4						4						
2												2
144								144				
1											1	
7								7				
2								2				
178								178				
4								4				
6										6		
1										1		
1												1
4										4		
145										145		
1										1		
1											1	
1										1		
136										136		
58										58		
1										1		
189										189		
1										1		
1											1	
1												1
3										3		
150										150		

Al final de cada una de las tablas se realiza la suma vertical del total de cargas realizadas con igual o similar tiempo, estableciendo el intervalo al cuál pertenecen y calculando la frecuencia para cada uno de estos.

- Calculo de frecuencias por intervalos del “Empty Haul”

Empty Haul												
INTERVALO	2	4	6	8	10	12	14.0	16.0	18.0	20.0	40.7	TOTAL
LOADS	93	3091	5048	9487	25,838	20293	4397.0	1777.0	732.0	117.0	82.0	70,955
Frequency	0.1%	4.4%	7.1%	13.4%	36.4%	28.6%	6.2%	2.5%	1.0%	0.2%	0.1%	100%

Fuente. Autor del proyecto.

- Calculo de frecuencias por intervalos del “Queue”

Queue												
INTERVALO	0.5	1	1.5	2	3	3	3.5	4.0	4.5	5.0	22.7	TOTAL
LOADS	749	870	7468	16495	19,588	14257	7269.0	2290.0	829.0	626.0	514.0	70,955
Frequency	1.1%	1.2%	10.5%	23.2%	27.6%	20.1%	10.2%	3.2%	1.2%	0.9%	0.7%	100%

Fuente. Autor del proyecto.

- Calculo de frecuencias por intervalos del “Spot”

SPOT												
INTERVALO	0.7	0.8	0.9	1	1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	5.0	TOTAL
LOADS	918	1726	6714	13574	20,374	14121	5666.0	3478.0	1597.0	1065.0	1722.0	70,955
Frequency	1.3%	2.4%	9.5%	19.1%	28.7%	19.9%	8.0%	4.9%	2.3%	1.5%	2.4%	100%

Fuente. Autor del proyecto.

- Calculo de frecuencias por intervalos del “Loading”

LOADING												
INTERVALO	1.2	1.3	1.4	1.5	2	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	5.4	TOTAL
LOADS	744	2223	7802	10468	13,336	11828	8162.0	7988.0	3781.0	1588.0	3035.0	70,955
Frequency	1.0%	3.1%	11.0%	14.8%	18.8%	16.7%	11.5%	11.3%	5.3%	2.2%	4.3%	100%

Fuente. Autor del proyecto.

- Calculo de frecuencias por intervalos del “Loaded Haul”

LOADED HAUL												
INTERVALO	2	4	6	8	10	12	14.0	16.0	18.0	20.0	66.6	TOTAL
LOADS	184	2605	5903	5722	12,510	29326	8776.0	2031.0	442.0	776.0	2680.0	70,955
Frequency	0.3%	3.7%	8.3%	8.1%	17.6%	41.3%	12.4%	2.9%	0.6%	1.1%	3.8%	100%

Fuente. Autor del proyecto.

- Calculo de frecuencias por intervalos del “At Dump”

AT DUMP												
INTERVALO	0.4	0.6	0.8	1	1	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	26.2	TOTAL
LOADS	307	268	2058	12272	22,365	16560	9469.0	5728.0	1418.0	127.0	383.0	70,955
Frequency	0.4%	0.4%	2.9%	17.3%	31.5%	23.3%	13.3%	8.1%	2.0%	0.2%	0.5%	100%

Fuente. Autor del proyecto.

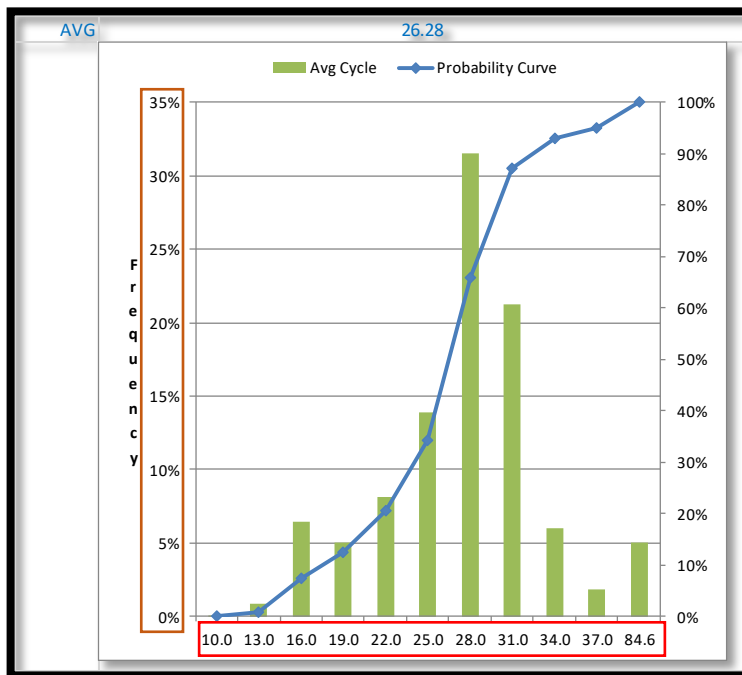
- Cálculo de frecuencias por intervalos del “Avg Cycle Time”

AVG CYCLE TIME												
INTERVALO	10	13	16	19	22	25	28.0	31.0	34.0	37.0	84.6	TOTAL
LOADS	51	593	4582	3556	5,742	9823	22393.0	15066.0	4265.0	1293.0	3591.0	70,955
Frequency	0.1%	0.8%	6.5%	5.0%	8.1%	13.8%	31.6%	21.2%	6.0%	1.8%	5.1%	100%

Fuente. Autor del proyecto.

El resultado obtenido en la reorganización de los datos para cada una de las variables del tiempo de ciclo se representa mediante la elaboración de diagramas de barras donde se puede observar la distribución de la frecuencia de los datos registrados en cada uno de los intervalos de tiempo. (Ver figura 16).

**Figura 16. Distribución de frecuencias “Avg Cycle Time”**



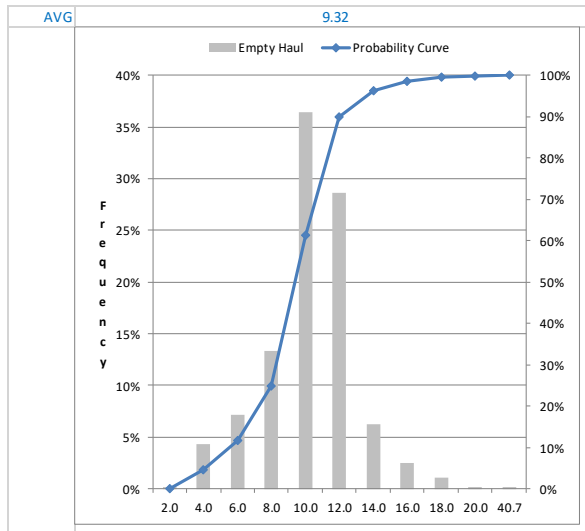
Fuente. Autor del Proyecto.

En esta tabla se observa una distribución normal de frecuencias para el tiempo de ciclo promedio registrado por los equipos de acarreo asignados a la pala 6231 durante el año 2017, donde la curva de probabilidad representa el 100 % de los datos recopilados. Se puede deducir que el tiempo de ciclo promedio se encuentra en el intervalo 28, correspondiente al 31.6 % de los datos registrados, por lo tanto, su valor será mayor a 25 y menor o igual a 28 minutos, con una media de 26.3 minutos aproximadamente.

