

**MAXIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LAS LLANTAS DE LOS CAMIONES  
240T Y 320T MEDIANTE EL ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LAS  
CONDICIONES DE LAS VÍAS EN CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED**

**DIEGO ARMANDO SILVA NIÑO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA  
2015**

**MAXIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LAS LLANTAS DE LOS CAMIONES  
240T Y 320T MEDIANTE EL ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LAS  
CONDICIONES DE LAS VÍAS EN CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED**

**DIEGO ARMANDO SILVA NIÑO**

**Trabajo de grado para optar al título de:  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**Director:**

**OLMEDO GONZÁLEZ HERRERA**

**Ingeniero Industrial**

**Especialista en Gerencia de la Producción y Mejoramiento Continúo**

**Magíster en Estadística**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA**

**2015**

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	16
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO .....	18
1.1 OBJETIVOS.....	18
1.1.1 Objetivo General .....	18
1.1.2 Objetivos Específicos .....	18
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	19
1.3 ALCANCE .....	20
2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....	21
2.1 LOCALIZACIÓN .....	21
2.2 RAZÓN SOCIAL .....	22
2.3 MISIÓN .....	22
2.4 VISIÓN.....	22
2.5 RESEÑA HISTÓRICA.....	22
2.6 ORGANIGRAMA .....	26
2.7 MAPA DE PROCESOS .....	26
2.8 EQUIPOS MINEROS.....	26
3. MARCO TEÓRICO .....	27
3.1 PROCESO DE MINERÍA EN CERREJÓN .....	27
3.2 PROCESO DE ACARREO DE ESTÉRIL .....	28
3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS VÍAS EN CERREJÓN .....	30

3.4	MEJORAMIENTO DE PROCESOS.....	31
3.5	ANÁLISIS DE PARETO .....	32
3.6	ANÁLISIS CAUSA-EFECTO.....	33
3.7	ANÁLISIS DE VARIANZA.....	35
3.8	INDICADORES DE GESTIÓN.....	38
4.	METODOLOGÍA.....	41
4.1	CONOCIMIENTO Y DIAGNÓSTICO .....	41
4.2	ANÁLISIS.....	41
4.3	PREPARACIÓN.....	42
4.4	DESARROLLO Y PRUEBA .....	42
4.5	EVALUACIÓN Y CONTROL.....	43
5.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	44
5.1	DAÑOS EN LAS LLANTAS .....	44
5.1.1	Corte en la banda (superficial y pasante).....	44
5.1.2	Separación por corte .....	45
5.1.3	Desgarre de la banda de rodamiento por corte.....	45
5.1.4	Desgaste total .....	46
5.1.5	Corte en el costado (superficial y pasante) .....	46
5.1.6	Corte en el hombro.....	47
5.1.7	Impacto .....	47
5.1.8	Estallido.....	47
5.1.9	Separación por calor .....	48
5.1.10	Abultamiento del talón área de contacto flanche/burbujas.....	49
5.1.11	Separación del chafer .....	49

5.1.12	Daño por objeto metálico .....	50
5.1.13	Roce en el costado .....	50
5.1.14	Desgaste irregular.....	50
5.1.15	Rotura del retorno .....	51
5.2	OBSERVACIÓN DE VÍAS DE ACARREO DE ESTÉRIL.....	51
5.2.1	Vías de área de palas .....	52
5.2.2	Vías de botadero.....	53
5.2.3	Corredores y rampas de acarreo.....	53
5.2.4	Análisis de las observaciones .....	54
5.3	ANÁLISIS DE PARETO DE LOS DAÑOS EN LAS LLANTAS DE LOS CAMIONES DE ACARREO DE ESTÉRIL.....	59
5.4	ANÁLISIS CAUSA EFECTO.....	60
5.4.1	Separación por corte (SPCO) .....	61
5.4.2	Corte en banda de rodamiento (CBRO).....	63
5.4.3	Estallada (ESTC).....	65
5.5	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	67
6.	ANÁLISIS.....	69
6.1	ANÁLISIS DE VARIANZA DE TIPO DE LLANTAS.....	69
6.2	ANÁLISIS DE VARIANZA DE TIPOS DE LLANTAS VS TIPOS DE DAÑOS REPRESENTATIVOS.....	71
6.3	ANÁLISIS DE VARIANZA DE TIPOS DE DAÑOS VS TIPOS DE LLANTAS .....	72
6.4	ANÁLISIS DE VARIANZA DE TIPOS DE DAÑOS VS TAJOS .....	74
6.5	ANÁLISIS DE VARIANZA DE TIPOS DE DAÑOS VS POSICIÓN DE LAS LLANTAS .....	76

7.	INVESTIGACIÓN Y PREPARACIÓN .....	79
7.1	HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS DE LA ORGANIZACIÓN .....	79
7.1.1	Tableros Dinámicos de Producción.....	79
7.1.2	Sistema Dispatch®.....	79
7.1.3	MineCare.....	79
7.1.4	SAP Business Objects .....	79
7.2	SOLUCIONES TECNOLÓGICAS DE ESTADO DE VÍAS EN EL SECTOR MINERO .....	80
7.2.1	Control de análisis de los caminos .....	80
7.2.2	Módulo Rack-Vims para Camiones CAT .....	82
8.	ESTRATEGIA DE ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE VÍAS .....	83
8.1	PLANTEAMIENTO DE LA ESTRATEGIA.....	86
8.2	PRUEBA DE LA ESTRATEGIA .....	91
9.	EVALUACIÓN Y CONTROL.....	98
9.1	INDICADORES DE GESTIÓN DE CONDICIÓN DE VÍAS .....	98
9.1.1	Indicadores para camiones Caterpillar 240 Toneladas .....	98
9.1.2	Indicadores para camiones Euclid Hitachi 320 Toneladas .....	99
9.1.3	Índice de vías .....	102
9.2	REPORTE DETALLADO DE LLANTAS DESECHADAS.....	102
10.	CONCLUSIONES .....	106
11.	RECOMENDACIONES .....	108
	BIBLIOGRAFÍA.....	109

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Mapa mina Carbones del Cerrejón Limited.....	21
Figura 2. Mapa de procesos de Carbones del Cerrejón Limited .....	26
Figura 3. Fotografía de material estéril y carbón.....	28
Figura 4. Esquematación global del proceso de acarreo de estéril .....	29
Figura 5. Corte en la banda .....	44
Figura 6. Separación por corte.....	45
Figura 7. Desgarre de la banda de rodamiento por corte .....	45
Figura 8. Desgaste total.....	46
Figura 9. Corte en el costado.....	46
Figura 10. Corte en el hombro .....	47
Figura 11. Impacto .....	47
Figura 12. Estallido .....	48
Figura 13. Separación por calor.....	48
Figura 14. Abultamiento del talón área de contacto flanche / burbujas.....	49
Figura 15. Separación del chafer .....	49
Figura 16. Daño por objeto metálico .....	50
Figura 17. Roce en el costado .....	50
Figura 18. Desgaste irregular.....	51
Figura 19. Rotura del retorno .....	51
Figura 20. Área de palas.....	52
Figura 21. Botaderos .....	53
Figura 22. Corredores y rampas .....	54
Figura 23. Condición de vías tajo Tabaco Enero – Octubre .....	55
Figura 24. Condición de vías tajo La Puente Enero – Octubre .....	56
Figura 25. Condición de vías tajo Patilla Enero – Octubre.....	56

Figura 26. Condición de vías tajos Sur Enero – Octubre .....	57
Figura 27. Rocas en el área de cargue y Camión sobre el talud .....	58
Figura 28. Baches en acceso a área de pala y Baches en acceso a botadero .....	58
Figura 29. Baches en rampas y corredores .....	58
Figura 30. Diagrama Pareto de los daños en las llantas de los camiones de acarreo de estéril .....	60
Figura 31. Diagrama causa-efecto para Separación por corte .....	61
Figura 32. Diagrama causa-efecto para Corte en banda de rodamiento .....	64
Figura 33. Diagrama causa-efecto para Estallada .....	66
Figura 34. ANOVA Tipo de llantas .....	69
Figura 35. ANOVA Tipos de llantas Vs Tipos de daños representativos .....	71
Figura 36. ANOVA de Tipos de daños Vs Tipos de llantas.....	72
Figura 37. ANOVA de Tipos de daños Vs Tajos .....	74
Figura 38. Posición de las llantas de un camión minero en Cerrejón .....	76
Figura 39. ANOVA de Tipos de daños Vs Posición de las llantas .....	77
Figura 40. Posición de las suspensiones en camiones mineros .....	84
Figura 41. Mapa Vías de la Mina en MapSource .....	88
Figura 42. Crear nuevo Waypoint en MapSource .....	88
Figura 43. Asignar nombre y símbolo al Waypoint en MapSource .....	89
Figura 44. Digitar coordenada GPS de cada evento Rack en MapSource .....	89
Figura 45. Posición de un evento Rack en el mapa de la mina en MapSource .....	90
Figura 46. Aplicar zoom a la zona en que se está graficando en MapSource .....	91
Figura 47. Tabla de datos extraída del módulo Tendencias de MineCare para la prueba piloto .....	92
Figura 48. Tabla dinámica resultante de la tabla de datos entregada por los analistas de MineCare .....	93
Figura 49. Cálculo del valor Rack para la prueba piloto.....	93
Figura 50. Crear una regla con formato condicional .....	94
Figura 51. Crear reglas con valores de los indicadores y asignarles el color .....	94

Figura 52. Extracción y ordenamiento de posición GPS y valores Rack para graficar .....	95
Figura 53. Baches u ondulaciones identificados en el mapa de la mina .....	96
Figura 54. Acercamiento al mapa en MapSource .....	96
Figura 55. Verificación en campo de los eventos Rack identificados y graficados en MapSource.....	97
Figura 56. Gráfico de rangos Rack para camiones 320T.....	101
Figura 57. Query a base de datos MTO_Sigcor_Reconstrucción .....	103
Figura 58. Query a base de datos DWH_MOVIMIENTOS_PRODUCION .....	104
Figura 59. Información resultante de las Querys en BO .....	105

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Peso asignado a ítems de vías de área de palas .....	52
Tabla 2. Peso asignado a ítems de vías de botadero .....	53
Tabla 3. Peso asignado a ítems de vías de acarreo .....	54
Tabla 4. Daños en las llantas de la flota de acarreo de estéril de enero a octubre	59
Tabla 5. Test de Tukey de ANOVA de Tipo de llantas.....	70
Tabla 6. Test de Tukey de ANOVA de Tipo de daños Vs Tipo de llantas .....	73
Tabla 7. Test de Tukey de ANOVA de Tipos de daño Vs Tajos .....	75
Tabla 8. Test de Tukey de ANOVA de Tipo de daño Vs Posición de la llanta .....	77
Tabla 9. Cuadro comparativo de soluciones tecnológicas para el análisis de vías de acarreo en minería .....	85
Tabla 10. Resultados de la prueba en camión 762.....	99
Tabla 11. Resultados de la prueba en camión 797 .....	100
Tabla 12. Resultados de la prueba en camión 817 .....	100
Tabla 13. Resultados de la prueba en camión 822.....	101

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A. Organigrama de Carbones Del Cerrejón Limited

Anexo B. Equipos mineros relacionados con el proceso de acarreo de estéril

Anexo C. Tabla de datos de ANOVA de tipo de llantas

Anexo D. Tabla de datos de ANOVA de tipos de llantas vs tipos de daños representativos

Anexo E. Tabla de datos de ANOVA de tipos de daños vs tipos de llantas

Anexo F. Tabla de datos de ANOVA de tipos de daños vs tajos

Anexo G. Tabla de datos de ANOVA de tipos de daños vs posición de las llantas

Anexo H. Reporte mensual detallado de llantas desechadas

## RESUMEN

**TÍTULO:** MAXIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LAS LLANTAS DE LOS CAMIONES 240T Y 320T MEDIANTE EL ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE LAS VÍAS EN CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED\*

**AUTOR:** DIEGO ARMANDO SILVA NIÑO\*\*

**PALABRAS CLAVE:** CONDICIÓN DE VÍAS, MONITOREO DE VÍAS, RENDIMIENTO DE LLANTAS, CAMIONES MINEROS DE ACARREO, TELEMETRÍA, VÍAS DE ACARREO.

### DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto contiene el planteamiento y prueba piloto de una estrategia para realizar el monitoreo de las vías de acarreo de la mina de Carbones del Cerrejón Limited mediante la utilización de unas herramientas informáticas con las que ya contaba la compañía para realizar otras tareas. El desarrollo de esta estrategia de monitoreo busca minimizar el impacto de las imperfecciones de las vías en el rendimiento de las llantas de los camiones de acarreo de estéril.

Debido a que la compañía decidió implementar una política de reducción de costos para poder mantenerse viva en el mercado internacional del carbón y que las llantas de los camiones de acarreo tienen un costo considerable que cada vez se ha ido incrementado por el bajo rendimiento de estas causado por diversos tipos de daños asociados a la condición de las vías, se decide realizar un diagnóstico para identificar los tipos de daños vitales y estudiar sus causas para direccionar la estrategia a la mitigación de estas.

Como resultado del diagnóstico el proyecto se enfocó en la identificación de baches y ondulaciones por medio de telemetría, imperfecciones que al ser ubicadas en un mapa de la mina servirán como herramienta a los supervisores de vías para programar el mantenimiento de una manera más eficiente, optimizando los recursos y disminuyendo a su vez el tiempo y costo de mantenimiento de las llantas de los camiones.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.  
Director : Olmedo González Herrera

## SUMMARY

**TITLE:** HOW TO MAXIMIZE THE EFFICIENCY OF TIRES FOR 240T AND 320T TRUCKS THROUGH THE ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF THE ROADS AT CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED\*

**AUTHOR:** DIEGO ARMANDO SILVA NIÑO\*\*

**KEY WORDS:** ROAD CONDITIONS, ROAD MONITORING, EFFICIENCY OF TIRES, MINE TRUCKS (HEAVY LOADS), TELEMETRIA, AND ROADS FOR HEAVY LOADS.

### DESCRIPTION:

The following project, contains the plan and trial of a strategy to monitor the roads that come from the mine Carbones del Cerrejon Limited through the utilization of information tools that the Company had already adquired to do other projects previously. The development of this monitoring strategy looks to minimize the impact that damaged roads can cause on the efficiency of heavy load truck's tires.

The Company has decided to implement a stratey to lower costs to keep the door open in the international market of coal. Since the tires of heavy load trucks have a considerable cost that has been increased because of the low durability due to different types of damages asociated to the condition of the roads, it has been decided to realize a diagnosis to identify the types of vital damages and study the causes to point the strategy in the right direction to minimize these.

As a result of the study, the Project was focused on the identification of bumps and holes by telemetría. These imperfections will be able to be found in a map of the mine which will then work as a tool for supervisors of the roads to program the maintenance more efficiently, optimizing the resources and at the same time, decreasing time and cost of maintenance of truck tires.

---

\* Work Degree

\*\* Faculty of Mechanical Engineering-Physical; School of Industrial and Business Studies. Director : Olmedo González Herrera

## INTRODUCCIÓN

En Cerrejón el deterioro en las llantas de equipos pesados que se encuentran entre los de mayor tamaño y capacidad en el mundo como son los camiones 320T y 240T, tienen especial importancia para la organización debido a que estas presentan constantes daños, por tanto pueden llegar a producir fallas y accidentes que afectarían la productividad del proceso de acarreo en la mina ocasionando importantes pérdidas económicas.

El daño de estas llantas puede ocurrir por diversos motivos tales como: fallas en su fabricación, altas presiones de las llantas debido a sobrecarga del equipo o mal distribución de la carga en la tolva, el tipo de llanta no es el adecuado, el tiempo de vida útil llega a su fin, las condiciones de las vías por donde se desplazan los equipos no son adecuadas, entre otros.

De los motivos mencionados, uno de los factores más importantes de daño lo constituye las condiciones de las vías de acarreo, debido a que en estas existe un frecuente tráfico de equipos pesados al transportar material estéril y carbón, las cuales pueden presentar pérdida de bombeo, peraltes invertidos, ondulaciones y/o baches, por tanto los camiones pueden sufrir sobre-presiones y deformaciones en sus llantas. Igualmente el tráfico de estos equipos aumenta la presencia de rocas en la vía que caen cuando los camiones suben rampas, atraviesan baches y/o ondulaciones, que al ser pisadas provocan cortes y debilitamiento de la estructura de las llantas.

Las llantas en los vehículos son muy importantes debido a que son cruciales en el frenado seguro del vehículo, cargan el peso total de este, absorben los impactos del camino y constituyen el paso final en la conversión de la energía del

combustible en movimiento, por tanto analizar las causas y lograr un aumento de la vida útil de estas resulta importante para la organización.