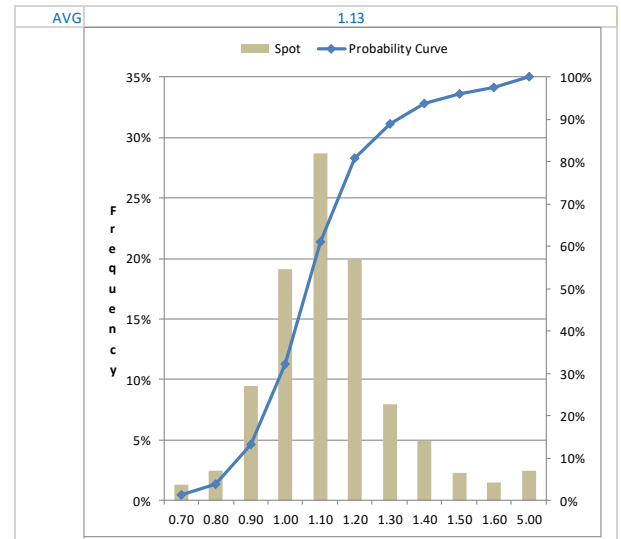


Las distribuciones de frecuencias para cada una de las variables se observan en las siguientes graficas:

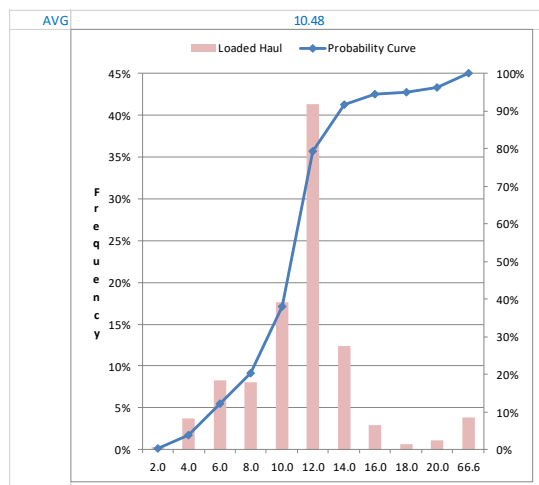
**Figura 18. Distribución de frecuencias "Empty Haul"**



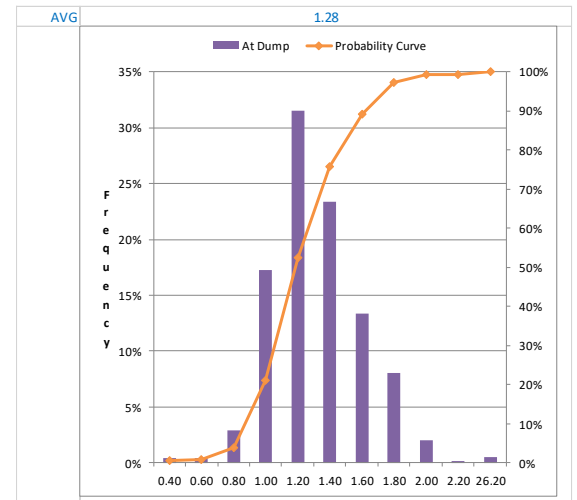
**Figura 17. Distribución de frecuencias "Spot"**



**Figura 19. Distribución de frecuencias "Loaded Haul"**

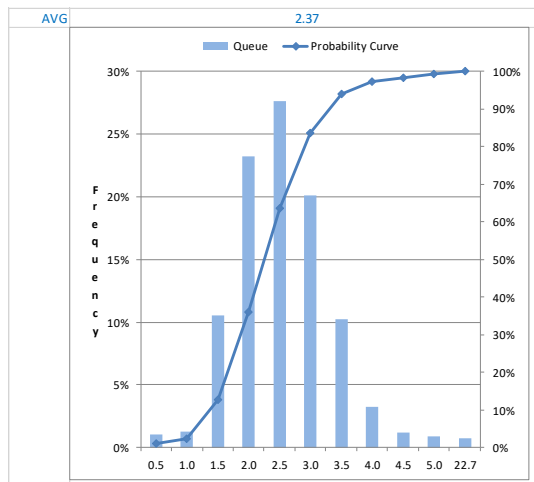


**Figura 20. Distribución de frecuencias "At Dump"**

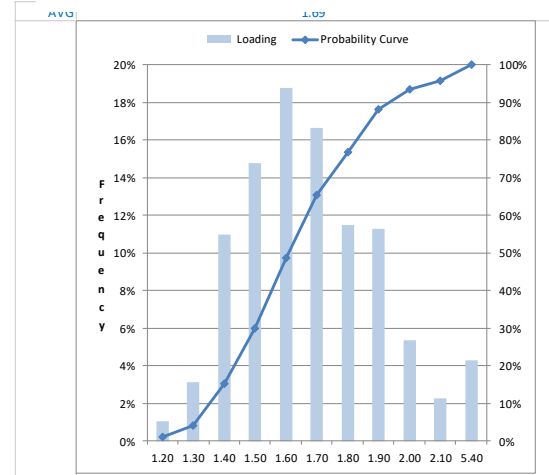


Fuente. Datos de Estudio.

**Figura 21. Distribución de frecuencias “Queue”**



**Figura 22. Distribución de frecuencias “Loading”**



Fuente. Datos de estudio.

Las gráficas de distribución de frecuencias para cada una de las operaciones unitarias que componen el tiempo de ciclo permiten identificar las diferentes variaciones de los tiempos registrados para cada una de ellas

## 4.2. TIEMPOS DE CICLO

El tiempo de ciclo es la sumatoria de los tiempos empleados en cada una de las operaciones unitarias relacionadas con el acarreo de material estéril desde el frente de trabajo hasta los botaderos.

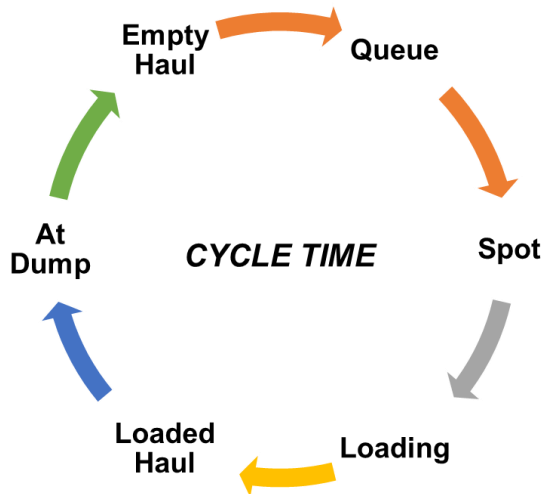
Las operaciones unitarias que componen el ciclo de acarreo son:

- **Empty Haul** (viaje vacío): corresponde al tiempo de viaje vacío que tarda un camión desde el punto de descarga hasta el área de cargue.
- **Queue** (espera): es el tiempo que debe esperar un camión para ser cargado mientras la pala carga otro camión.
- **Spot** (Acuatamiento): corresponde al tiempo que tarda un camión en la maniobra de posicionamiento para ser cargado.
- **Loading** (cargando): es el tiempo que tarda la pala en cargar el equipo.
- **Loaded Haul** (Viaje Cargado): corresponde al tiempo de viaje cargado que tarda un camión desde el punto de cargue hasta el botadero.

- **At Dump** (en Botadero): se refiere al tiempo de giro, posicionamiento y descarga que emplea el equipo en el botadero.

Las operaciones que realiza un camión en el proceso de acarreo se repiten periódicamente durante el turno de trabajo y se realizan ordenadamente como se observa en la figura 19.

**Figura 23. Flujograma del ciclo de acarreo.**



Fuente. Autor del proyecto.

El ciclo de acarreo inicia en el viaje vacío “**Empty Haul**” que realiza el camión hasta llegar a la zona de cargue, allí debe esperar “**Queue**” que la pala termine de cargar el camión que se encuentre en turno para poder realizar la maniobra de acuatamiento “**Spot**” y proceder a ser cargado “**Loading**”. Luego de esto el camión emprende el viaje cargado “**Loaded Haul**” hacía el botadero “**At Dump**” donde se realiza la descarga del material y finaliza el ciclo de acarreo, dando inicio a un nuevo ciclo.

La finalización de un ciclo de acarreo da como resultado una carga o loads

- **Loads (cargas):** corresponden al número de ciclos o viajes de acarreo completados por un camión durante un turno de trabajo.

**4.2.1 Cálculo de tiempos.** El tiempo de ciclo “Cycle Time” es igual a:

$$\text{Cycle Time} = \text{Empty Haul} + \text{Queue} + \text{Spot} + \text{Loading} + \text{Loaded Haul} + \text{At Dump}$$

Los tiempos se registran en minutos.

Al tener la información tabulada y organizada, al final de cada tabla se realiza un promedio vertical de cada uno de las variables que componen el tiempo de ciclo, la suma vertical del total de cargas realizadas y el tiempo mínimo y máximo registrado durante el proceso de acarreo.

La tabla 14, muestra el cálculo del promedio de los tiempos de ciclos de acarreo de material estéril realizados por los equipos asignados a la pala 31 que se localiza en la mina Pribbenow.

**Tabla 14. Promedio tiempos de ciclo de acarreo año 2017, Ejemplo pala 31.**

		OVERBURDEN SHOVELS				Average Truck Cycle Times (mins)									
1	MP	PC8000-6				Empty				Loaded	At	Avg	# of		
3	ED	PC8000-6				Haul	Spot	Queue	Loading	Haul	Dump	Cycle	Loads		
4	Shift		Shv	Bench	->	Dump									
5															
2237	09/29/17 D	PC8000-6	6231	933CAB-150-9	≥	B08+070.	15	1.4	1.4	1.1	22.5	1.6	42.9	1	
2238	09/29/17 D	PC8000-6	6231	933CAB-150-9	≥	SPT+VIA TIT	7.5	2.2	4.9	1.2	16.1	0.9	32.7	13	
2239	09/29/17 D	PC8000-6	6231	933CAB-150-9	≥	SPT+VIAS	7.6	2.1	6.4	1.5	6.3	0.5	24.5	2	
2240	09/29/17 N	PC8000-6	6231	933CAB-150-9	≥	B04-070	14.8	1.4	1.6	1.5	12.8	1	33	52	
2241	09/29/17 N	PC8000-6	6231	933CAB-150-9	≥	B04-080	13.8	1.7	1.5	1.7	13.3	1.1	33.1	20	
2242	09/29/17 N	PC8000-6	6231	933CAB-150-9	≥	INPIT P31	13.7	1	2.5	1.6	2.7	0.1	21.6	2	
2243	09/30/17 D	PC8000-6	6231	933CAB-150-9	≥	B04-070	6.7	2.2	5.8	1.6	11.6	1.1	28.9	16	
2244	09/30/17 D	PC8000-6	6231	933CAB-150-9	≥	B04-080	10.3	1.8	2.5	1.6	12.7	1.1	30.1	37	
2245	09/30/17 D	PC8000-6	6231	933CAB-150-9	≥	B04-100 R4	9.6	1.8	1.6	1.7	9.1	0.9	24.7	26	
2246	09/30/17 D	PC8000-6	6231	933CAB-150-9	≥	SPT+VIA TIT	7.7	4.3	9	2.4	13.9	0.6	38	1	
2247															
2248															
2249															
2250	x						Avg total	9.3	1.1	2.4	1.7	10.5	1.3	26.3	70,955
2251													Avg	31.7	
2252							Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0
2253							Max	40.7	5.0	22.7	5.4	66.6	26.2	84.6	240.0

Fuente. Autor del proyecto.

De esta forma se logra calcular el tiempo de ciclo promedio anual que gastan los camiones asignados a cada una de las palas para el acarreo de material estéril en las minas Pribbenow y el Descanso.

Los datos obtenidos se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 15. Promedio Tiempos de Ciclo Mina Pribbenow Ene – Sep. 2017.**

MP Average Truck Cycle Time(min) JANUARY - SEPTEMBER 2017									
Shovels		Empty Haul	Spot	Queue	Loading	Loaded Haul	At Dump	Avg Cycle	# of Loads
6188	H485	9.3	0.7	1.3	3.2	12.0	2.10	28.6	40,960
6231	PC8000-6	9.3	1.1	2.4	1.7	10.5	1.28	26.3	70,955
6233	PC8000-6	9.2	1.0	2.5	1.7	10.4	1.35	26.1	71,466
6234	PC8000-6	9.0	1.1	2.5	1.8	10.4	1.29	26.0	73,133
6235	PC8000-6	9.4	1.1	2.4	1.7	11.0	1.33	26.9	67,981
6237	PC8000-6	10.1	1.0	2.4	2.0	11.3	1.31	28.1	69,187
6245	PC8000-6	9.7	1.1	2.5	1.8	11.8	1.27	28.1	71,248
6246	PC8000-6	10.3	1.1	2.6	1.8	12.5	1.34	29.7	69,465
6261	EX3600 R	10.6	1.4	2.1	4.5	11.3	1.31	31.3	21,786
6262	EX3600 R	9.0	1.6	2.2	4.8	9.3	1.26	28.1	24,584
AVG CYCLE TOTAL		9.6	1.1	2.3	2.5	11.0	1.4	27.9	580,765

Fuente. Autor del proyecto.

Con base en los datos de la tabla 15, se deduce que durante el periodo comprendido entre enero y septiembre del año 2017 en la Mina Pribbenow, se realizaron 580,765 Cargas con un tiempo de ciclo promedio de 27.9 minutos, un tiempo mínimo promedio de 26 minutos correspondientes a las cargas realizadas por los equipos de acarreo asignados a la pala 6234 y un tiempo de ciclo promedio máximo de 31.3 minutos realizados por los equipos asignados a la pala 6261.

**Tabla 16. Promedio Tiempos de Ciclo Mina El Descanso Ene – Sep. 2017.**

ED Average Truck Cycle Time(min) JANUARY - SEPTEMBER 2017									
Shovels		Empty Haul	Spot	Queue	Loading	Loaded Haul	At Dump	Avg Cycle	# of Loads
6197	PC8000-1	11.2	1.1	2.2	2.2	13.1	1.18	31.1	37,526
6232	PC8000-6	10.4	1.1	2.2	1.6	13.4	1.04	29.8	56,628
6236	PC8000-6	11.3	1.1	2.3	1.6	15.0	1.04	32.3	58,936
6238	PC8000-6	13.0	1.0	2.1	1.5	17.4	1.12	36.1	64,694
6239	PC8000-6	10.7	1.1	2.3	1.7	13.0	1.17	29.9	63,557
6241	BUCYRUS BE495	12.0	0.9	2.4	1.1	15.1	1.12	32.6	76,209
6242	BUCYRUS BE495	11.4	0.9	2.4	1.1	14.0	1.15	31.0	89,084
6243	BUCYRUS BE495	13.2	1.0	2.4	1.1	17.2	1.16	35.9	78,602
6244	BUCYRUS BE495	13.0	0.9	2.5	1.1	17.3	1.15	36.0	86,315
6247	PC8000-6	10.1	0.9	2.2	1.5	12.6	1.16	28.5	74,384
6248	PC8000-6	10.7	0.9	2.2	1.6	13.3	1.19	29.9	58,420
6249	PC8000-6	11.9	1.0	2.3	1.6	14.8	1.20	32.7	46,741
6260	EX3600 R	12.4	1.3	2.2	4.2	16.3	1.18	37.6	25,991
6263	EX3600 R	12.8	1.4	2.4	4.3	16.7	1.12	38.7	24,560
AVG CYCLE TOTAL		11.7	1.0	2.3	1.9	14.9	1.1	33.0	841,647

Fuente. Autor del proyecto.