Una estrategia de mejoramiento para reducir los daños a las llantas y prolongar su vida útil podría ser invertir recursos que impacten en el desarrollo y la mejora del mantenimiento a las vías por donde transitan los equipos de acarreo, a través de la utilización de herramientas o aplicaciones que permitan detectar de manera confiable y rápida información acerca de la ubicación de los lugares específicos que necesitan mantenimiento, para poder así realizar las mejoras respectivas.

# 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo General

Maximizar el rendimiento de las llantas de los camiones de acarreo de estéril mediante una estrategia de análisis y mejoramiento de las condiciones de las vías de acarreo en la mina.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar y describir los diferentes tipos de daños que sufren las llantas de los camiones de acarreo debido a las condiciones de las vías.
- Observar en campo las condiciones de las vías de acarreo para determinar puntos críticos que afectan el rendimiento de las llantas.
- Cuantificar los tipos de daños que sufren las llantas por la condición de las vías y a través del análisis de Pareto definir la importancia de cada uno de ellos.
- Realizar análisis Causa-Efecto a los tipos de daños identificados como pocos vitales resultantes del análisis de Pareto.
- Realizar el Análisis de Varianza, de los daños que presentan las llantas asociados a la condición de las vías.
- Indagar qué herramientas informáticas con las que actualmente cuenta la empresa manejan información relacionada con la flota de acarreo de estéril y cuál es su relación con el estado de las vías y las llantas.
- Diseñar y probar mediante herramientas informáticas existentes en la compañía una estrategia que permita identificar la condición de las vías en que se movilizan los camiones y que maximizan el riesgo de daño a las llantas,

obteniendo de esta manera la optimización y el enfoque de los recursos que se invierten al mantenimiento de las vías de acarreo en la mina.

- Definir indicadores que permitan realizar control y seguimiento del estado de las vías para programar su respectivo mantenimiento.
- Estructurar un reporte que permita determinar por tajo los tipos de daño de mayor impacto para las llantas asociados a la condición de las vías.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Hoy en día el sector minero del carbón térmico a nivel mundial enfrenta una situación de baja de precios por la aparición de energías alternas que contaminan menos y resultan siendo más económicas, esto sumado a la baja demanda y alta oferta resultante ha traído como consecuencia el cierre de muchas empresas dedicadas a esta actividad minera, pues sus costos se igualan o superan el precio de venta disminuyendo las utilidades.

Carbones del Cerrejón Limited entendiendo la dinámica cambiante del entorno y viendo como los altos costos de operación han causado el cierre de muchos de sus competidores, ha decidido desarrollar una política de reducción de costos en toda la compañía lo cual le permitirá seguir vivo en el mercado en la medida en que estos sean cada vez menores que el precio de venta del carbón, para ello no ha escatimado ni el más mínimo esfuerzo en aplicar medidas en todas las áreas de la compañía.

Ante esta situación la compañía busca ser más competitiva teniendo procesos eficientes, que permitan aprovechar de la mejor manera los recursos y no hacer un desperdicio de estos pues se incurriría en mayores costos. Es por ello que una iniciativa en realizar una estrategia que permita detectar anomalías en el estado de las vías para direccionar los recursos al arreglo y mantenimiento de estas

óptimamente es tomada como necesidad de prioridad. Mediante el desarrollo de esta estrategia se busca alargar la vida útil de las llantas de los equipos mineros de acarreo las cuales tienen un costo que oscila aproximadamente entre los 30.000 y 50.000 dólares cada una. Igualmente como consecuencia de unas vías en buen estado se tendría un aumento en las velocidades de los equipos reflejados en mayor productividad, disminución de enfermedades laborales asociadas a las vibraciones por presencia de baches en la vía, reducción de costos de mantenimiento de la estructura, componentes de los equipos, combustible, entre otros.

En busca del menor costo se ha planteado proponer una estrategia en la medida de lo posible con los recursos informáticos con los que actualmente cuenta la compañía y que están relacionados con las llantas y las vías, que le entreguen al analista y supervisor información del estado de cualquier vía de la mina por donde están transitando los camiones de acarreo en el momento oportuno para tomar decisiones acertadas.

### **1.3 ALCANCE**

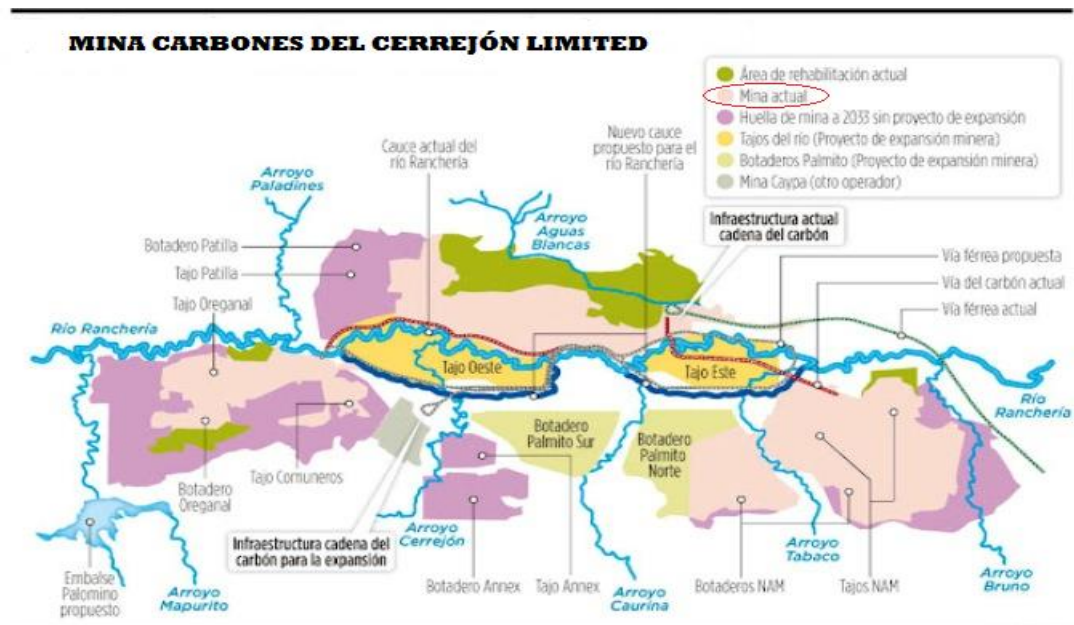
Planteamiento y prueba piloto de una estrategia que permita realizar el análisis de todas las vías de los tajos y botaderos de la mina por donde transitan los camiones de acarreo de estéril para identificar baches y ondulaciones, tanto de la zona centro sur como de la norte, mediante el uso adecuado de diferentes herramientas y aplicaciones informáticas existentes en la compañía Carbones del Cerrejón Limited. Información que será útil tanto para analistas como supervisores del departamento de producción para programar el mantenimiento de las vías.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

### 2.1 LOCALIZACIÓN

La mina de carbones del Cerrejón se encuentra en el departamento de La Guajira al norte de Colombia, es la mina de explotación a cielo abierto más grande del mundo con aproximadamente 68 mil hectáreas en tajos.

**Figura 1.** Mapa mina Carbones del Cerrejón Limited



Fuente: Servicios técnicos Cerrejón

En la figura 1 se observa la distribución actual de la mina que se encuentra dividida en dos zonas: zona centro sur y zona norte.

La zona centro sur está compuesta por los tajos patilla, comuneros, oreganal y tajo 100. Este último tajo generalmente asociado a oreganal pues son dos tajos pequeños que se encuentran juntos.

La zona norte comprendida por los tajos tabaco y la puente, más conocidos como nuevas áreas de minería, NAM por sus siglas en español.

Cada zona tiene sus respectivos botaderos que es el lugar donde se arroja el material estéril que es removido para encontrar el carbón.

## **2.2 RAZÓN SOCIAL**

CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED.

## **2.3 MISIÓN**

Producir y exportar carbón de manera eficiente, confiable y rentable, cumpliendo con los más altos estándares en seguridad, salud, medio ambiente y ética empresarial, contribuyendo al progreso de nuestra gente, las comunidades vecinas y La Guajira.

## **2.4 VISIÓN**

Ser el productor y exportador de carbón líder a nivel mundial y un aliado clave para el progreso y desarrollo sostenible de La Guajira.

## **2.5 RESEÑA HISTÓRICA**

Durante tres décadas de operación Cerrejón ha trabajado por hacer de la minería y el desarrollo sostenible, conceptos y realidades compatibles. Esta es su historia:<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Cerrejón. "Historia", [en línea]. Marzo 2006. [Diciembre 2014]. Disponible en: <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa/historia.aspx>

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

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

**1977.** Se realizan 202 estudios durante el período de exploración.

**1980.** Se obtienen los resultados de los estudios geológicos y de factibilidad y se firma la declaratoria de comercialidad de Cerrejón Zona Norte.

**1983.** El gobierno nacional otorgó en concesión a Carbocol unas zonas de playa y terrenos de bajamar en Bahía Portete y autorizó la construcción y operación de un puerto privado para la explotación y exportación del carbón y todos aquellos productos necesarios de infraestructura de los proyectos carboníferos.

Comienza la etapa de minería anticipada. La primera fase de Mushaisa, la unidad residencial de Cerrejón en La Mina, entra en funcionamiento ofreciendo servicio para 500 personas. En noviembre se le da el nombre de Puerto Bolívar al más importante puerto carbonífero de América Latina que contaría con un canal dragado de cuatro km. de longitud, 19 m de profundidad y 225 m de ancho, con capacidad inicial para recibir barcos de hasta 180.000 t. de peso muerto.

**1984.** Se realiza el primer viaje de 150 km. del tren minero de trocha ancha, transportando 8.500 t. de carbón desde La Mina hasta Puerto Bolívar.

**1985.** Se hace el primer embarque anticipado de carbón con 33.000 t, enviado en el buque Giovanni, con destino a Dinamarca.

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

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

**1988-1990.** La firma comercial Testing & Engineering certifica la calidad del carbón colombiano exportado.

**1991-1992.** Se ponen en marcha los programas de mejoramiento continuo y el de recuperación y protección de la cuenca alta y media del río Ranchería.

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

**1996-1997.** Se inician las operaciones en las nuevas áreas de minería.

**1998-1999.** Se firma el acuerdo que establece las bases para el acceso a la infraestructura férrea por parte de terceros y se extiende el contrato de asociación por 25 años más.

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

**2001.** El carbón ocupa el segundo renglón de exportación de Colombia.

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

**2006.** Glencore vende su participación a la empresa europea Xstrata plc, cuyas subsidiarias son actualmente propietarias de Cerrejón junto con subsidiarias de BHP Billiton y Anglo American.

Las oficinas principales de Cerrejón se trasladan de Barranquilla a Bogotá.

**2008.** Se constituye el Sistema de Fundaciones Cerrejón.

**2010.** Alcanzamos un acumulado de exportación de 444.9 millones de toneladas de carbón y nos ubicamos entre las 10 empresas más grandes del país.

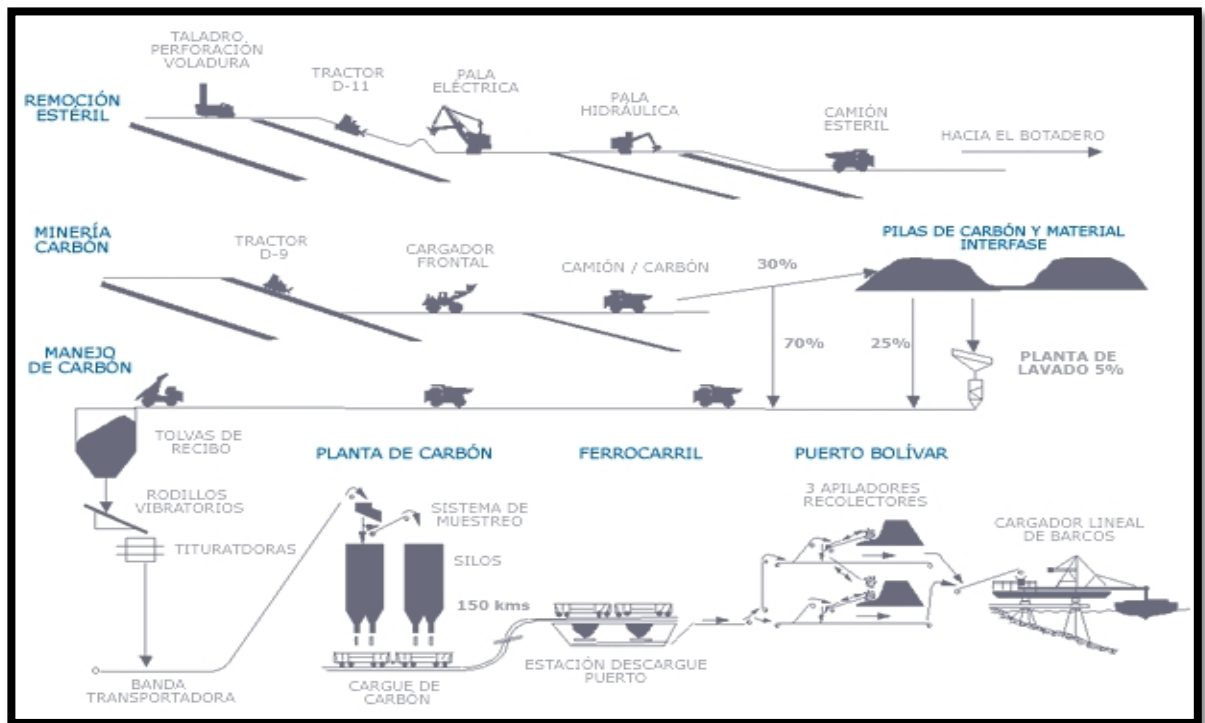
**2014.** Inauguración del segundo muelle de cargue de carbón en Puerto Bolívar, que cuenta con dos cargadores directos con capacidad de cargar 6.000 toneladas de carbón por hora cada uno. Se superó el acumulado de exportación de 600 millones de toneladas de carbón desde el inicio de operación en 1985.

## 2.6 ORGANIGRAMA

Ver Anexo A. Organigrama de Carbones del Cerrejón Limited

## 2.7 MAPA DE PROCESOS

Figura 2. Mapa de procesos de Carbones del Cerrejón Limited



Fuente: CERREJON LIMITED. Proceso del Carbón. Disponible en internet: <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa/calidad-del-producto.aspx> [Con acceso el 18 de diciembre de 2014]

## 2.8 EQUIPOS MINEROS

En el Anexo B se enlistan los equipos mineros relacionados con el proceso de acarreo de estéril en la mina de Carbones del Cerrejón Limited como: camiones 320 Toneladas, camiones 240 Toneladas, palas eléctricas e hidráulicas, motoniveladoras, tractores de orugas y de llantas.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 PROCESO DE MINERÍA EN CERREJÓN**

En Cerrejón, la minería a cielo abierto es una operación que se realiza en serie iniciando con la substracción de la vegetación y retiro cuidadoso de la capa vegetal que es almacenada para la futura recuperación de las tierras intercedidas usando para esta labor Moto-traíllas y tractores de oruga.

Posteriormente se lleva a cabo la perforación a través de taladros de perforación, se realiza voladura con explosivos que son transportados en camiones de emulsión permitiendo la fragmentación del material estéril. Entiéndase por material estéril al material que cubre a un mineral en este caso carbón y que debe ser removido hasta que exponga los mantos de este.

Para la remoción, cargue y transporte de material estéril se utilizan Palas eléctricas e hidráulicas que transportan el material a los camiones de acarreo de 320 y 240 Toneladas, equipos eléctricos activados por generador mecánico que llevan el material estéril hasta el botadero, adicionalmente se usan tractores de llantas y de oruga, motoniveladoras y tanqueros de agua para riegos de vía.

Para la Remoción, cargue y transporte de carbón se usan Cargadores frontales que depositan el carbón en camiones de acarreo de 190 Toneladas, adicionalmente se utilizan tractores de llantas y de oruga, motoniveladoras y tanqueros de agua para riego de vías. El carbón se transporta en camiones desde la mina hasta las pilas de almacenamiento y las trituradoras y en seguida se lleva a los dos silos que cargan el tren.

**Figura 3.** Fotografía de material estéril y carbón



El carbón llega a puerto bolívar, terminal carbonífera más importante de América Latina y uno de los de mayor tamaño en el mundo, para realizar la respectiva exportación.

Finalmente, se realiza un proceso de rehabilitación de tierras y especies en el sitio donde se obtuvo el carbón.