En la mina el descanso se realizaron 841,647 cargas durante el periodo Enero – Septiembre del año 2017 con un tiempo de ciclo promedio de 33 minutos, un tiempo de ciclo mínimo promedio de 28.5 minutos realizado por los equipos asignados a la pala 6247 y un tiempo de ciclo promedio máximo de 38.7 minutos realizado por los equipos de acarreo que fueron asignados a la pala 6263.

De los datos obtenidos en las tablas 15 y 16 se puede concluir que el tiempo de ciclo promedio en la mina el Descanso es mayor al de la mina Pribbenow, con una diferencia de 5.1 minutos aproximadamente, de igual forma se observa que, los tiempos máximos corresponden a los ciclos de acarreo realizados por los equipos asignados a las palas 6261 y 6263 las cuales son tipo retro excavadora Hitachi Ex 3600-6, mientras que los tiempos de ciclo mínimos pertenecen a los equipos asignados a las palas 6234 y 6247 de tipo Komatsu PC8000-6.

**4.2.2 Análisis sensibilidad tiempo de ciclo.** El análisis de sensibilidad del tiempo de ciclo se realiza respecto a las variaciones que presentan los tiempos en cada uno de los factores u operaciones unitarias que lo componen, con el fin de identificar cuanto pueden llegar a afectarlo.

Debido al elevado rango de información registrada, es necesario la discriminación de los datos recopilados con el fin de descartar valores erróneos e inusuales registrados por el sistema *Dispatch*, de esta manera, se ordena la información por percentiles de menor a mayor y únicamente se tendrán en cuenta las variaciones registradas entre el percentil 10 y el percentil 90, en cada uno de los parámetros, lo cual arrojará resultados más lógicos de acuerdo a las condiciones de la operación.

Los resultados obtenidos se representan de la siguiente manera, (ver grafica 1).

**Grafica 1. Sensibilidad Tiempo de Ciclo, pala 6231**



Fuente. Autor del Proyecto.

En la gráfica 1 se observa la variación establecida entre el P10 y P90 de cada uno de los parámetros que componen el tiempo de ciclo, con base en esto, se realiza

el cálculo del tiempo de ciclo variando desde el P10 hasta el P90 uno a uno cada parámetro, manteniendo los demás constantes.

Como resultado se obtiene una alteración positiva o negativa en el tiempo de ciclo respecto a la media, el rango de alteración obtenido respecto a cada uno de los parámetros permite definir cuál de estos afecta en mayor proporción el tiempo de ciclo de los camiones en el acarreo del material estéril.

Para el caso particular del tiempo de ciclo asociado a la pala 6231, los resultados indican que el *Loaded Haul* corresponde al parámetro que ocasiona una mayor variación al tiempo de ciclo, el *Empty Haul* presenta un comportamiento similar al anterior con un rango menor de variación, mientras que los parámetros *spot*, *Loading*, y *At Dump* representan una mínima variación. Para en *Queue* se obtuvo una variación equilibrada, aunque se registran valores mayores aproximadamente 1 min respecto a la media.

**Grafica 2. Sensibilidad Tiempo de Ciclo, pala 6188 y 6233**

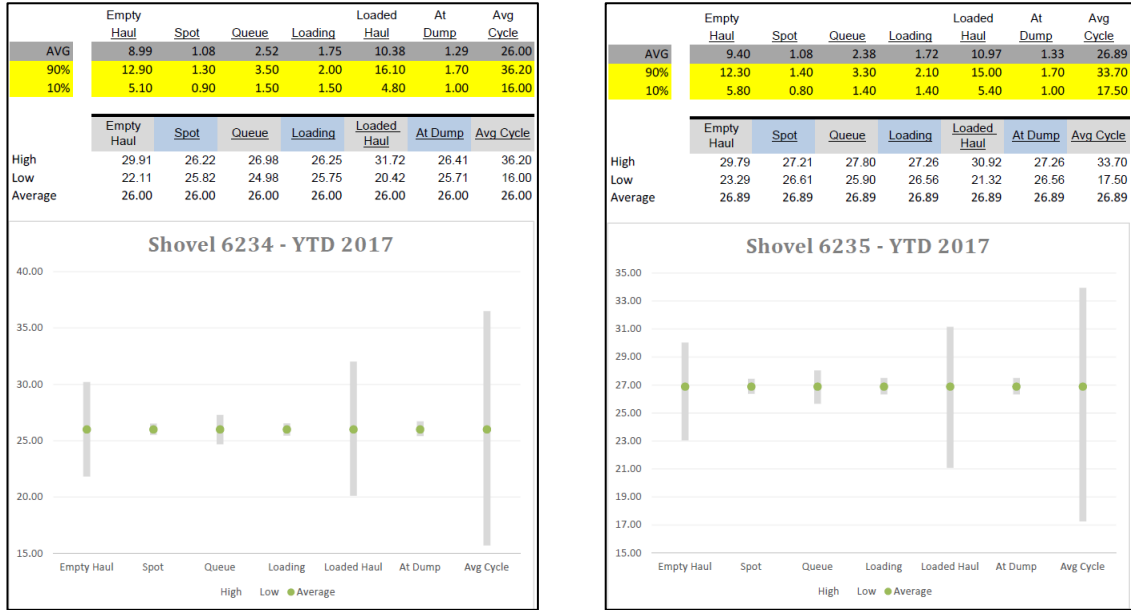


Fuente. Autor del Proyecto.

Para la pala 6188 se observa que el *Empty Haul* y *Loaded Haul* presentan una variación similar afectando de igual forma el tiempo de ciclo, el *Queue* fue bajo de acuerdo con la media estándar, mientras que los tiempos de *Loading* y *At Dump* aumentaron lo cual ocasiona una afectación negativa al tiempo de ciclo.

La pala 6233 muestra una sensibilidad normal del tiempo de ciclo, debido a que los parámetros que más influyen se establecen en el siguiente orden: *Loaded Haul*, *Empty Haul*, *Queue*, *Loading*, *At Dump* y *Spot*.