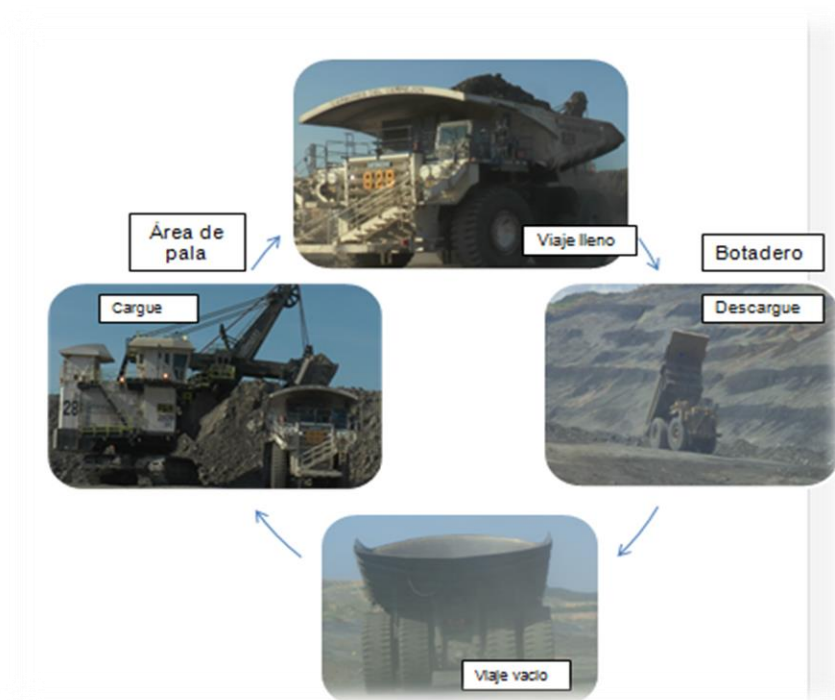
### **3.2 PROCESO DE ACARREO DE ESTÉRIL**

En Cerrejón se conoce como proceso de acarreo de estéril al ciclo Pala-Botadero-Pala, hecho por los camiones de 320 y 240 toneladas destinados para ello. El proceso se compone de cuatro operaciones principales que son: Cargue, viaje lleno, descargue y viaje vacío.

El procedimiento de acarreo de estéril inicia cuando los camiones se aproximan al área de la Pala y esperan parqueados (en cola) mientras esta se desocupa. Cuando tiene la orden por parte del operario de pala, el camión se “aculata” es decir el camión vacío se dispone para situarse debajo del cucharón del equipo de

cargue, una vez cargado, el operador de la pala le da la orden de salida al operario de camión, el cual se le asigna uno de los botaderos establecidos, debe llegar y descargar el material, terminando la operación y reiniciando el ciclo con una nueva asignación de pala para cargue. Todo el proceso esta monitoreado por analistas de producción que pertenecen a la superintendencia del CTD (Computer Truck Dispatch). Estos analistas cuentan con la tecnología necesaria para controlar el proceso desde un computador y son los encargados de manejar varias herramientas de información de la compañía.

**Figura 4.** Esquematización global del proceso de acarreo de estéril



### 3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS VÍAS EN CERREJÓN

Teniendo presente que las condiciones de la mina son variables, se clasifican las vías en cerrejón de acuerdo con el servicio que prestan y su vida útil, de la siguiente manera:<sup>2</sup>

**Según el servicio que prestan se clasifican en:**

- ✓ **VÍAS DE ACARREO DE ESTÉRIL:** son aquellas por las cuales circulan equipos pesados, tales como camiones de 190, 240 y 320 toneladas, tanqueros, tractores, motoniveladoras, entre otros .Esta clase de vías comprende el ciclo desde las palas hasta los botaderos teniendo diferentes tipos de vías así:
  - **Vías de áreas de palas:** son aquellas que van desde el frente de cargue de la pala hasta la pata de la rampa de salida del nivel.
  - **Corredores y rampas de acarreo:** son las que van desde donde terminan las áreas de palas hasta la rampa que llega a los botaderos que forman parte del ciclo de acarreo de estéril.
  - **Vías de botaderos:** son aquellas que van desde la cabeza de la rampa entrada al botadero hasta el triángulo de botado.
- ✓ **VÍAS DE ACARREO DE CARBÓN:** Son aquellas por donde transitan camiones carboneros desde los tajos hacia las trituradoras o pilas de carbón

---

<sup>2</sup> Cerrejón. “Vías de Acarreo” Versión 5, 2013. [Intranet, Noviembre 2013]. Disponible en: <http://lmnweb01.cerrejoncoal.com:7778/AppsSIO/SIO/consultaDocsOnBase.jsp>

**De acuerdo con su vida útil se clasifican en:**

- ✓ **CLASE A:** Son aquellas vías que tienen un tiempo de servicio superior a un mes.
- ✓ **CLASE B:** Son aquellas vías que tienen un tiempo de servicio menor a un mes.
- ✓ **CLASE C:** Son aquellas vías que tienen un tiempo de servicio determinado por la duración de la labor o trabajo para el cual se construye.

### **3.4 MEJORAMIENTO DE PROCESOS**

Para realizar mejoramiento a los procesos es necesario un estudio sistemático de cada proceso, desglosando las actividades y flujos propios, para de esta manera entender la importancia de cada componente del proceso y decidir si este aporta o no valor. Cuando en realidad se entiende un proceso es mediante este entendimiento que se pueden proponer mejoras. Las empresas revisan continuamente sus operaciones en busca de mejorar la calidad y ofrecer mejores precios para mantenerse activas en el mercado, es decir que el mejoramiento de procesos debe estar enfocado siempre hacia una mejora continua.

Existen diferentes técnicas o herramientas para el mejoramiento de los procesos, cada una sirve para gestionar mejoras en diferentes áreas o aspectos de las empresas y generalmente se usan para el diseño de nuevos procesos o para el rediseño de procesos que ya existen. Los mejoramientos pueden referirse a la calidad, el tiempo de procesamiento, los costos, los errores, la seguridad o la puntualidad en la entrega.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup>KRAJEWSKI, Lee J., RITZMAN, Larry P. Administración de Operaciones. Estrategia y Análisis, 5<sup>ta</sup> Edición. Pearson educación, México 2000. Pág. 110.

Se debe tener en cuenta que al realizar el mejoramiento de los procesos la mejora puede ser enfocada a los síntomas o a las causas de los problemas. Cuando la mejora ataca los síntomas se resuelve el problema de momento y después de un tiempo el problema vuelve a aparecer, a este tipo de mejora se le llama tipo parche. Por otro lado la mejora que ataca las causas y las elimina de raíz evitando así que el problema surja otra vez es llamada radical.

### **3.5 ANÁLISIS DE PARETO**

El análisis de Pareto es un método gráfico para definir los problemas más importantes de una determinada situación y, por consiguiente, las prioridades de intervención. El objeto consiste en desarrollar una mentalidad adecuada de comprender cuales son las pocas cosas más importantes y centrarse exclusivamente en ellas.

Efectivamente, se ha demostrado que el secreto del éxito en toda disciplina depende de contar con unas pocas prioridades claras en las que concentrarse. Es preciso por ello aprender a captar esas prioridades, es decir, las cosas más importantes.

Procede, sin embargo, hacer ciertas consideraciones sobre lo que quiere decir importantes. En realidad, no existen cosas importantes en sentido absoluto, sino que la importancia de un objeto o de un dato es función de dos elementos: la situación en la que nos encontramos y los objetivos que nos hemos fijado.

Sólo mediante el examen de esos dos elementos podremos comprender qué es importante para nosotros.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> GALGANO, Alberto. Los 7 instrumentos de la Calidad Total. Madrid. Ediciones Díaz de Santos, 1995. Pág. 115-116.

Un diagrama de Pareto es un gráfico de barras que enumera las categorías en orden descendente de izquierda a derecha, el cual puede ser utilizado por un equipo para analizar causas, estudiar resultados y planear una mejora continua.<sup>5</sup>

Para realizar un diagrama de Pareto primero se especifica el asunto, las características y la medida a analizar. Luego se decide sobre el origen de los datos (históricos o retrospectivos, actuales o de nueva información, etc.) y el tamaño de muestra. Seguidamente se realiza la captura de los datos para analizarlos y organizarlos de mayor a menor, por último se realizan los siguientes pasos:

- a. Realizar las sumas acumuladas de los datos en orden descendente.
- b. Calcular el porcentaje de importancia de cada dato al dividir el acumulado por el total.
- c. Construir un diagrama de barras para los datos colocando en el eje vertical izquierdo las unidades, eje horizontal los elementos y en el eje vertical derecho los porcentajes.
- d. Trazar un gráfico lineal representando el porcentaje acumulado.
- e. Analizar el diagrama localizando el punto de inflexión en este último gráfico.

### **3.6 ANÁLISIS CAUSA-EFECTO**

Esta técnica es una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema. Se conoce también como diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado, y se utiliza en las fases de diagnóstico y solución de la causa.

---

<sup>5</sup> VERDOY, Pablo J., MATEU, Jorge., SAGASTA, Santiago., SIRVENT, Raúl. Manual de control estadístico de calidad: Teoría y aplicaciones. Castelló de la Plana: Publicaciones de la Universidad Jaume I, D. L. 2006. Pág. 207.

El análisis causa-efecto es una técnica para ordenar, de forma muy condensada, todas las causas que aparentemente pueden contribuir a un determinado efecto. Permite lograr un conocimiento común de un problema complejo, sin ser un sustitutivo de los datos. Es importante considerar que los análisis causa-efecto presentan y organizan teorías. Sólo cuando estas teorías son contrastadas con datos podemos probar las causas de los fenómenos observables. Errores comunes son construir el diagrama antes de analizar globalmente los síntomas, limitar las teorías propuestas escondiendo involuntariamente la causa raíz, o cometer errores tanto en la relación causal como en el orden de las teorías.<sup>6</sup> Los pasos a seguir para elaborar un análisis causa efecto son:

- a. Definir el resultado o efecto a analizar. Puede ser positivo (un objetivo) o negativo (un problema).
- b. Situarlo al lado derecho de lo que será el diagrama como una breve descripción (enmarcado en un recuadro).
- c. Trazar una línea hacia la izquierda partiendo del recuadro.
- d. Identificar las causas principales que inciden sobre el efecto, colocarlas como las ramas principales y sobre ellas podrán ir otras posibles causas.
- e. Situar cada una de las categorías principales de causas en recuadros conectados mediante líneas inclinadas.
- f. Identificar por cada rama otros factores, la técnica de tormenta de ideas puede ser un buen apoyo.
- g. Verificar la inclusión de factores para corroborar todos los que deban ir.
- h. Analizar el diagrama para identificar causas reales.

---

<sup>6</sup> LOPEZ, Marcelo., CORREA, Jorge I. Planeación estratégica de tecnologías informáticas y sistemas de información. 1ª Edición. Editorial Universidad de Caldas, Manizales 2007. Pág. 36-37.

### 3.7 ANÁLISIS DE VARIANZA

“El análisis de varianza es una técnica estadística para analizar mediciones que dependen de varias clases de efectos que operan simultáneamente, para estimar los efectos y para decidir cuáles efectos son importantes” Scheffé (1999). La base teórica del análisis de varianza fue publicada y desarrollada por R. A. Fisher (1923). Cinco años antes había usado los términos varianza y análisis de varianza no para estudiar la varianza propiamente sino la variación experimental. Hoy en día, el análisis de varianza es una técnica estadística que permite analizar datos provenientes de un experimento aleatorio comparativo.

El análisis de varianza, ANOVA, es un conjunto de procedimientos que se ajustan a las características del diseño experimental usado en la obtención de los datos. No es un método fijo, por el contrario, se adapta a cada diseño y se puede clasificar de distintas maneras.

Si el diseño es unifactorial, se aplica el ANOVA de clasificación simple o de una vía. Si es multifactorial, el ANOVA correspondiente será de dos vías cuando se analizan dos factores; de tres vías cuando se analizan tres factores, etc. Si se tiene un factor y una variable de agrupación -diseño de bloques- el ANOVA también es de dos vías. Si se tiene un factor y dos variables de agrupación – diseño de cuadrado latino- el ANOVA será de tres vías y así sucesivamente.

Por otro lado, de acuerdo con el número de repeticiones se tiene ANOVA con grupos iguales para diseños balanceados; es decir, igual número de repeticiones por tratamiento, o ANOVA con grupos desiguales para diseños desbalanceados.

La forma de seleccionar los niveles de los factores también determina el tipo de análisis. Si los niveles son fijos o escogidos previamente por el investigador, se tiene el modelo I de ANOVA o modelo de efectos fijos y el análisis se hace sobre las medias. En el modelo II o modelo de efectos aleatorios, el análisis se hace para las diferentes componentes de varianza.

El objetivo central de ANOVA es la comparación de dos o más tratamientos, cada uno de los cuales representa una población. Supóngase que se tiene un factor A con  $k$  niveles o tratamientos y que cada uno de ellos está repetido  $r$  veces en el experimento. Cada unidad experimental produce una observación o dato  $y_{ij}$  que se analiza con base en un modelo estadístico llamado modelo lineal aditivo.

El análisis de un experimento está basado en un modelo matemático para las observaciones, y este modelo matemático está relacionado con y justificado por el diseño. Se puede agregar que la aleatorización es el paso que introduce los modelos probabilísticos para las observaciones.<sup>7</sup>

### **Modelo matemático para el caso de Efectos fijos, un factor y grupos iguales**

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i=1, 2, \dots, r \text{ repeticiones} \\ j=1, 2, \dots, k \text{ tratamientos,} \end{array}$$

Donde  $y_{ij}$  representa el dato obtenido de la repetición  $i$ -ésima en el tratamiento  $j$ -ésimo;  $\mu$  es la media global de las poblaciones combinadas;  $\tau_j$  es el efecto producido por el tratamiento  $j$ -ésimo y  $\varepsilon_{ij}$  es el error experimental aleatorio en la observación  $y_{ij}$ .

### **Modelo matemático de ANOVA de dos vías**

Se basa en descomponer la diferencia observada entre un elemento y la media global en cuatro partes. La debida a pertenecer a un nivel determinado del factor A, la debida a pertenecer a un nivel determinado del factor B, la debida interacción

---

<sup>7</sup> DIAZ, Abel. Diseño estadístico de experimentos. 2ª Edición. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín 2009. Pág. 47-49.

entre el factor A y el factor B y la debida a otras causas no controladas por el modelo.<sup>8</sup> El modelo es:

$$(X_{jiw} - \mu) = (\mu_j - \mu) + (\mu_i - \mu) + (\mu_{ji} - \mu_j - \mu_i - \mu) + (X_{jiw} - \mu_{ji})$$

El subíndice j se refiere a los niveles del factor A, el subíndice i se refiere a los niveles del factor B y el subíndice w se refiere al orden en el muestreo dentro de cada grupo. Por ejemplo  $X_{123}$  es el tercer elemento del grupo correspondiente al primer nivel del factor A y al segundo nivel correspondiente al factor B. El significado de cada elemento es el siguiente:

$(X_{jiw} - \mu)$  expresa matemáticamente la diferencia de un elemento con respecto a la media por todas las causas. A partir de este elemento se deduce la variabilidad total.

$(\mu_j - \mu)$  expresa la diferencia de la media del j-ésimo nivel del factor A respecto a la media poblacional. A partir de este elemento, se deduce la variabilidad debida al factor A.

$(\mu_i - \mu)$  expresa la diferencia de la media del i-ésimo nivel del factor B respecto a la media poblacional. A partir de este elemento, se deduce la variabilidad debida al factor B.

$(\mu_{ji} - \mu_j - \mu_i - \mu)$  expresa matemáticamente la influencia que en el valor de un elemento tiene la interacción entre los dos factores. A partir de este elemento se deduce la variabilidad debida a la interacción.

---

<sup>8</sup> ÁLVAREZ CÁCERES, Rafael. Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS. Ediciones Díaz de Santos, S.A., Madrid 1995. Pág. 45-46.

$(X_{ijw} - \mu_{ji})$  expresa matemáticamente la influencia en el valor de un elemento de la variabilidad debida a todas las causas no controladas por el modelo. A partir de este elemento se deduce la variabilidad dentro de grupos.

### **Inferencia en ANOVA**

Con los resultados del ANOVA se pueden hacer estimaciones y probar hipótesis a posteriori. En primer lugar la prueba  $F$  permite decidir si hay o no diferencias entre medias de tratamientos. Este es un paso intermedio en el análisis, ya que al concluir que existen diferencias, el paso siguiente es encontrar las medias que son significativamente diferentes entre sí y estimar su diferencia.<sup>9</sup>

### **3.8 INDICADORES DE GESTIÓN**

Un indicador es una medida de la condición de un proceso o evento en un momento determinado. Los indicadores en conjunto pueden proporcionar un panorama de la situación de un proceso, de un negocio, o de las ventas de una compañía.<sup>10</sup>

Una de las claves de la competitividad está en reconocer que cualquier cosa que estemos haciendo puede hacerse mejor. Pero, para saber en qué niveles se desarrolla el mejoramiento, las mediciones son imprescindibles.<sup>11</sup>

Los indicadores de gestión son en realidad una manifestación de los objetivos estratégicos de una organización a partir de su misión y surgen de la necesidad de asegurar la integración entre los resultados operacionales y estratégicos de la

---

<sup>9</sup> DIAZ, Abel. Diseño estadístico de experimentos. 2ª Edición. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín 2009. Pág. 51-52.

<sup>10</sup> RINCÓN BERMUDEZ, Rafael David. "Los indicadores de Gestión Organizacional". Artículo, Una Guía para su definición.

<sup>11</sup> ANTOLINEZ, Manuel Alfredo. Productividad de la MIPYME Sector cuero y calzado, SENA-ACICAM, Cúcuta, Colombia.

empresa. Deben reflejar la estrategia corporativa a todos los empleados. A continuación se presentan los tipos de indicadores:

- ✓ Indicadores de eficacia: ratios que indican el cumplimiento de las tareas.
- ✓ Indicadores de eficiencia: actitud y capacidad de realizar una tarea con el mínimo gasto de recursos.
- ✓ Indicadores de evaluación: ratios que permiten identificar fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora.
- ✓ Indicadores de cumplimiento: ratios que indican el cumplimiento de tareas.

### **Elementos de los indicadores de gestión**

- Definición: expresión que cuantifica el estado del evento que quiere ser controlado.
- Objetivo: es lo que persigue el indicador seleccionado. Indica el mejoramiento que se busca y el sentido de esa mejora (maximizar, minimizar, eliminar, etc.).
- Valores de referencia: Sirve para comparar el valor de un indicador. Los valores de referencia son: valor histórico, valor teórico, valor de requerimiento de los usuarios, valor de la competencia, valor de la política corporativa, valores por consenso.
- La responsabilidad: clarifica el modo de actuar frente a la información que suministra el indicador y su posible desviación respecto a las referencias escogidas.
- Los puntos de medición: define la forma cómo se obtienen y conforman los datos, los sitios y momento donde deben hacerse las mediciones, los medios

con los cuales hacer las medidas, quienes hacen las lecturas y cuál es el procedimiento de obtención de las muestras.

- La periodicidad: define el periodo de realización de la medida, cómo presentan los datos, cuando se realizan las lecturas puntuales y los promedios.
- El sistema de procesamiento y la toma de decisiones: el sistema de información debe garantizar que los datos obtenidos de la recopilación de históricos o lecturas, sean presentados adecuadamente al momento de la toma de decisiones.

### **Metodología para establecer indicadores de gestión**

- Definir el proceso que interviene, con el objetivo organizacional.
- Definir el objetivo organizacional con el cual está relacionado el proceso.
- Definir la meta a alcanzar de acuerdo al objetivo organizacional.
- Analizar los indicadores que posiblemente pueden aplicar al proceso, para la consecución de la meta del objetivo organizacional.
- Analizar el impacto de los indicadores en el proceso.
- Seleccionar el indicador adecuado al cumplimiento de las metas y objetivos planteados.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1 CONOCIMIENTO Y DIAGNÓSTICO**

En esta etapa se entra en contexto conociendo cuales son los actores a intervenir, para este proyecto las llantas de los camiones de acarreo de estéril y su relación con la condición de las vías, revisando el estado actual en que se desenvuelven, seguido de un análisis que permitirá conocer las causas del o de los problemas relevantes a intervenir. En el desarrollo de esta etapa se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Visita al taller de llantas para conocer la estructura de las llantas y los diferentes tipos de daños que estas presentan.
- Observación en las diferentes áreas de las vías de acarreo en todos los tajos de la mina para identificar posibles puntos críticos.
- Recolección y organización de la información de las llantas desechadas, clasificadas por tipo de daño que la saco de servicio.
- Análisis de Pareto a los tipos de daño recopilados para identificar los pocos vitales para un posterior análisis más detallado.
- Análisis causa-efecto a los tipos de daño que se identificaron como vitales para poder plantear una estrategia de intervención.

### **4.2 ANÁLISIS**

Mediante la aplicación de un análisis estadístico de factores determinar la relación entre los diferentes tipos de daños que presentan las llantas por consecuencia del estado de las vías de acarreo. La técnica a utilizar para esta etapa será el análisis de varianza (Anova), mediante la cual se podrá inferir cuál o cuáles tipos de daño

que sacan a las llantas de servicio son los más significativos. La variable respuesta será el rendimiento de las llantas desechadas en kilómetros y la cantidad de llantas desechadas.

### **4.3 PREPARACIÓN**

Ya teniendo un panorama claro de cuáles son las causas en las vías que están mitigando la vida útil de las llantas, el paso siguiente es buscar cuales de las herramientas informáticas con las que cuenta cerrejón para el seguimiento de sus procesos podrían ser utilizadas para plantear la estrategia que permita identificar las falencias y atenderlas a tiempo.

- Búsqueda en la organización de herramientas informáticas que estén relacionadas con información de la flota de acarreo de estéril, de las llantas de estos equipos mineros y de las vías.
- Investigar si existen en el sector minero soluciones tecnológicas o propuestas que permitan determinar el estado de las vías por donde transitan los equipos pesados, para realizar un análisis de su metodología.

### **4.4 DESARROLLO Y PRUEBA**

- Mediante el uso adecuado de herramientas informáticas realizar una estrategia que permita identificar las anomalías en las vías que más afectan el rendimiento de las llantas de los camiones de acarreo de estéril para programar los correctivos correspondientes.
- Realizar una prueba piloto de la estrategia planteada y documentarla paso a paso, plasmar las observaciones y recomendaciones que surjan.

#### **4.5 EVALUACIÓN Y CONTROL**

- Diseño de indicadores que permitan verificar la condición en que se encuentran las vías y dar prioridad al arreglo de las mismas.
- Plantear la estructura de un reporte que permita conocer por tajo cuáles son los tipos de daño asociados a la condición de las vías que afectan la vida útil de las llantas de los camiones de acarreo de estéril.

## 5. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Para realizar el planteamiento del problema se desarrolló en la empresa un diagnóstico mediante: la identificación y descripción de los diferentes tipos de daños que presentan las llantas, observaciones directas en las diferentes zonas que hacen parte de las vías por donde se desplazan los camiones de acarreo, la aplicación de análisis de Pareto para identificar el o los tipos de daño que más afectan la duración de las llantas, análisis causa - efecto o espina de pescado para determinar las posibles causas de los tipos de daños vitales, para de esta manera conocer las falencias que se presentan y poder concluir de manera precisa cual es el problema que realmente debe ser atendido con la realización del proyecto.

### 5.1 DAÑOS EN LAS LLANTAS

Se tienen identificados diferentes tipos de daños que sufren las llantas de los equipos mineros en cerrejón, seguidamente se enumeran y describen cada uno de los daños asociados a la condición de las vías:

**5.1.1 Corte en la banda (superficial y pasante)** Los cortes en la banda son ocasionados por piedras o elementos metálicos presentes en las vías, áreas de cargue o botaderos; cuando el elemento penetra la carcasa la llanta se pincha.

**Figura 5.** Corte en la banda



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.2 Separación por corte** En la separación por corte se distancia la banda de los cinturones por la acción de un corte, los cinturones muestran desgaste por fricción. En algunos casos se separan las capas de caucho de la banda. Estas separaciones se prolongan en sentido contrario a la rotación de la llanta en forma de V.

**Figura 6.** Separación por corte



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.3 Desgarre de la banda de rodamiento por corte** Esto ocurre cuando se desprende la banda de rodamiento por la acción de un corte y un continuo uso con el daño presente. Es notable la exposición de cables de los cinturones en forma desordenada. Las llantas con amplia exposición de cuerdas se pueden estallar por patinazos, frenados bruscos o cortes con piedra.

**Figura 7.** Desgarre de la banda de rodamiento por corte



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.4 Desgaste total** Esto ocurre cuando se desgasta todo el caucho de la banda de rodamiento. El desgaste total de la llanta indica un buen aprovechamiento de la misma.

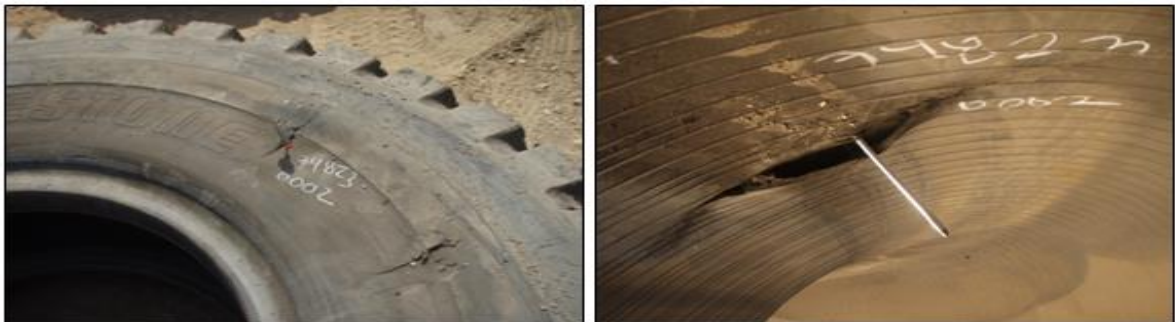
**Figura 8.** Desgaste total



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.5 Corte en el costado (superficial y pasante)** Estos ocurren debido al contacto con piedras o elementos metálicos en las vías, áreas de cargue o botaderos, cuando el elemento penetra la carcasa la llanta se pincha.

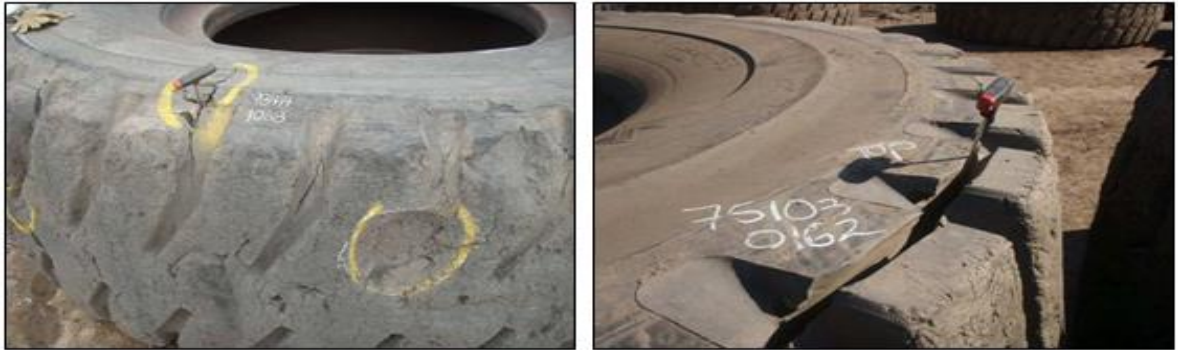
**Figura 9.** Corte en el costado



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.6 Corte en el hombro** Estos ocurren por la presencia de piedras o elementos metálicos en las vías, áreas de cargue o botaderos, cuando el elemento penetra la carcasa la llanta se pincha.

**Figura 10.** Corte en el hombro



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.7 Impacto** Sí hay ruptura de la carcasa por impactos con piedras. Habitualmente no se evidencian daños externos mayores. Estos daños sacan de servicio la llanta debido al debilitamiento estructural de la misma.

**Figura 11.** Impacto



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.8 Estallido** Un estallido se presenta cuando la estructura de la llanta ya no puede soportar la presión de inflado y se evidencia una ruptura total de la carcasa

y del paquete de cinturones. Algunas de las causas pueden ser fallas de reparación, impacto fuerte, avanzado deterioro, entre otros.

**Figura 12.** Estallido



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.9 Separación por calor** Separación de la banda, presencia de caucho quemado (derretido) y ceniza en la parte afectada, olor a quemado, no presenta corte y generalmente ocurre en llantas con bajo kilometraje. Esta falla saca la llanta de servicio. Puede ser causada por alto TKPH, por falla de fabricación/diseño o por sobre esfuerzos causados por deformaciones de la superficie de rodadura.

**Figura 13.** Separación por calor



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.10 Abultamiento del talón área de contacto flanche/burbujas** Burbujas internas o externas que tienen aire en la zona de retorno de los cables. Las burbujas externas se pueden perforar, las burbujas internas se perforan solamente cuando se sitúan en o cerca de la parte interna del talón, nunca en el costado. Hay abultamientos que pueden presentarse por infiltraciones de aire a través de daños en el talón.

**Figura 14.** Abultamiento del talón área de contacto flanche / burbujas



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.11 Separación del chafer** Lo que ocurre en este caso es que el chafer o aro de alambre que da resistencia al talón se separa. Se presenta un abultamiento circunferencial en el talón de la llanta parte interior. La llanta puede trabajar.

**Figura 15.** Separación del chafer



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.12 Daño por objeto metálico** Cuando ocurre un corte con elementos metálicos, que se desprenden de los equipos mineros y caen a las vías. Dependiendo de la severidad del daño la llanta se puede reparar.

**Figura 16.** Daño por objeto metálico



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.13 Roce en el costado** Esto sucede con el rozamiento excesivo con cilindros de suspensión o eyectores de roca que producen daño en el costado de la llanta hasta llegar a exponer cables.

**Figura 17.** Roce en el costado



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.14 Desgaste irregular** En este caso la banda de rodamiento se desgasta de manera dispareja, esto es causado por mala alineación de las llantas o problemas en la suspensión. Este desgaste irregular reduce la vida útil de la llanta.

**Figura 18.** Desgaste irregular



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

**5.1.15 Rotura del retorno** Ocurre por sobre esfuerzos, sobrecarga o baja presión. Inicialmente presenta deformación y luego avanza hasta la rotura del caucho del costado.

**Figura 19.** Rotura del retorno



Fuente: Manual de fallas de llantas en cerrejón

## **5.2 OBSERVACIÓN DE VÍAS DE ACARREO DE ESTÉRIL**

La observación de las vías de acarreo de estéril se realiza para determinar las condiciones en que estas se encuentran en cada tajo de la mina e identificar los posibles puntos críticos en donde las llantas se ven más afectadas, para un mejor análisis de las condiciones las vías se dividieron en tres categorías: vías de área de palas, vías de botadero, corredores y rampas de acarreo. A continuación se

describen los aspectos que se observan de cada una de las categorías para evaluar su condición, seguido de un análisis de los resultados obtenidos.

**5.2.1 Vías de área de palas** Son aquellas vías que van desde el frente de cargue de la pala hasta la pata de la rampa de salida del nivel.

**Figura 20.** Área de palas



A las vías que hacen parte del área de palas se les observan y califican los siguientes ítems: el piso del área de cargue (caída de material), talud en zona de cargue del camión (camión sobre el talud), superficie de rodadura en el acceso (baches y/o ondulaciones). Cada uno de los ítems anteriores tiene un peso asignado en porcentaje de la siguiente manera para obtener un total de 28,80%:

**Tabla 1.** Peso asignado a ítems de vías de área de palas

Área de Palas	28,80%
Piso área de cargue (Caída de material )	15,00%
Talud zona cargue camión (Camión sobre talud)	6,90%
Superficie rodadura acceso	6,90%

Fuente: Bridgestone CTLEO

**5.2.2 Vías de botadero** Son aquellas vías que van desde la cabeza de la rampa entrada al botadero hasta el triángulo de botado.

**Figura 21.** Botaderos



Los ítems observados y calificados para esta categoría son los siguientes: caída de material (rocas en la vía), superficie de rodadura (presencia de baches u ondulaciones), área de botado (conformación de bermas). Cada uno de los ítems anteriores tiene un peso asignado en porcentaje de la siguiente manera para obtener un total de 28,80%:

**Tabla 2.** Peso asignado a ítems de vías de botadero

<b>Botaderos</b>	<b>28,80%</b>
Caída de material	<b>15,00%</b>
Superficie rodadura	6,90%
Área botado	6,90%

Fuente: Bridgestone CTLEO

**5.2.3 Corredores y rampas de acarreo** También conocidas como vías de acarreo, son las vías que van desde donde terminan las áreas de palas hasta la rampa de acceso a los botaderos que forman parte del ciclo de acarreo de estéril.