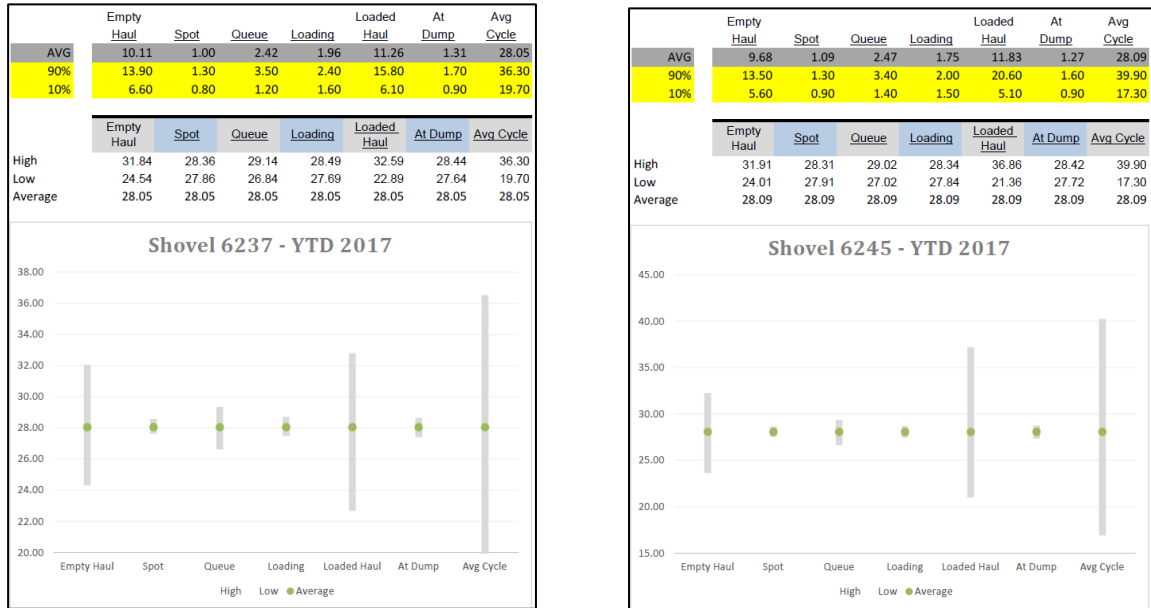
**Grafica 3. Sensibilidad Tiempo de Ciclo, pala 6234 y 6235**



Fuente. Autor del Proyecto.

Los tiempos de ciclo asociados a las palas 6234 y 6235 presentan una sensibilidad normal, la pala 6235 registra una variación en el p10y p90 de  $\pm 1$  min respecto a la 6234.

**Grafica 4. Sensibilidad Tiempo de Ciclo, pala 6237 y 6245**



Fuente. Autor del Proyecto.



Se observa una variación normal en los tiempos de ciclo, donde el *Loaded haul* asociado a la pala 6245 genera mayor afectación, obteniendo tiempos de ciclo hasta de 37 min aproximadamente.

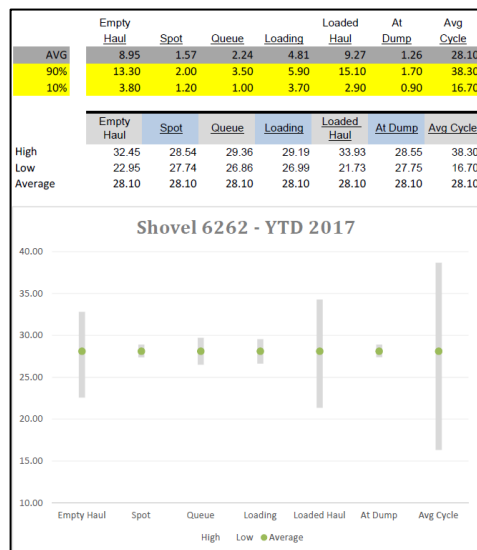
**Grafica 5. Sensibilidad Tiempo de Ciclo, pala 6246 y 6261**



Fuente. Autor del Proyecto.

Los parámetros presentan una variación similar ocasionando la misma afectación en el tiempo de ciclo asociado en cada una de las palas, sin embargo, el *Loaded Haul* genera tiempo de ciclo más elevados en la pala 6246. Por otro lado, el tiempo *Queue* fue menor respecto a la media estándar en la pala 6261.

**Grafica 6. Sensibilidad Tiempo de Ciclo, pala 6262**



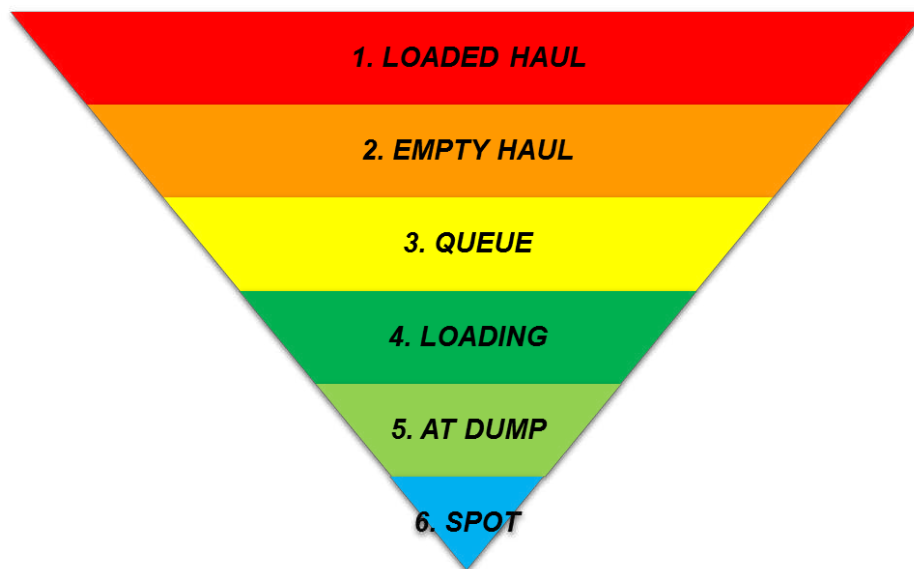
Fuente. Autor del Proyecto.

La variación y el rango de afectación de los parámetros es normal, el tiempo de carga aumenta dado a la capacidad de cargue de la pala, el tiempo de *Queue* se mantiene respecto a la media establecida.

**4.2.3. Resultados y Observaciones.** Con base en los resultados observados en las gráficas, se entiende que la variación en los tiempos de cada una de las operaciones unitarias que componen el tiempo de ciclo ocasiona una afectación directa respecto a este, ya que a medida que aumenta o disminuye cada factor, el tiempo de ciclo también aumentará o disminuirá proporcionalmente.

Teniendo en cuenta el rango de alteración del tiempo de ciclo respecto a las variaciones realizadas entre el P10 y P90 en cada parámetro, se identificó de mayor a menor cada uno de ellos de acuerdo al grado de influencia. (Ver figura 24.)

**Figura 24. Nivel de influencia.**



Fuente. Autor del proyecto.

La figura 24 toma la forma de una pirámide invertida donde la parte superior representa el parámetro que afecta en mayor proporción el tiempo de ciclo, y la parte inferior el factor que menor impacta el tiempo de ciclo.

1. Loaded Haul: el viaje cargado es la operación que mayor impacta el tiempo de ciclo y se debe principalmente a que el camión cargado disminuye su velocidad de viaje y varía según la disposición de las vías

y rampas que conducen al botadero. Por lo tanto, corresponde a la operación unitaria que más demanda tiempo en un ciclo de acarreo.

2. Empty haul: corresponde al segundo parámetro que más afecta el tiempo de ciclo y su variación depende principalmente de la distancia de recorrido que se le asigne al camión para ser cargado. En repetidas ocasiones para el empty haul y loaded haul el camión realiza el mismo recorrido sin embargo el tiempo empleado no es el mismo debido a la velocidad que puede alcanzar un camión vacío o cargado y a la disposición de las vías y rampas durante el recorrido.
3. Queue: el tiempo de espera representa el tercer parámetro que más afecta el tiempo de ciclo, el objetivo es obtener un tiempo de 2.25 minutos en esta operación, sin embargo, los resultados reflejan que los camiones en promedio obtuvieron tiempos mayores a dicho valor.
4. Loading: la variación de este factor es mínima y se debe principalmente a la capacidad del cucharón de las palas y al rendimiento que estas obtengan durante la operación de cargue. Por lo tanto, es una de las operaciones que afecta en menor proporción el ciclo de acarreo.
5. At Dump: esta operación presenta variaciones mínimas entre 0.9 y 1.8 minutos con una media de 1.4 min, por tal motivo su grado de afectación es bajo y se ubica en la parte baja de la pirámide.
6. Spot: el tiempo de acuatamiento corresponde al factor que menos influye en la afectación del tiempo de ciclo debido a que esta operación se mantuvo constante con un valor de 1 min durante el año 2017 en la mina El Descanso, en Pribbenow tuvo una pequeña variación de 0.1 min.  
La organización del área de cargue y la experiencia del operador son causas de la pequeña variación que presenta esta operación.

Los ciclos que se afectaron de acuerdo al orden de influencia de los parámetros mencionado anteriormente se correlacionan directamente, teniendo en cuenta que la mayoría de los ciclos asociados a las distintas palas presentaron similar relación.

### 4.3. FACTOR DE PRODUCCIÓN.

El factor de producción de los camiones “**Truck Factor**” se define como el volumen o cantidad de material estéril que puede desplazar un equipo durante un periodo de tiempo determinado, teniendo en cuenta los factores técnico – operacionales que influyen en el proceso de acarreo.

La productividad de los camiones depende de diferentes factores que varían de acuerdo al dinámico cambio de la operación minera, a continuación, se mencionan los siguientes factores más relevantes:

- Capacidad de la tolva
- Características del material (tamaño, densidad, esponjamiento)
- Disponibilidad: mecánica y operativa
- Distancia de recorrido y condiciones de las vías
- Tiempo de ciclo
- Número de viajes realizados

De acuerdo a datos históricos se ha establecido que el tiempo de ciclo es el factor que más afecta la producción de los equipos en el acarreo de material estéril.

**4.3.1 Cálculo de Truck factor.** El cálculo del Factor de producción de los camiones se determina con base en el número de equipos asignados a las palas, el total de cargas realizadas, tiempo de ciclo y capacidad de los equipos.

El cálculo se realiza mensualmente durante el año 2017, obteniendo así un factor de producción promedio anual por unidad de acarreo en operación.

El *truck factor* se expresa en unidades de volumen **BCM's**, por sus siglas en inglés (*Bank Cubic Meter*) que significa Metros cúbicos en Banco.

En las tablas 17 y 18 se observa los resultados obtenidos correspondientes al *truck factor* anual de los equipos en las minas Pribbenow y El Descanso.

**Tabla 17. Calculo del Truck Factor anual en la mina Pribbenow.**

TRUCK FACTOR ANNUALIZED MP											
SHOVELS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	YTD TKR FACTOR	AVG CYCLE
# OF DAYS	29.5	28	31	30	30	30	31	31	30	362	
6188	984,186	974,565	686,850	743,877	967,240	453,349	95,454	542,407	570,355	645,362	28.6
6231	1,314,261	1,341,717	1,051,366	1,131,684	1,094,315	1,061,597	891,472	983,787	768,453	1,063,019	26.3
6233	947,951	1,066,118	1,058,450	1,253,567	1,224,653	936,185	920,872	792,852	865,781	992,984	26.1
6234	1,091,856	1,009,349	1,042,689	1,157,279	1,045,661	949,534	1,624,925	1,570,933	1,059,350	1,142,239	26.0
6235	937,832	1,298,795	1,111,433	1,107,362	945,141	1,061,919	1,277,393	922,876	964,437	1,063,252	26.9
6237	1,174,979	1,499,764	1,342,682	1,348,700	909,945	479,233	990,453	837,112	867,112	994,716	28.1
6245	1,157,078	1,162,807	1,217,208	1,057,555	782,664	686,381	722,102	1,083,670	1,426,727	984,486	28.1
6246	1,246,662	1,184,273	1,183,624	1,204,392	834,426	718,345	696,865	923,915	845,724	961,248	29.7
6261	711,002	767,270	730,931	844,215	504,357	383,515	505,263	607,670	406,459	596,511	31.3
6262	831,911	930,935	1,236,595	828,507	889,756	315,673	466,807	774,103	759,600	749,004	28.1
<b>Avg Total Tkr Factor</b>	<b>1,062,005</b>	<b>1,145,085</b>	<b>1,071,344</b>	<b>1,084,140</b>	<b>928,959</b>	<b>716,973</b>	<b>813,672</b>	<b>905,793</b>	<b>855,134</b>	<b>946,249</b>	<b>27.9</b>

Fuente. Autor del proyecto

Los resultados obtenidos representan el valor promedio del *Truck factor* alcanzado por unidad de transporte en el proceso de acarreo de material estéril en la mina Pribbenow, a su vez, corresponden a la cantidad de material que debe mover cada unidad durante un año respecto a las condiciones técnico - operativas dadas cada mes.

En la tabla se muestra el valor del *truck factor* para cada uno de los equipos de acarreo en operación de acuerdo a la pala a la cual fueron asignados y el promedio total desde el mes de febrero hasta septiembre durante el año 2017.

- La fila roja  representa el *Truck factor* total de cada mes durante el 2017.
- La columna azul  representa el *Truck factor* obtenido por camión de acuerdo a la pala a la que fueron asignados durante el 2017.

De igual forma a la tabla 17, se registraron y organizaron los resultados obtenidos en el cálculo del truck factor en la mina el descanso, (ver tabla 18).

**Tabla 18. Calculo del Truck Factor anual en la mina El Descanso**

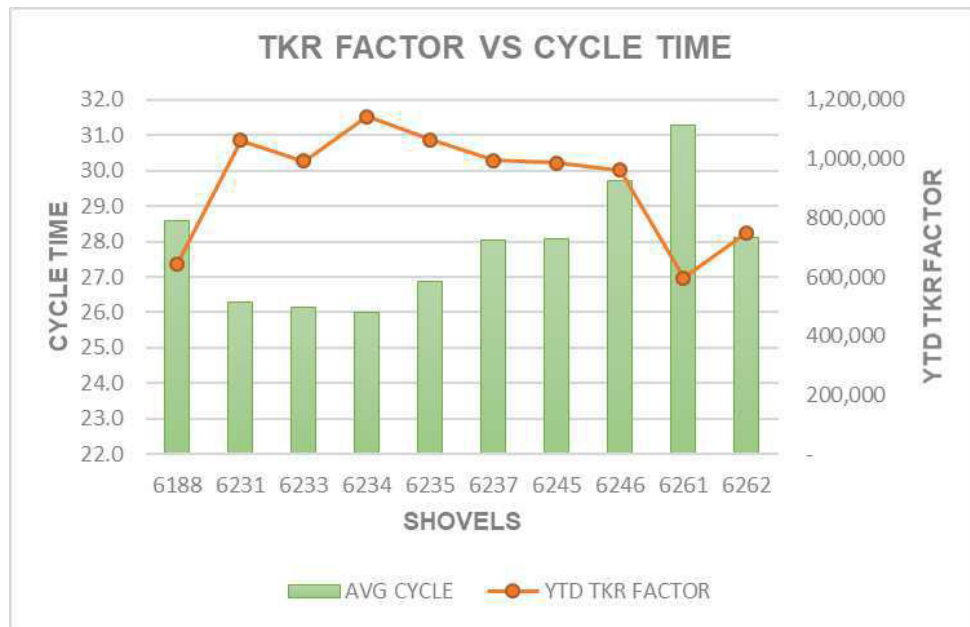
TRUCK FACTOR ANNUALIZED ED											
SHOVELS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	YTD TKR FACTOR	AVG CYCLE
# OF DAYS	29.5	28	31	30	30	30	31	31	30	362	
6197	861,862	550,556	644,684	181,130	590,544	564,000	588,452	635,034	419,539	565,270	31.1
6232	748,093	871,810	674,687	842,011	1,144,540	731,151	620,507	490,063	538,395	713,669	29.8
6236	694,434	669,734	574,715	719,222	810,493	776,270	685,389	768,476	581,323	692,595	32.3
6238	945,366	812,282	757,943	733,300	670,497	610,034	627,225	632,759	494,984	692,725	36.1
6239	643,597	1,132,790	991,071	914,220	814,107	897,792	720,427	805,047	823,663	844,306	29.9
6241	635,505	794,635	790,330	879,680	726,966	558,689	657,088	702,824	563,876	699,824	32.6
6242	836,686	1,126,146	991,042	876,939	628,748	841,041	706,088	751,843	787,627	832,251	31.0
6243	951,656	731,066	685,938	615,913	651,441	685,317	725,167	640,197	622,198	700,059	35.9
6244	909,126	928,277	556,754	722,175	666,232	660,155	629,591	720,764	639,366	704,170	36.0
6247	1,201,399	1,434,670	824,508	1,174,208	901,490	823,375	807,680	793,816	651,328	935,347	28.5
6248	70,305	963,000	1,069,428	1,019,120	879,111	897,638	602,161	789,304	880,696	807,036	29.9
6249	-	-	98,571	824,214	785,784	775,831	751,927	615,733	643,034	656,691	32.7
6260	335,554	617,929	451,958	708,639	492,216	629,333	471,671	507,672	323,082	479,677	37.6
6263	489,950	741,026	587,556	524,932	635,349	511,477	466,980	347,226	292,890	501,345	38.7
<b>Avg Total Tkr Factor</b>	<b>747,226</b>	<b>876,714</b>	<b>693,860</b>	<b>777,969</b>	<b>732,150</b>	<b>711,506</b>	<b>657,524</b>	<b>674,529</b>	<b>604,630</b>	<b>715,372</b>	<b>33.0</b>