**Figura 22.** Corredores y rampas



Los ítems que son observados y calificados son los siguientes: caída de material, roce con la berma, comunicación con supervisores (limpieza), peraltes, superficie de rodadura. Cada uno de los ítems anteriores tiene un peso asignado en porcentaje de la siguiente manera para obtener un total de 42,60%:

**Tabla 3.** Peso asignado a ítems de vías de acarreo

<b>Vías de Acarreo</b>	<b>42,60%</b>
Caída de material	<b>15,00%</b>
Roce con la berma	6,90%
Comunicación supervisores - limpieza	6,90%
Peraltes	6,90%
Superficie rodadura	6,90%

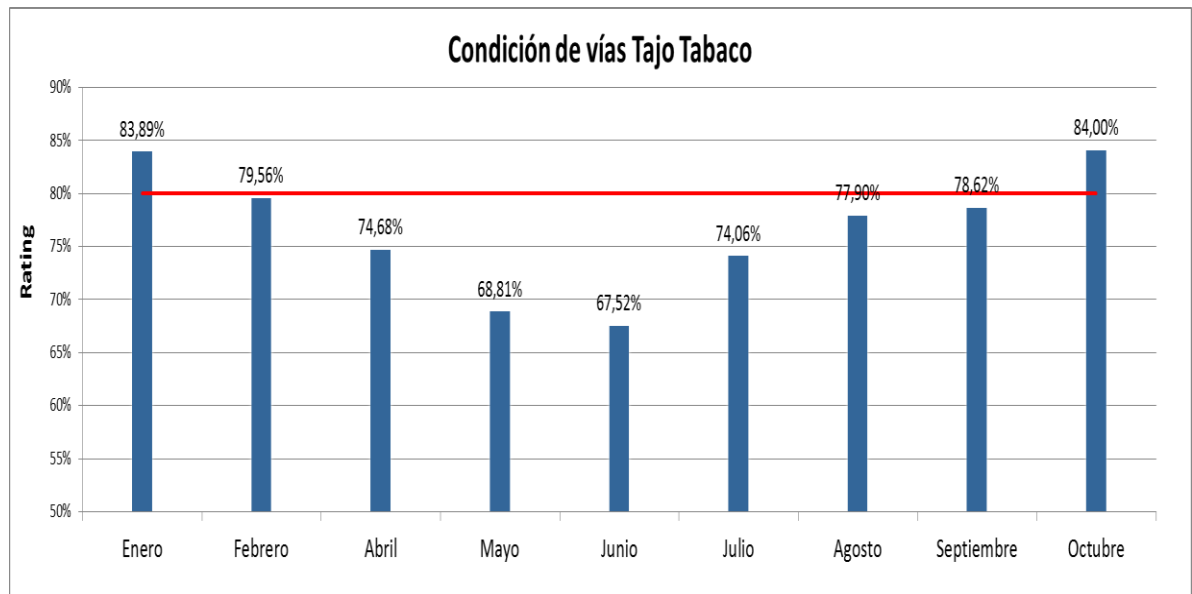
Fuente: Bridgestone CTLEO

#### **5.2.4 Análisis de las observaciones**

Las observaciones se realizaron en todos los tajos de la mina 1 vez al mes desde agosto a octubre en compañía de los ingenieros de Bridgestone, los proveedores de las llantas de los camiones de acarreo. Los tajos de la mina se tienen divididos de la siguiente forma: tajo tabaco, tajo la puente, tajo patilla y tajos sur

(comuneros, tajo 100 y oreganal), este último contiene 3 tajos muy pequeños por lo tanto para ciertas actividades se toma como uno solo. A continuación se detallan los resultados por tajo de las observaciones realizadas con los ingenieros de Bridgestone durante los meses de agosto a octubre y también las de meses anteriores que ellos facilitaron para tener un panorama más claro.

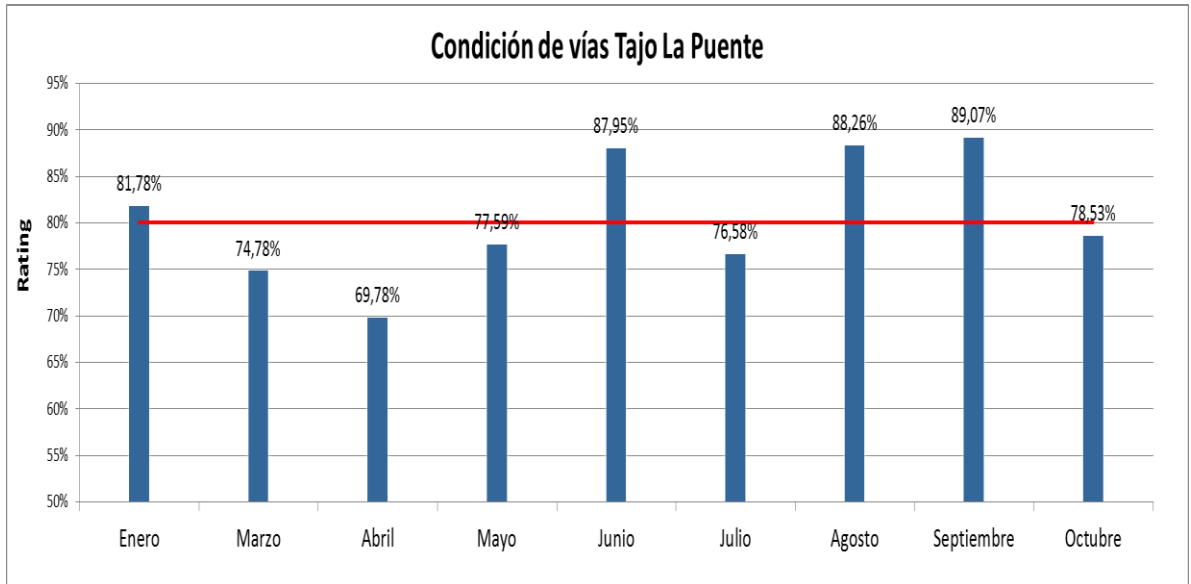
**Figura 23.** Condición de vías tajo Tabaco Enero – Octubre



Fuente: Bridgestone CTLEO

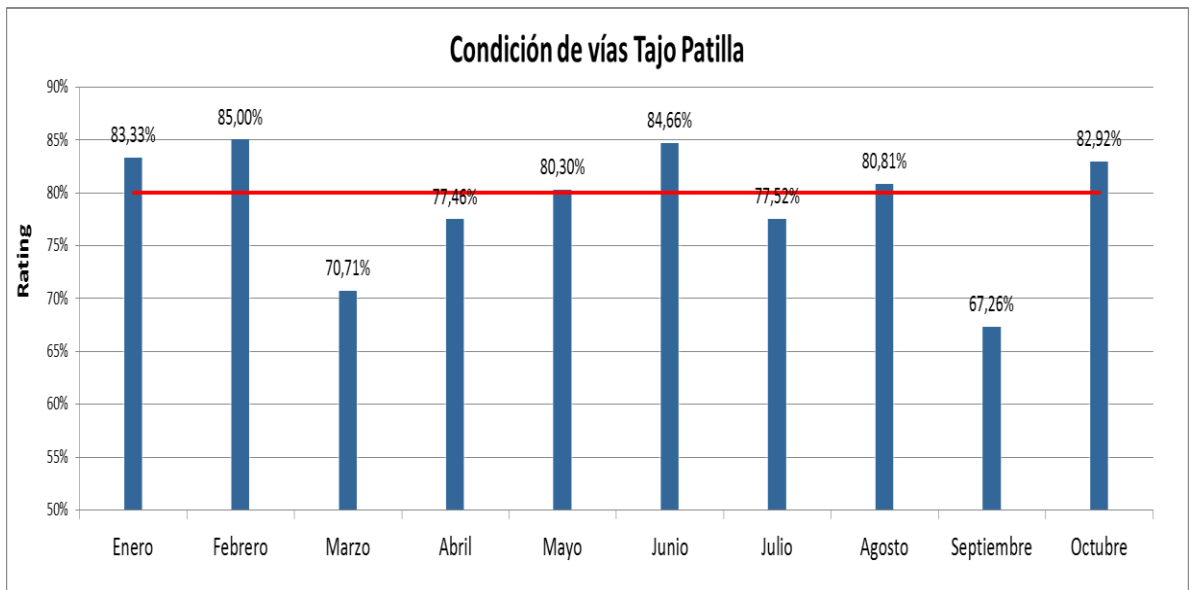
Se tiene definido un *Target* u objetivo meta del 80% en la calificación de condición de vías, pero como se evidencio en muchas de las evaluaciones no se cumplió, lo que nos indica que el proceso no está bajo control.

**Figura 24.** Condición de vías tajo La Puente Enero – Octubre



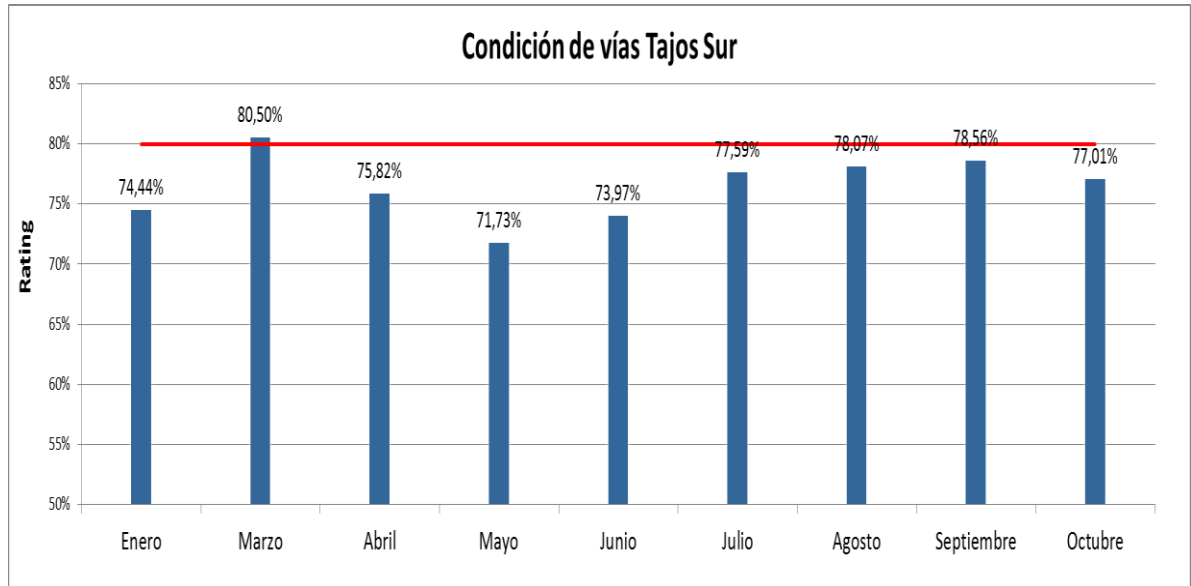
Fuente: Bridgestone CTLEO

**Figura 25.** Condición de vías tajo Patilla Enero – Octubre



Fuente: Bridgestone CTLEO

**Figura 26.** Condición de vías tajos Sur Enero – Octubre



Fuente: Bridgestone CTLEO

Los puntos críticos que se pudieron identificar en las observaciones realizadas en los 4 tajos fueron: área de cargue del camión en zona de palas por presencia de rocas en el piso producto del mal cargue y/o del talud mal tendido con riesgo de corte a las llantas al ser pisadas (Figura 27), entrada al área de palas desde la pata de la rampa de acceso por presencia constante de baches y fuertes ondulaciones que deforman las llantas al ser sometidas a cambios bruscos de presiones, acceso a botaderos igualmente por presencia constante de baches y ondulaciones (Figura 28). En general los tres puntos anteriores son los que podríamos identificar como críticos y que estarían afectando en gran manera la vida útil de las llantas pero también se pudo evidenciar la presencia de baches fuertes en las rampas y corredores (Figura 29) que al no ser identificados por los operadores le hacían sufrir fuertes golpes a las llantas del camión por no ser tomados a baja velocidad.

**Figura 27.** Rocas en el área de cargue y Camión sobre el talud



**Figura 28.** Baches en acceso a área de pala y Baches en acceso a botadero



**Figura 29.** Baches en rampas y corredores



### 5.3 ANÁLISIS DE PARETO DE LOS DAÑOS EN LAS LLANTAS DE LOS CAMIONES DE ACARREO DE ESTÉRIL

Para realizar el análisis de Pareto se recopiló, clasificó y cuantificó la información de los tipos de daños asociados a la condición de las vías que sufrieron las llantas que salieron de la operación de los equipos de acarreo de estéril, camiones 240T y 320T, desde el mes de enero hasta octubre. Mediante este análisis se va a determinar cuál o cuáles tipos de daños son los que más afectan la vida útil de las llantas para dedicar mayor atención en analizar y controlar las causas de estos daños y así poder aumentar el rendimiento de las llantas.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de la información recopilada y clasificada, con sus respectivos valores de frecuencia de cada tipo de daño, sus porcentajes y porcentajes acumulados con los cuales se construye el diagrama de Pareto.

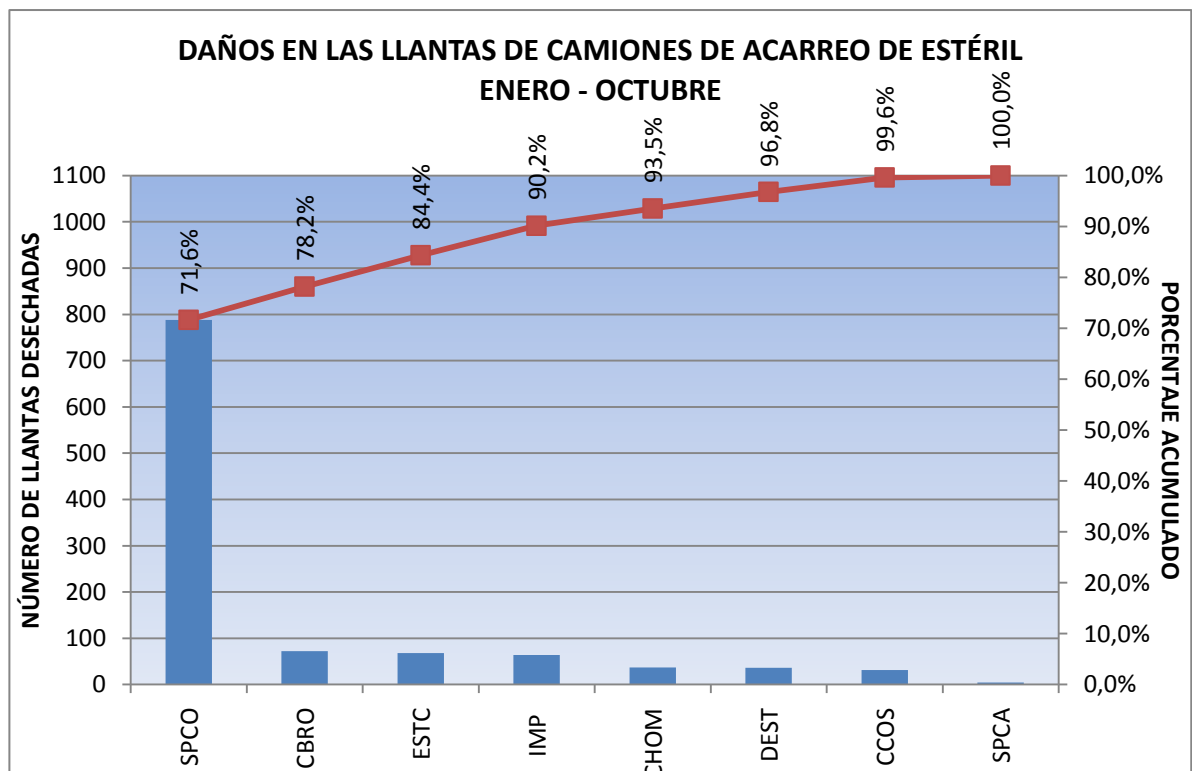
**Tabla 4.** Daños en las llantas de la flota de acarreo de estéril de enero a octubre

DAÑO	CÓDIGO	FRECUENCIA	%	% ACUMULADO
Separación por corte	SPCO	788	71,6%	71,6%
Corte banda de rodamiento	CBRO	72	6,5%	78,2%
Estallada	ESTC	68	6,2%	84,4%
Impacto	IMP	64	5,8%	90,2%
Corte en el hombro	CHOM	37	3,4%	93,5%
Desgaste total banda de rodamiento	DEST	36	3,3%	96,8%
Corte costado	CCOS	31	2,8%	99,6%
Separación por calor	SPCA	4	0,4%	100,0%
TOTAL		1100	100%	

Como se observa en el diagrama de Pareto (Ver Figura 30) el 84,4% de las llantas dañadas lo representan tres de los ocho tipos de daño asociados a la condición de

las vías que se presentaron en los meses de enero a octubre: Separación por corte (SPCO), Corte en la banda de rodamiento (CBRO) y Estalladas (ESTC). Es importante realizar un análisis detallado de estos tres tipos de daño para enfocar los esfuerzos y recursos en soluciones que los minimicen.

**Figura 30.** Diagrama Pareto de los daños en las llantas de los camiones de acarreo de estéril

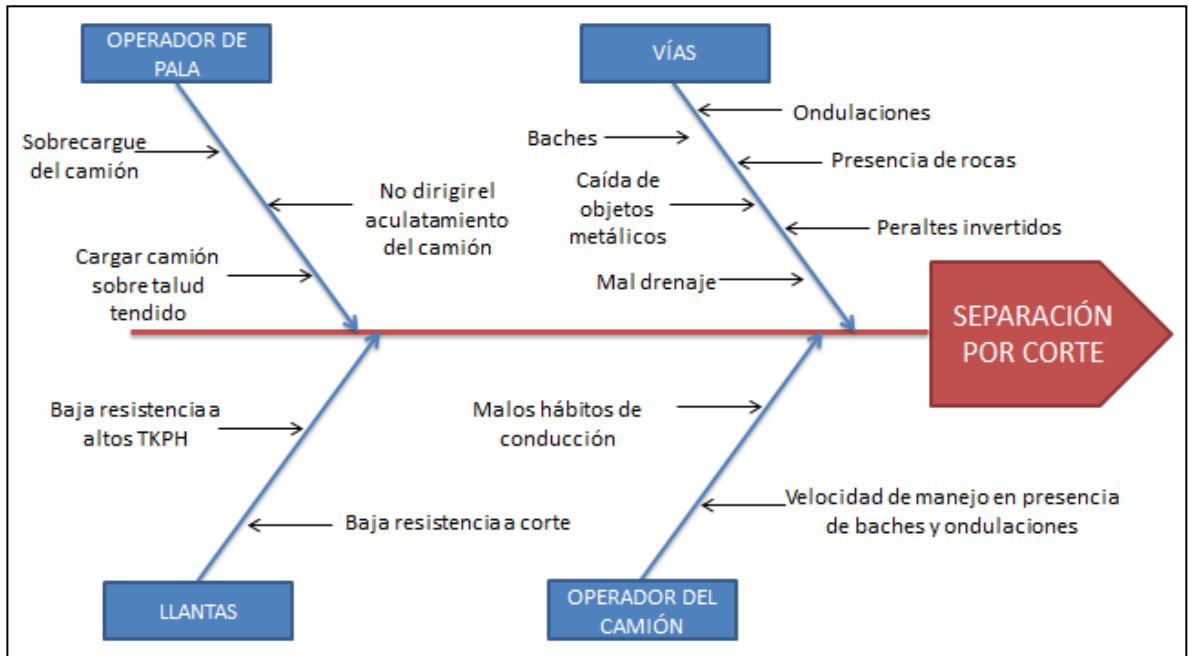


#### 5.4 ANÁLISIS CAUSA EFECTO

A los tres tipos de daño identificados en el análisis de Pareto, los cuales representan el 84,4% de los daños en las llantas de los camiones 240 y 320 toneladas, se les hizo un análisis detallado de las posibles causas que provocan el daño. Con este análisis se tienen más elementos que permiten plantear soluciones que intervengan directamente en la raíz del problema.

### 5.4.1 Separación por corte (SPCO)

Figura 31. Diagrama causa-efecto para Separación por corte



#### 5.4.1.1 Vías

- Baches: deforman la llanta que los atraviese por el aumento de presión repentino, y en una llanta con un corte propicia e incrementa la separación de la banda con los cinturones debido a que en el punto de corte la estructura se ha debilitado y la presión que hacen los cinturones al flexionarse desgarran la banda cada vez más.
- Ondulaciones: al igual que los baches causan deformación en las llantas por el aumento de presión repentino, pero a diferencia del bache estos afectan a las dos llantas a la vez, generalmente se presentan varias ondulaciones seguidas en un tramo corto, por ende hay que disminuir la velocidad del camión para no sufrir gran afectación.

- Presencia de rocas: al ser espichadas por las llantas dependiendo de su tamaño, conformación y forma pueden causar cortes que así sean superficiales con el pasar del tiempo y al someter la llanta a constantes deformaciones van adquiriendo tamaño y profundidad.
- Caída de objetos metálicos: algunos equipos mineros tienen estructuras que con el uso y vibración se desajustan y caen en las vías, al tener contacto con las llantas provocan en ellas diferentes tipos de corte.
- Mal drenaje: hace que se formen lodos que al contacto con llantas que presenten un corte se introducen fácilmente en ellas causando desgastes y debilitamiento de la estructura, aumentan la fricción interna entre la banda y los cinturones.
- Peraltes invertidos: genera desbalanceo en la carga del camión, inclinando todo el peso de este sobre un solo lado, afectando las llantas delantera y traseras del mismo lado con un exceso de presión que deforma las llantas que sí tienen presencia de corte expande este cada vez más.

#### **5.4.1.2 Operador del camión**

- Malos hábitos de conducción: no estar atento a la vía para esquivar las rocas, elementos metálicos, baches y ondulaciones que se presenten en el camino.
- Velocidad de manejo en presencia de baches y ondulaciones: No atravesar los baches y ondulaciones a baja velocidad para evitar los impactos y sobrepresiones en las llantas y estructuras del camión.

#### **5.4.1.3 Llantas**

- Baja resistencia a cortes: La mayoría de las llantas de los camiones no tienen una estructura rígida que las proteja de cortes, su diseño es para que resistan largos recorridos.
- Baja resistencia a altos TKPH: aunque las llantas que utiliza cerrejón están diseñadas para largos recorridos, por el gran tamaño de sus tajos en muchos

de sus recorridos se exceden los límites de diseño de Tonelada kilometro por hora (TKPH), sometiendo la llanta a un deterioro temprano.

#### **5.4.1.4 Operador de pala**

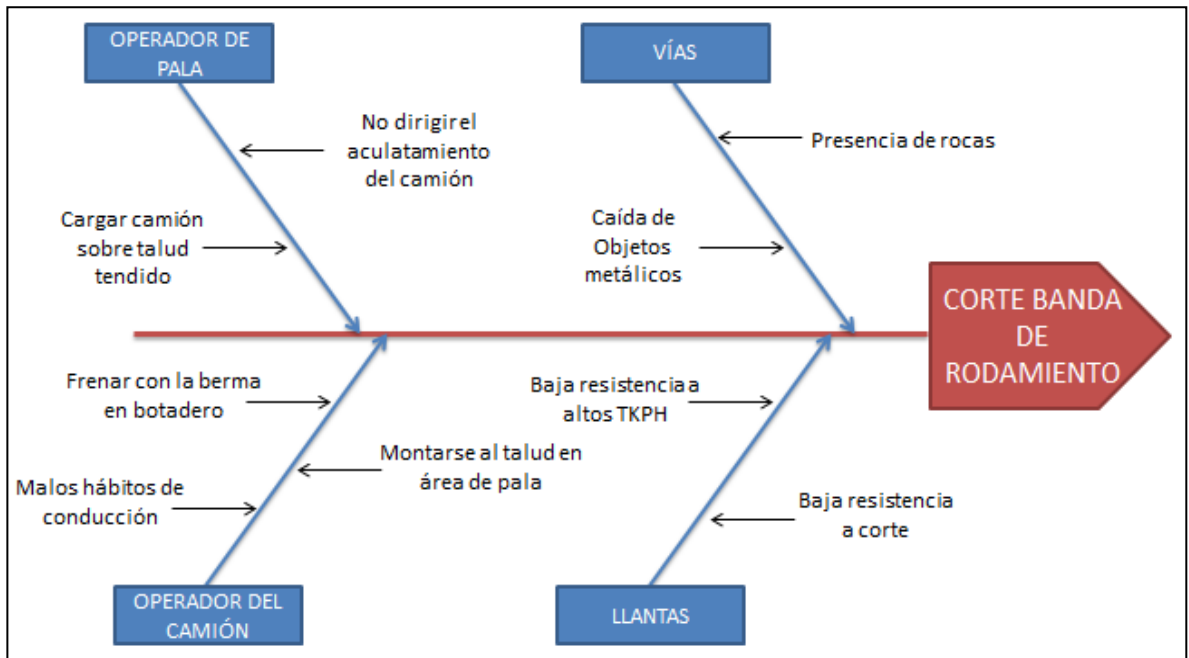
- Sobrecargue del camión: el peso excesivo en el camión aumenta la presión de las suspensiones y de las llantas, como resultado se tiene un recalentamiento de las llantas lo que facilita el desplazamiento entre los cinturones y la banda de rodamiento pues el caucho pierde sus características de rigidez.
- No dirigir el acuatamiento del camión: el no dirigir el proceso de acuatamiento de un camión en el área de cargue influye directamente en la probabilidad de corte de las llantas traseras, que son las que soportan el mayor peso de la carga, pues el operador del camión frenará con o encima del talud al no ser avisado.
- Cargar camión sobre talud tendido: al encontrarse el talud tendido es probable que las llantas del camión se encuentren encima o muy cerca de rocas, que al momento de ser cargado van a aumentar mucho más la probabilidad de corte pues la llanta va a estar sometida a mayor presión lo que la hace más vulnerable.

#### **5.4.2 Corte en banda de rodamiento (CBRO)**

##### **5.4.2.1 Vías**

- Caída de objetos metálicos: el contacto de los neumáticos con partes metálicas desprendidas de los equipos mineros que transitan por las vías de acarreo de estéril causa diferentes tipos de corte.
- Presencia de rocas: al ser espichadas por las llantas pueden causar cortes dependiendo de su tamaño, forma y composición. La severidad del daño causado por una roca depende también si el camión va cargado o no.

**Figura 32.** Diagrama causa-efecto para Corte en banda de rodamiento



#### 5.4.2.2 Llantas

- Baja resistencia a altos TKPH: al someter las llantas a recorridos para los que no han sido diseñadas se presenta la oportunidad a fallas por el recaetamiento del neumático, haciendo la banda más vulnerable a ser penetrada por pérdida de dureza.
- Baja resistencia a corte: por diseño las llantas de los camiones en cerrejón son muy poco resistentes a cortes, lo que implica un mayor cuidado pues ante contacto con superficies puntiagudas es muy probable el daño.

#### 5.4.2.3 Operador del camión

- Frenar con la berma en botadero: al frenar con la berma en los botaderos se ponen en riesgo las llantas traseras por contacto con las rocas y por la alta

presión que estas van a soportar en ese momento en que la tolva se levante y casi todo el peso en ese instante lo soporten ellas.

- Montarse al talud en área de pala: riesgo de corte de las llantas traseras por contacto directo con las rocas.
- Malos hábitos de conducción: el no esquivar las rocas y elementos metálicos que se encuentren en las vías.

#### **5.4.2.4 Operador de pala**

- Cargar camión sobre talud tendido: al encontrarse el talud tendido es probable que las llantas del camión se encuentren encima o muy cerca de rocas, que al momento de ser cargado van a aumentar mucho más la probabilidad de corte pues la llanta va a estar sometida a mayor presión lo que la hace más vulnerable.
- No dirigir el aculatamiento del camión: sin el aviso del operador de la pala al momento de retroceder se tiene el riesgo de que las llantas traseras tengan contacto con las rocas que sean las que lo detengan provocando así el corte de la banda.

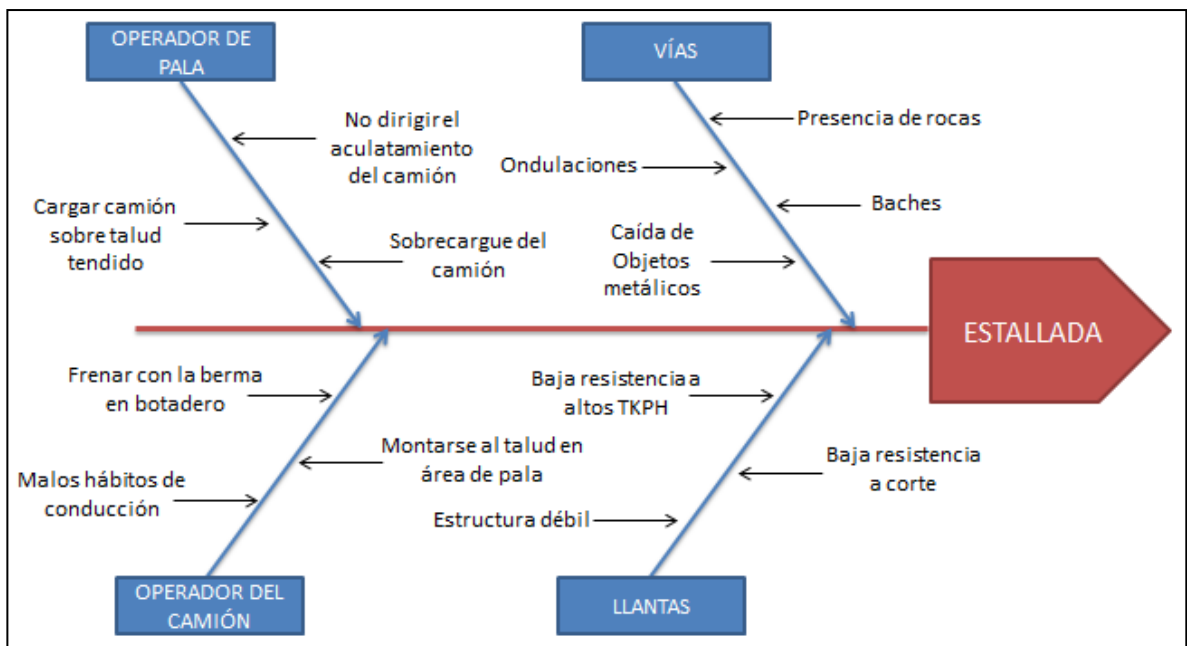
### **5.4.3 Estallada (ESTC)**

#### **5.4.3.1 Vías**

- Presencia de rocas: el contacto con una roca cuando la llanta tiene sobrepresión ya sea por sobrecargue del equipo o por exceso en el inflado tiene una alta probabilidad de estallido.
- Ondulaciones: las constantes deformaciones en las llantas tienen como producto un aumento importante en la presión interna de la llanta que si se encuentra debilitada puede estallarse.
- Baches: ejercen una gran presión interna en la llanta que si se encuentra con su estructura débil acaba estallándose.

- Caída de objetos metálicos: cuando una llanta tiene contacto con partes metálicas de un equipo minero y estas cortan profundamente afectando la carcasa provocan un debilitamiento de la estructura que sumado a la presión interna de la llanta la estallan.

**Figura 33.** Diagrama causa-efecto para Estallada



### 5.4.3.2 Llantas

- Estructura débil: debido a cortes, altos TKPH, presión de inflado, falla de reparación y sobrecarga del camión.
- Baja resistencia a altos TKPH: los largos recorridos que exceden la capacidad para la cual fue diseñada la llanta acaban debilitando la estructura de la misma.
- Baja resistencia a corte: por diseño las llantas de los camiones en cerrejón son muy poco resistentes a cortes, lo que implica un mayor cuidado pues ante contacto con superficies filosas es muy probable el daño.

#### **5.4.3.3 Operador del camión**

- Frenar con la berma en botadero: un impacto de las llantas directamente con las rocas de la berma sumado a que se tiene el camión cargado y por ende las llantas están sometidas a grandes presiones puede estallar las llantas.
- Montarse al talud en área de pala: riesgo de estallido de llantas al cargar el camión y este se encuentre encima de rocas.
- Malos hábitos de conducción: el no esquivar las rocas y elementos metálicos presentes en la vía pueden tener como consecuencia un estallido de las llantas.

#### **5.4.3.4 Operador de pala**

- Sobrecargue del camión: al igual que un exceso en el inflado de las llantas el sobrecargue de este somete a la llanta a altas presiones que acaban estallándola si se encuentra debilitada en su estructura.
- Cargar camión sobre talud tendido: el contacto de las llantas con rocas sumado al aumento de presión de estas al incrementar el peso soportado por cargue posibilitan el riesgo a un estallido.
- No dirigir el acuatamiento del camión: permite que se pueda presentar un impacto de las llantas traseras del camión con las rocas que se encuentran en el talud teniendo como resultado un posible estallido.

### **5.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Con base en el diagnóstico anterior se pudo identificar que existe una relación entre la condición de las vías de acarreo de estéril con el rendimiento que tienen las llantas que transitan por ellas, mediante los análisis de Pareto y Causa-efecto se lograron priorizar los daños que más sacan de servicio las llantas y realizar un estudio detallado de estos para poder plantear una estrategia que minimice las causas más relevantes.

Entre las causas de daño encontradas podemos citar: rocas esparcidas en la superficie de rodadura, baches, ondulaciones, partes metálicas desprendidas de equipos mineros, incumplimiento de procedimientos tanto del operador de la pala como del camión, grandes recorridos que exceden la capacidad de diseño de las llantas, entre otros.

La cantidad de equipos mineros que recorren las vías de acarreo, si solo se cuentan los camiones de acarreo de estéril son más de 230 equipos, y la gran extensión de la mina representan un problema para los supervisores que actualmente realizan las programaciones de arreglos y mantenimiento de las vías por criterio de observación, lo que supone no atender en muchos casos los tramos de vía que están afectando más a las llantas por no ser avistados por el supervisor. En el caso de caída de rocas que se presentan en el área de cargue y botaderos se tiene establecido un procedimiento de limpieza y autorización de cargue/descargue de camión, para el caso de partes metálicas se ha establecido una política de premios para toda persona que los reporte, pero para identificar baches y ondulaciones que son una causa muy importante de daño que aparecen en cualquier momento y parte de las vías solo se cuenta con el criterio de la observación del supervisor, por ello la importancia de contar con una herramienta de telemetría<sup>12</sup> que apoye la supervisión.