Fuente. Autor del proyecto.

**4.3.2. Análisis de resultados Truck Factor.** El análisis del truck factor se realiza respecto al tiempo de ciclo, ya que este factor presenta un amplio rango de variación en el proceso de acarreo de material estéril y, a su vez, afecta notoriamente la producción de los camiones.

El análisis se desarrolla teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el cálculo del truck factor y los tiempos de ciclo registrados durante el año 2017, como se observa en la siguiente gráfica.

**Grafica 7. Resultados Truck Factor Vs Cycle Time, MP.**

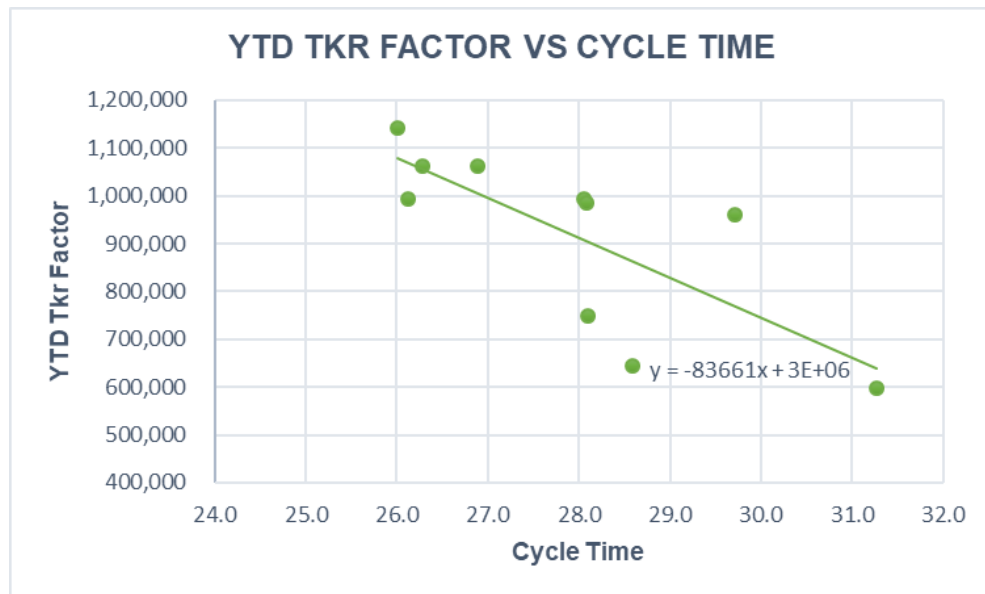


Fuente. Autor del Proyecto.

En la gráfica 7 se relacionan los valores correspondientes al truck factor anualizado y el tiempo de ciclo promedio obtenido por los equipos de acarreo de acuerdo a la pala que fueron asignados en el año 2017, donde se aprecia que los camiones asignados a las palas 6231, 6234, y 6235 alcanzaron un truck factor más elevado en relación a los demás, siendo el mayor igual a 1'142,239 Bcm's transportados por los equipos asignados a la pala 6235, del mismo modo obtuvieron tiempos de ciclo menores. Por el contrario, el menor fue de 596,511 Bcm's y corresponde a los equipos asignados a la pala 6261 que a su vez registraron el mayor tiempo de ciclo, mientras que los equipos asignados a las palas 6237 y 6245 obtuvieron resultados similares en el truck factor con igual tiempo de ciclo.

Con base en la información de la gráfica anterior se realiza una comparación directa entre las dos variables por medio de una gráfica de dispersión, como se observa a continuación.8

**Grafica 8. Relación Truck Factor Vs Cycle Time, MP.**



Fuente. Autor del Proyecto.

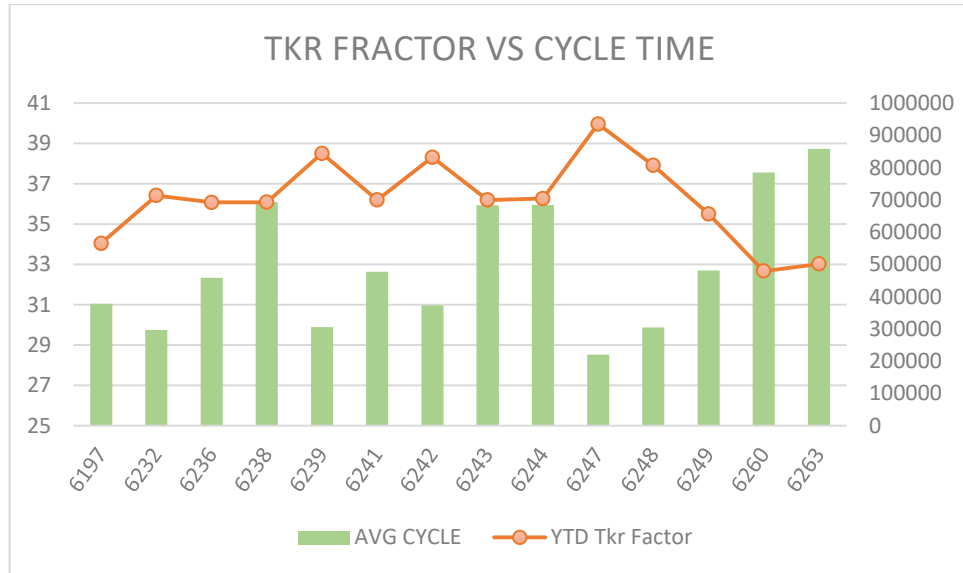
La grafica 8 representa relación directa existente entre el truck factor y el tiempo de ciclo, donde el eje horizontal corresponde a la variable independiente (tiempo de ciclo) y el eje vertical corresponde a la variable dependiente (Truck Factor).

Según se observa la relación es de tipo lineal con comportamiento decreciente, es decir, con pendiente negativa lo cual significa que el truck factor es inversamente proporcional al tiempo de ciclo, por lo tanto, a menor tiempo de ciclo mayor truck factor, mientras que a mayor tiempo de ciclo el truck factor será menor.