---

<sup>12</sup> “Telemetría: tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema”. Wikipedia. “Telemetría”. [Diciembre 2014]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Telemetr%C3%ADa>

## 6. ANÁLISIS

Se realizó el análisis de varianza, ANOVA (Información de Ene-Oct), para determinar la relación entre factores que podrían afectar el rendimiento de las llantas como: tipo de daño, el tipo de llanta, posición de la llanta y tajo (ubicación en la mina). Se diseñaron Anovas de una y dos vías, en los cuales se probaron ciertas hipótesis y en algunos casos donde se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, estas se estimaron mediante el Test de Tukey.

### 6.1 ANÁLISIS DE VARIANZA DE TIPO DE LLANTAS

ANOVA de una vía, los tratamientos del factor son los tres tipos de llanta de los camiones: C190, C240 y C320. La variable respuesta es el rendimiento de las llantas en kilómetros recorridos. Número de observaciones por cada tratamiento  $n=180$ . La tabla de datos se puede observar en el Anexo C.

**Figura 34.** ANOVA Tipo de llantas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos (Tipos de llanta)	68131110978	2	34065555489	93,7716788	1,17709E-35	3,012506728
Dentro de los grupos	1,95082E+11	537	363281919,6			
Total	2,63214E+11	539				

Hipótesis tipo de llantas

Ho:  $\mu_{C190} = \mu_{C240} = \mu_{C320}$   
 Ha:  $\mu_{C190} \neq \mu_{C240} \neq \mu_{C320}$

$F_{c[\alpha; K-1; N-K]} = [0,05; 2; 537] = 3,01$

Regla de decisión si  $\alpha=0,05$

Como  $F=93,77 \geq F_c=3,069$  entonces se rechaza Ho y se concluye que existen diferencias significativas entre los rendimientos de las llantas de los 3 tipos de camiones.

Acepto Ho Sí valor  $F < F_c$   
 Rechazo Ho Sí valor  $F \geq F_c$

Como se puede observar en la Figura 34, la hipótesis nula de que el rendimiento promedio de los tres tipos de llantas de los camiones es el mismo es rechazada, lo

que quiere decir que hay diferencias significativas entre los rendimientos, las cuales se estiman mediante el test de Tukey de la Tabla 5 para luego encontrar las medias que son significativamente diferentes entre sí.

**Tabla 5.** Test de Tukey de ANOVA de Tipo de llantas

TEST DE TUKEY		C190	C240	C320
		101401,6752	79610,50656	75958,9955
C190	101401,6752	-----	21791,16867	25442,67972
C240	79610,50656	-----	-----	3651,511056
C320	75958,9955	-----	-----	-----

$$W = q_{\alpha}[K; N-K] * (MCD/n)^{1/2}$$

$$W = q_{0,05}[3; 540-3] * (363281919,572376/180)^{1/2}$$

$$W = (3,31) * (1420,645236)$$

$$W = 4702,335731$$

Luego de hallar el estadístico W, se compara con las diferencias de medias encontradas en la matriz, si al compararlas estas son mayores que W entonces hay diferencias significativas en ese par de medias.

- 21791,17 > W, Hay diferencias significativas entre los promedios de rendimiento de las llantas de los camiones 190 y 240.
- 25442,68 > W, Hay diferencias significativas entre los promedios de rendimiento de las llantas de los camiones 190 y 320.
- 3651,51 < W, No hay diferencias significativas entre los promedios de rendimiento de las llantas de los camiones 240 y 320.

Como conclusión tenemos que las llantas tipo C190 tienen un rendimiento mayor de manera significativa sobre las de tipo C240 y C320, mientras que entre las C240 y C320 se puede concluir que el rendimiento es el mismo y menor que las

C190. Es decir las llantas C240 y C320 requieren mayor atención para aumentar su rendimiento.

## 6.2 ANÁLISIS DE VARIANZA DE TIPOS DE LLANTAS VS TIPOS DE DAÑOS REPRESENTATIVOS

ANOVA de dos vías, factor A: tipos de llantas (C240 y C320), factor B: tipos de daños representativos (Obtenidos de Pareto), variable respuesta: rendimiento de las llantas en kilómetros, número de réplicas por combinación: 20. La tabla de datos se puede observar en el Anexo D.

**Figura 35.** ANOVA Tipos de llantas Vs Tipos de daños representativos

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	363770913,2	1	363770913,2	2,11538295	0,14857337	3,924330485
Columnas	15950630254	2	7975315127	46,3776653	1,8304E-15	3,075852636
Interacción	1784337005	2	892168502,4	5,18809496	0,00697515	3,075852636
Dentro del grupo	19603960631	114	171964566,9			
Total	37702698802	119				

Hipótesis tipo llantas (Filas)

Hipótesis tipo daño (Columnas)

Hipótesis interacción

Ho=No hay efecto

Ho=No hay efecto

Ho=No hay efecto

Ha=Si hay efecto

Ha=Si hay efecto

Ha=Si hay efecto

Regla de decisión si  $\alpha=0,05$

Regla de decisión si  $\alpha=0,05$

Regla de decisión si  $\alpha=0,05$

Acepto Ho Si valor  $F < F_c$

Acepto Ho Si valor  $F < F_c$

Acepto Ho Si valor  $F < F_c$

Rechazo Ho Si valor  $F \geq F_c$

Rechazo Ho Si valor  $F \geq F_c$

Rechazo Ho Si valor  $F \geq F_c$

$F_c[\alpha; a-1; ab(n-1)] = [0,05; 1; 114] = 3,92$

$F_c[\alpha; b-1; ab(n-1)] = [0,05; 2; 114] = 3,07$

$F_c[\alpha; (a-1)(b-1); ab(n-1)] = [0,05; 2; 114] = 3,07$

$F=2,11 < F_c=3,92$ , se acepta Ho y se concluye que no hay efectos significativos de los tipos de llantas sobre el rendimiento (km) de las mismas.

$F=46,37 \geq F_c=3,07$ , se rechaza Ho y se concluye que si hay efecto significativo de los tipos de daños sobre el rendimiento (km) de las llantas.

$F=5,18 \geq F_c=3,07$ , se rechaza Ho y se concluye que si existen efectos significativos entre la interacción tipo de llanta-tipo de daño sobre el nivel de rendimiento de las llantas.

En el ANOVA de la Figura 35 con un nivel de confianza del 95%: se ratifica la hipótesis de que el tipo de llantas (C240 y C320) tienen el mismo rendimiento, conclusión del Test de Tukey del ANOVA de tipo de llantas de la tabla 5, pues no presentan diferencias significativas; se concluye que el rendimiento de las llantas se ve afectado por los tipos de daños representativos asociados a la condición de las vías, al igual que la interacción tipo de llanta-tipo de daño tiene efectos significativos sobre el rendimiento de las llantas.

El tipo de daño con el rendimiento promedio más bajo de los tres fue Separación Por Corte (SPCO) con 38871.9 km, aproximadamente 18000 km menos que Corte en la Banda de Rodamiento (CBRO) que obtuvo el segundo lugar con 56384.7 km. La interacción entre el tipo de llanta C320 y el tipo de daño SPCO presenta el rendimiento más bajo con 35845.9 km, seguido de la interacción C240-SPCO con 41897.8 km.

### 6.3 ANÁLISIS DE VARIANZA DE TIPOS DE DAÑOS VS TIPOS DE LLANTAS

**Figura 36.** ANOVA de Tipos de daños Vs Tipos de llantas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas (Tipos de llantas)	10722,33333	2	5361,166667	1,397532259	0,27965624	3,738891832
Columnas (Tipos de daño)	205449,1667	7	29349,88095	7,650835718	0,000674518	2,764199257
Error	53706,33333	14	3836,166667			
Total	269877,8333	23				

Planteamiento de Hipótesis tipos de daño

Ho:  $\mu_{SPCO} = \mu_{CBRO} = \dots = \mu_{SPCA}$   
 Ha:  $\mu_{SPCO} \neq \mu_{CBRO} \neq \dots \neq \mu_{SPCA}$

Regla de decisión si  $\alpha=0,05$

Sí  $F < F_c$  Acepto Ho  
 Sí  $F \geq F_c$  Rechazo Ho

$F=7,65 \geq F_c=2,76$  Por lo tanto se rechaza Ho y se concluye que después de aislar, bloquear o eliminar la variabilidad producto de los tres tipos de llantas de camión, se tienen diferencias significativas entre la cantidad promedio de llantas desechadas de los 8 tipos de daños causados por las vías.

Planteamiento de Hipótesis tipos de llanta

Ho:  $\mu_{C190} = \mu_{C240} = \mu_{C320}$   
 Ha:  $\mu_{C190} \neq \mu_{C240} \neq \mu_{C320}$

Regla de decisión si  $\alpha=0,05$

Sí  $F < F_c$  Acepto Ho  
 Sí  $F \geq F_c$  Rechazo Ho

$F=1,39 < F_c=3,74$  Por lo tanto se acepta Ho y se concluye que no existen diferencias significativas entre la cantidad promedio de llantas desechadas de los tres tipos de llanta de camión.

ANOVA de dos vías, tratamientos: tipos de daños, bloques: tipos de llantas, variable respuesta: cantidad de llantas desechadas, número de observaciones por tratamiento n=3. La tabla de datos se puede observar en el Anexo E.

En el ANOVA de la Figura 36 con un nivel de confianza del 95% se concluye que: la cantidad promedio de llantas desechadas no dependen de los tres tipos de llantas, pero si dependen de los tipos de daños causados por las condiciones de las vías. Para calcular cual o cuales tipos de daños son los más relevantes se realizó el test de Tukey presentado en la tabla 6.

**Tabla 6.** Test de Tukey de ANOVA de Tipo de daños Vs Tipo de llantas

TEST DE TUKEY		SPCO	ESTC	DEST	CBRO	IMP	CHOM	CCOS	SPCA
		298,67	36,33	32,33	28	23,33	13,67	10,67	1,67
SPCO	298,67	---	262,33	266,33	270,67	275,33	285	288	297
ESTC	36,33	---	---	4	8,33	13	22,67	25,67	34,67
DEST	32,33	---	---	---	4,33	9	18,67	21,67	30,67
CBRO	28	---	---	---	---	4,67	14,33	17,33	26,33
IMP	23,33	---	---	---	---	---	9,67	12,67	21,67
CHOM	13,67	---	---	---	---	---	---	3	12
CCOS	10,67	---	---	---	---	---	---	---	9
SPCA	1,67	---	---	---	---	---	---	---	

$$W = q_{\alpha}[K; (K-1)(n-1)] * (MCD/n)^{1/2}$$

$$W = q_{0,05}[8; (8-1)(3-1)] * (3836,16667/3)^{1/2}$$

$$W = q_{0,05}[8; (7)(2)] * (35,7592257)$$

$$W = q_{0,05}[8; 14] * (35,7592257)$$

$$W = (4,99) * (35,7592257)$$

$$W = 178,438536$$

Luego de hallar el estadístico W, se compara con las diferencias de medias encontradas en la matriz, si al compararlas estas son mayores que W entonces hay diferencias significativas en ese par de medias.

Al comparar  $W$  con las diferencias de medias de la matriz se encuentra que Separación Por Corte (SPCO) presenta diferencias significativas entre la cantidad promedio de llantas desechadas con los otros siete (7) tipos de daño, lo que quiere decir que SPCO es el tipo de daño más relevante, al cual se le debe prestar mayor atención.

## 6.4 ANÁLISIS DE VARIANZA DE TIPOS DE DAÑOS VS TAJOS

ANOVA de dos vías, tratamientos: tipos de daños, bloques: tajos (ubicación en la mina), variable respuesta: cantidad de llantas desechadas, número de observaciones por tratamiento  $n=6$ . La tabla de datos se puede observar en el Anexo F.

**Figura 37.** ANOVA de Tipos de daños Vs Tajos

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas (Tajos)	29403,6875	5	5880,7375	2,801705189	0,031327043	2,485143221
Columnas (Tipos de daño)	94387,64583	7	13483,9494	6,424032873	6,75944E-05	2,285235173
Error	73464,47917	35	2098,985119			
Total	197255,8125	47				

Planteamiento de Hipótesis tipos de daño

Ho:  $\mu_{SPCO} = \mu_{CBRO} = \dots = \mu_{SPCA}$   
 Ha:  $\mu_{SPCO} \neq \mu_{CBRO} \neq \dots \neq \mu_{SPCA}$

Regla de decisión si  $\alpha=0,05$

Sí  $F < F_c$  Acepto Ho  
 Sí  $F \geq F_c$  Rechazo Ho

$F=6,42 \geq F_c=2,28$  Por lo tanto se rechaza Ho y se concluye que después de bloquear, aislar o eliminar la variabilidad producto de la ubicación (tajos) en donde ocurrió el daño, se tienen diferencias significativas entre la cantidad de llantas desechadas promedio de los 8 tipos de daño asociados a la condición de las vías.

Planteamiento de Hipótesis ubicación (tajo)

Ho:  $\mu_{TAB} = \mu_{PUE} = \dots = \mu_{COM}$   
 Ha:  $\mu_{TAB} \neq \mu_{PUE} \neq \dots \neq \mu_{COM}$

Regla de decisión si  $\alpha=0,05$

Sí  $F < F_c$  Acepto Ho  
 Sí  $F \geq F_c$  Rechazo Ho

$F=2,80 \geq F_c=2,48$  Por lo tanto se rechaza Ho y se concluye que si existen diferencias significativas en la cantidad promedio de llantas desechadas dependiendo de la ubicación (tajo).

En el ANOVA de la Figura 37 con un nivel de confianza del 95% se concluye que: la cantidad de llantas desechadas depende de los tipos de daños asociados a la condición de las vías, al igual que también dependen del tajo donde se encontraban rodando. Siendo el tajo Tabaco con una cantidad promedio de 75 llantas desechadas y el tajo Oreganal con una cantidad promedio de 4 llantas desechadas, el de mayor y de menor impacto respectivamente. En conclusión los tajos de la zona norte (Tabaco y La Puente) presentaron una cantidad promedio de llantas desechadas de 58 mientras que los tajos de la zona centro sur (Patilla, Comuneros, Tajo 100 y Oreganal) presentaron un promedio de 11 llantas desechadas.

Para estimar el tipo o los tipos de daños significativos se realizó el test de Tukey que se presenta en la tabla 7.

**Tabla 7.** Test de Tukey de ANOVA de Tipos de daño Vs Tajos

TEST DE TUKEY		SPCO	ESTC	DEST	CBRO	IMP	CHOM	CCOS	SPCA
		143	18	15,5	13,17	11,5	6	4,5	0,83
SPCO	143	---	125	127,5	129,83	131,5	137	138,5	142,17
ESTC	18	---	---	2,5	4,83	6,5	12	13,5	17,17
DEST	15,5	---	---	---	2,33	4	9,5	11	14,67
CBRO	13,17	---	---	---	---	1,67	7,17	8,67	12,34
IMP	11,5	---	---	---	---	---	5,5	7	10,67
CHOM	6	---	---	---	---	---	---	1,5	5,17
CCOS	4,5	---	---	---	---	---	---	---	3,67
SPCA	0,83	---	---	---	---	---	---	---	---

$$W=q\alpha[K;(K-1)(n-1)]*(MCD/n)^{1/2}$$

$$W=q_{0,05}[8;(8-1)(6-1)]*(2098,98512/6)^{1/2}$$

$$W=q_{0,05}[8;(7)(5)]*(18,7037657)$$

$$W=q_{0,05}[8;35]*(18,7037657)$$

$$W=(4,56)*(18,7037657)$$

$$W=85,2891718$$

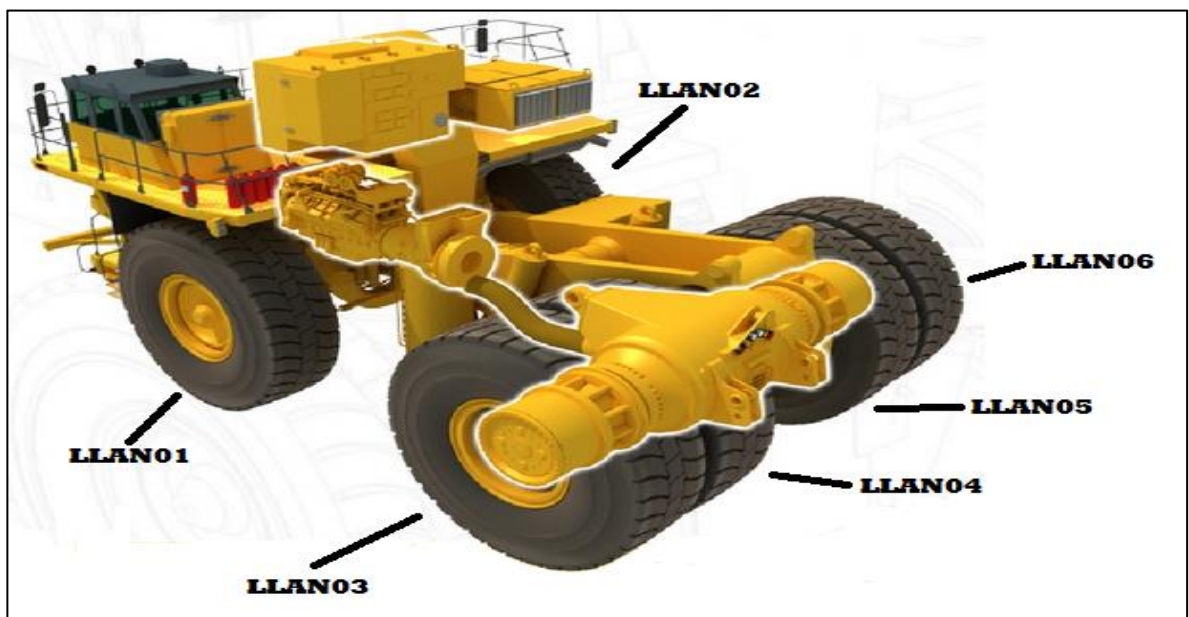
Luego de hallar el estadístico  $W$ , se compara con las diferencias de medias encontradas en la matriz, si al compararlas estas son mayores que  $W$  entonces hay diferencias significativas en ese par de medias.