Siendo así, mientras aumenta el tiempo de ciclo, el número de camiones requeridos para el acarreo del material estéril será mayor lo cual incurriría un mayor costo a la operación minera, debido a que se debe dar prioridad al continuo avance de las palas minimizando al máximo el tiempo perdido por falta de camiones, por lo cual se deben mantener tiempos de ciclo bajos que garanticen una alta productividad de los equipos con el fin de poder alcanzar los objetivos propuestos en el plan de minería.



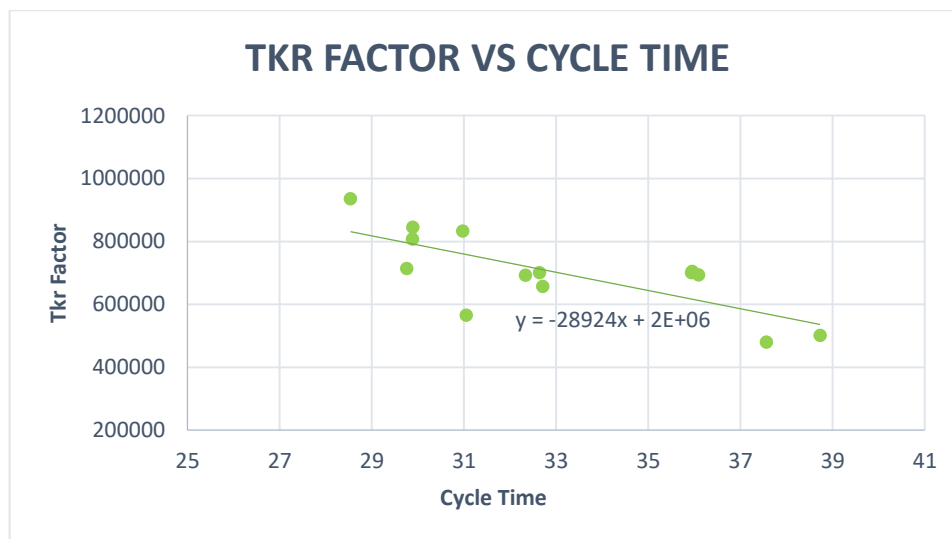
**Grafica 9. Resultados Truck Factor Vs Cycle Time, ED.**



Fuente. Autor del Proyecto.

Con base en los resultados obtenidos en la mina el descanso, se aprecia que los camiones asignados a las palas 6239, 6242, 6248 y 6247 alcanzaron un truck factor más elevado en relación a los demás con un promedio aproximado de 854,735 Bcm's, siendo el mayor igual a 935,347 Bcm's transportados por los equipos asignados a la pala 6247, del mismo modo obtuvieron tiempos de ciclo menores. Por el contrario, el menor fue de 479,677 Bcm's y corresponde a los equipos asignados a la pala 6260, mientras que, los equipos asignados a las palas 6238, 6243 y 6244 obtuvieron resultados similares en el truck factor, aproximadamente 700,000 Bcm's con tiempo de ciclo promedio de 36 min.

**Grafica 10. Relación Truck Factor Vs Cycle Time, ED.**



Fuente. Autor del Proyecto.

La relación es de tipo lineal con comportamiento decreciente, es decir, con pendiente negativa, a mayor tiempo de ciclo menor será el truck factor.

Se observa que la mayoría de ciclos presentan tiempos entre 27 y 33 min, los cuales son más elevados a los tiempos de ciclos registrados en la mina pibbenow, por consiguiente, la producción obtenida por equipos de acarreo fue menor durante el año 2017.

## CONCLUSIONES

El análisis de sensibilidad permitió determinar la relación de influencia del tiempo de ciclo en el factor de producción de los camiones, donde los resultados arrojaron que la producción de los camiones es inversamente proporcional al tiempo de ciclo de acarreo.

Se logró identificar las operaciones unitarias que componen el tiempo de ciclo y establecer el grado de afectación que representa cada una de ellas de acuerdo a las diferentes variaciones que presentan.

Para la realización del análisis se consiguió recopilar información referente al truck factor y tiempo de ciclo durante el año 2017, la cual mediante herramientas estadísticas fue procesada, organizada y representada por medio de tablas y gráficas.

Durante el desarrollo de las prácticas empresariales, se logró conocer y describir las operaciones y equipos implementados en el proceso de acarreo de material estéril en las minas Pribbenow y el Descanso que pertenecen a la empresa Drummond Ltd.

El análisis y control de los datos obtenidos en los procesos de acarreo permite entender su comportamiento y establecer estrategias que contribuyan a la mejora continua, y a su vez permitan alcanzar las metas propuestas, aportando a la implementación y ejecución de buenas prácticas en el acarreo de material estéril.

En general la práctica empresarial permitió conocer y comprender los procesos y equipos implementados en la empresa Drummond para la extracción, transporte y comercialización del carbón, así como aprender y dominar herramientas del software Carlson utilizado en el área departamento de ingeniería para realizar el planeamiento minero a corto plazo.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda dar continuidad al monitoreo, control y análisis de los tiempos de ciclo de los camiones en el acarreo de material estéril, enfatizando en los parámetros que generan mayor afectación al proceso de acarreo e implementar medidas que permitan la mejora continua en cada uno de los factores que lo componen, garantizando así una alta productividad de los equipos de acarreo.

Se sugiere la utilización de los resultados obtenidos para la realización del planeamiento minero a corto plazo en el departamento de ingeniería.

Se recomienda la buena disposición de los caminos de acarreo, así como su adecuado mantenimiento que garantice la continua movilidad de los equipos y permita optimizar los tiempos de ciclo obtenidos.

Se recomienda la socialización de este proyecto a toda la comunidad upetecista interesada en obtener información acerca del proceso de acarreo de material estéril en minería a cielo abierto y como mediante un análisis de sensibilidad se pueden identificar factores operacionales que lo afectan, permitiendo establecer medidas que contribuyan a la mejora continua y a la realización de buenas prácticas en dicho proceso.

## BIBLIOGRAFÍA E INFOGRAFIA

- DRUMMOND LTD. Documento “Plan de minería para la prórroga del contrato 078/88 la loma”. Departamento de Ingeniera, 2017.
- Drummond Ltd. Departamento de despacho (Dispatch). Bases de datos de tiempos de ciclo del año 2017, (Documentos internos).
- INSTITUTO TECNOLIGICO GEOMINERO DE ESPAÑA “Manual de arranque, cargue y transporte en minería a cielo abierto”, IGME, 1995. 604p.
- RAFAEL, Martinez. “ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE LAS PALAS HITACHI EX 3600-6, KOMATSU PC8000-6, Y BUCYRUS 495 HR DE LA MINA PRIBBENOW DRUMMOND LTD.” UPTC, 2016.
- Manual de Caterpillar, “Camion CAT -793”, 2005. 32p.
- Manual de Caterpillar, “Basic Haul Road Design and maintenance.” USA, 2004. 98p.
- ESCAMILLA, Miguel; MEZA, Jorge; LLAMAS, Ricardo. “Estudio de productividad del equipo de carga en una mina de mineral de fierro a cielo abierto.” *Conciencia Tecnológica No. 42, Julio-diciembre 2011.*
- ALZATE, Natalia, “Metodología para el análisis de sensibilidad de los localizadores de fallas ante los parámetros de modelado del sistema de potencia”. Universidad Tecnológica de Pereira, 2016.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas colombianas para lapresentación de trabajos de investigación. Sexta actualización. Santafé de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008. 126 p. NTC 1307.
- WIKIPEDIA. “Definiciones” Internet:< <https://es.wikipedia.org> >.