Luego de comparar  $W$  con las diferencias de medias calculadas en la matriz se tiene que Separación Por Corte (SPCO) presenta diferencias significativas en la cantidad promedio de llantas desechadas con los otros siete (7) tipos de daño, por ende SPCO es el tipo de daño al cual se le debe prestar mayor atención.

## 6.5 ANÁLISIS DE VARIANZA DE TIPOS DE DAÑOS VS POSICIÓN DE LAS LLANTAS

ANOVA de dos vías, tratamientos: tipos de daños, bloques: posición de las llantas (Ver Figura 38), variable respuesta: cantidad de llantas desechadas, número de observaciones por tratamiento  $n=5$ . La tabla de datos se puede observar en el Anexo G.

**Figura 38.** Posición de las llantas de un camión minero en Cerrejón



**Figura 39.** ANOVA de Tipos de daños Vs Posición de las llantas

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas (Posición llantas)	14428,9	4	3607,225	2,266989125	0,087122002	2,714075804
Columnas (Tipos de daño)	123308,375	7	17615,48214	11,07058929	1,25033E-06	2,359259854
Error	44553,5	28	1591,196429			
Total	182290,775	39				

Planteamiento de Hipótesis tipos de daño

Ho:  $\mu_{SPCO} = \mu_{CBRO} = \dots = \mu_{SPCA}$   
 Ha:  $\mu_{SPCO} \neq \mu_{CBRO} \neq \dots \neq \mu_{SPCA}$

Regla de decisión si  $\alpha=0,05$

Sí  $F < F_c$  Acepto Ho  
 Sí  $F \geq F_c$  Rechazo Ho

$F=11,07 \geq F_c=2,35$  Por lo tanto se rechaza Ho y se concluye que después de bloquear, aislar o eliminar la variabilidad producto de la posición de las llantas, se tienen diferencias significativas entre la cantidad de llantas desechadas promedio de los 8 tipos de daño asociados a la condición de las vías.

Planteamiento de Hipótesis posición de las llantas

Ho:  $\mu_{LLAN01} = \mu_{LLAN03} = \dots = \mu_{LLAN06}$   
 Ha:  $\mu_{LLAN01} \neq \mu_{LLAN03} \neq \dots \neq \mu_{LLAN06}$

Regla de decisión si  $\alpha=0,05$

Sí  $F < F_c$  Acepto Ho  
 Sí  $F \geq F_c$  Rechazo Ho

$F=2,26 < F_c=2,71$  Por lo tanto se acepta Ho y se concluye que no existen diferencias significativas entre la cantidad promedio de llantas desechadas de las 5 posiciones en que se pueden encontrar las llantas.

En el ANOVA de la figura 39 con un nivel de confianza del 95% se concluye que: la cantidad de llantas desechadas no depende de la posición en que se encuentren la llantas, pero si depende de los tipos de daño causados por la condición de las vías. A continuación se relaciona la tabla 8 donde se realizó el test de Tukey para estimar el tipo o los tipos de daños que más saca llantas de operación.

**Tabla 8.** Test de Tukey de ANOVA de Tipo de daño Vs Posición de la llanta

TEST DE TUKEY	SPCO	ESTC	DEST	CBRO	IMP	CHOM	CCOS	SPCA	
	179,2	21,8	19,4	16,8	13,8	8,2	6,4	1	
SPCO	179,2	---	157,4	159,8	162,4	165,4	171	172,8	178,2
ESTC	21,8	---	---	2,4	5	8	13,6	15,4	20,8
DEST	19,4	---	---	---	2,6	5,6	11,2	13	18,4
CBRO	16,8	---	---	---	---	3	8,6	10,4	15,8
IMP	13,8	---	---	---	---	---	5,6	7,4	12,8
CHOM	8,2	---	---	---	---	---	---	1,8	7,2
CCOS	6,4	---	---	---	---	---	---	---	5,4
SPCA	1	---	---	---	---	---	---	---	---

$$W=q\alpha[K;(K-1)(n-1)]*(MCD/n)^{1/2}$$

$$W=q0,05[8;(8-1)(5-1)]*(1591,19643/5)^{1/2}$$

$$W=q0,05[8;(7)(4)]*(17,8392625)$$

$$W=q0,05[8;28]*(17,8392625)$$

$$W=(4,63)*(17,8392625)$$

$$W=82,5957853$$

Luego de hallar el estadístico W, se compara con las diferencias de medias encontradas en la matriz, si al compararlas estas son mayores que W entonces hay diferencias significativas en ese par de medias.

Después de comparar W con las diferencias de medias calculadas en la matriz se encuentra que Separación Por Corte (SPCO) presenta diferencias significativas en la cantidad promedio de llantas desechadas con los otros siete (7) tipos de daño, ratificando nuevamente al igual que en los resultados del test de Tukey de las tablas 6 y 7 que este es el tipo de daño que más saca llantas de la operación con una amplia diferencia significativa sobre los otros tipos de daño.

Como conclusión de los análisis realizados se pudo verificar que los tipos de llantas que requieren mayor atención dado su bajo rendimiento son las de los camiones de acarreo de estéril y que el tipo de daño que está afectando su rendimiento de manera significativa es Separación por corte, a su vez que los tajos del norte requieren de una mayor atención pues allí se presentaron la mayor cantidad de daños que sacaron las llantas de servicio, siendo otra vez Separación por corte el daño predominante.

Teniendo claro que Separación por corte es el daño que más está afectando el rendimiento de las llantas y que su causa principal de daño son los baches y ondulaciones, la estrategia a plantear se centrara en la identificación de estas imperfecciones en las vías.

## 7. INVESTIGACIÓN Y PREPARACIÓN

### 7.1 HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS DE LA ORGANIZACIÓN

Después de hacer un barrido por los departamentos de producción y mantenimiento con los analistas de las flotas de acarreo tanto de camiones eléctricos como de mecánicos en busca de herramientas informáticas que pudieran ser útiles para plantear la estrategia del análisis de condición de vías, específicamente que permitieran por telemetría identificar baches y ondulaciones, se encontraron las siguientes:

**7.1.1 Tableros Dinámicos de Producción** Proporcionan información de cada camión de acarreo indicando información como: la hora, la ruta, el operador, volumen, entre otros. Son alimentados por la base de datos PowerView.

**7.1.2 Sistema Dispatch®** Sistema utilizado por el despacho de camiones del departamento de producción que permite observar la posición de los equipos mineros por GPS en tiempo real, monitorear el estado del equipo, calcular los ciclos de los equipos en las diferentes rutas, guardar información de las transacciones realizadas por los equipos para luego generar reportes, entre otras.

**7.1.3 MineCare** Es un sistema de información que procesa y analiza los datos de los sensores de los camiones 190, 240 y 320 toneladas para el departamento de mantenimiento. Mediante este sistema se puede obtener información como: niveles de aceite del motor, nivel de combustible, presión de las suspensiones, velocidad, distancia recorrida, peso transportado, etc.

**7.1.4 SAP Business Objects** Reportador que permite interactuar con la gran mayoría de las bases de datos que maneja la compañía. Además permite hacer consultas, análisis, integración con Microsoft Office y Share Point.

## **7.2 SOLUCIONES TECNOLÓGICAS DE ESTADO DE VÍAS EN EL SECTOR MINERO**

La empresa Caterpillar, el fabricante más grande del mundo de maquinaria pesada, ha desarrollado un producto informático que permite el monitoreo del estado de las vías de acarreo llamado RAC, dicho producto es opcional para los clientes de camiones mineros CAT que deseen integrarlo al Sistema de Administración de Información Vital (VIMS) que estos equipos poseen. A continuación se describe que es RAC.

### **7.2.1 Control de análisis de los caminos**

“El control de análisis de los caminos (RAC, Road Analysis Control) es un producto de información que permite que los clientes supervisen las condiciones del camino de acarreo y mejoren el rendimiento, la productividad y seguridad de los grandes camiones mineros mientras reducen los costos de reparación y mantenimiento, y el tiempo de inactividad. Al estar integrado con el Sistema de Administración de Información Vital (VIMS®), RAC proporciona retroalimentación en tiempo real para el operador acerca de las condiciones del camino de acarreo, las cuales son fundamentales para los tiempos de ciclo y los componentes del tren de fuerza, el bastidor y la suspensión, además de los neumáticos.

Mediante el centro de mensajes de VIMS, dos niveles de eventos de RAC alertan al operador sobre lugares en el camino de acarreo que requieren de atención, desde el punto de vista de la operación del camión y del equipo de soporte. El operador debe reducir la velocidad o evitar las áreas que provocan los eventos; además, se debería asignar un equipo de soporte para solucionar las áreas problemáticas. Cuando se usa con un sistema de telemetría, como VIMS inalámbrico de Caterpillar, esta información puede transmitirse en tiempo casi real a la supervisión o administración de la mina en la oficina para tomar medidas

inmediatas. VIMS también registra información RAC de los datos de deformación y paso de cada ciclo, y crea una medición de resumen denominada Análisis de carga equivalente a fatiga (FELA, Fatigue Equivalent Load Analysis), el cual permite a la administración que haga seguimiento de las condiciones del camino graves y de referencia. Al usar los mismos sensores que determinan el peso de la carga útil y los tiempos de ciclo, RAC mide la deformación y el paso del bastidor diez veces por segundo. La deformación es el doblado lateral del bastidor debido a carga desigual en los neumáticos diagonales. Por ejemplo, un camión completamente cargado con el neumático delantero izquierdo metido en un bache y el neumático trasero derecho en una inclinación genera fuerzas excesivas en el bastidor. El paso es la fuerza sobre el bastidor desde la parte delantera hacia la trasera, que ocurre cuando el camión cruza un bache o surco perpendicular a la línea de desplazamiento, con frenado duro o giros bruscos. RAC mide estos valores y los envía casi instantáneamente al módulo VIMS a bordo, el cual calcula eventos y tendencias. Desde ahí, se muestra mediciones extremas al operador y toda la información se registra para descargarla con el software VIMSpC.

Al monitorear estos datos, las minas podrán identificar y tratar las secciones del camino de acarreo que afectan los tiempos de ciclo y la vida útil de los componentes. Los resultados son caminos de acarreo mantenidos correctamente, lo que significa condiciones de funcionamiento más seguras, menos desgaste mecánico, menos estrés físico y mejor comodidad para el operador, menos consumo de combustible, menos costos de neumáticos por peligros en el camino, costos de operación de la suspensión y los componentes y más tiempo de disponibilidad. RAC no es tan solo una función añadida a VIMS. RAC está diseñado para ayudar a que todos los usuarios de camiones mineros grandes Cat deriven más valor de su experiencia de posesión y operación.”<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> CATERPILLAR. “Control de Análisis de los Caminos”. [Diciembre 2014]. Disponible en: [http://www.cat.com/es\\_US/support/operations/technology/fleet-management-solutions/road-analysis-control.html](http://www.cat.com/es_US/support/operations/technology/fleet-management-solutions/road-analysis-control.html)

Actualmente la empresa no cuenta con la disponibilidad de recursos para realizar la compra del módulo RAC de Caterpillar, por lo cual se desarrollará una estrategia que supla y realice los mismos análisis con las herramientas informáticas que tiene a la fecha.

### **7.2.2 Módulo Rack-Vims para Camiones CAT**

La multinacional Modular Mining Systems desarrolló para Carbones del Cerrejón en el año 2007 una integración del RAC de Caterpillar con su Sistema Dispatch® llamada “Módulo Rack-Vims para camiones CAT”, esto con el objeto de automatizar el proceso de análisis de la condición de las vías que antes se debía hacer de forma presencial en cada camión, para permitir la transmisión de datos de forma remota, es decir por telemetría. Mediante un par de módulos RAC que la empresa Caterpillar había regalado a Cerrejón para que los probara y que se habían instalado en algunos camiones 240T, se extraería la información al sistema Dispatch la cual ya vendría procesada y luego de ser clasificada según ciertos rangos se procedería a graficar en el Pit Graphics<sup>14</sup>.

Dicho módulo no fue sostenible en el tiempo pues el tráfico de datos que manejaba ponía lento el servidor del despacho de camiones, razón por la cual se dejó de utilizar.

---

<sup>14</sup> Mapa de la mina de carbones del Cerrejón disponible en el sistema Dispatch.

## 8. ESTRATEGIA DE ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE VÍAS

Antes de comenzar a plantear la estrategia de análisis de la condición de las vías para identificar los baches y ondulaciones, es necesario explicar los elementos que se extrajeron de las metodologías estudiadas, los cuales permitirán el óptimo desarrollo de la estrategia propuesta.

El parámetro RACK, tomado del RAC, permite realizar el proceso de monitoreo del estado de las vías en cuanto a defectos que causen torsión al chasis, baches y/o ondulaciones, y que sobrecargan los componentes del equipo. Es calculado mediante la lectura de la presión de suspensiones de los 4 puntos de apoyo del camión.

Definimos RACK al valor calculado mediante la siguiente expresión:

$$\text{RACK} = (\text{RF} + \text{LR}) - (\text{LF} + \text{RR})$$

Donde:

RF: Presión de la suspensión delantera derecha.

LR: Presión de la suspensión trasera izquierda.

LF: Presión de la suspensión delantera izquierda.

RR: Presión de la suspensión trasera derecha. (Ver Figura 40)

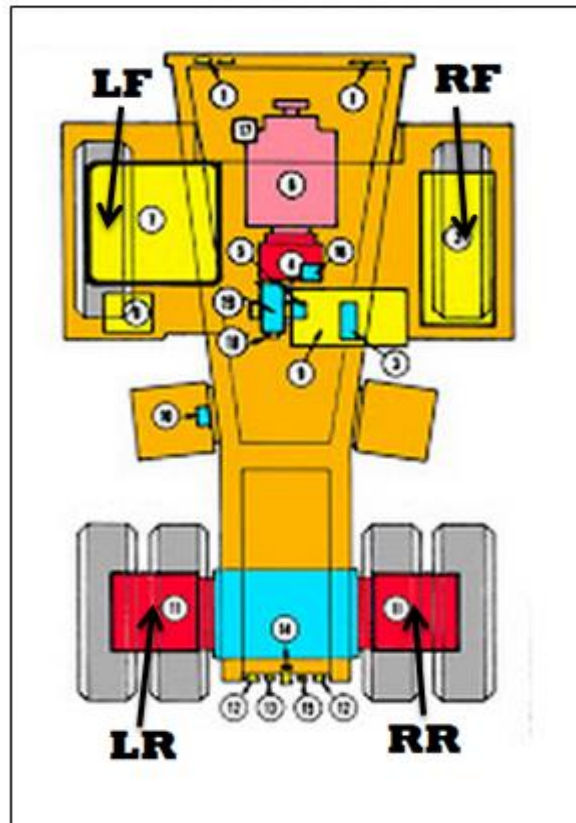
De la metodología del Módulo Rack-Vims de Dispatch se extrajo la información numérica de los canales de la interfase VIMS de los camiones a los cuales se les solicita la consulta de manera remota:

- ✓ Presión de las suspensiones: 720(LF), 721(LR), 722(RF) ,723(RR).
- ✓ Velocidad “*Ground Speed*” (GS): 725.

- ✓ Tonelaje “*Payload*” (PL): 728.
- ✓ Distancia “*Haul Distance*” (HD): 730.

También de la metodología del Módulo Rack-Vims se tomó la forma en que se presentan los eventos graficados en el mapa de la mina, lo que permite a los supervisores encargados del mantenimiento de las vías identificar de manera rápida y confiable los puntos de falla y programar de manera óptima los recursos para realizar el mejoramiento de las vías.

**Figura 40.** Posición de las suspensiones en camiones mineros



Después de revisar la metodología de las soluciones tecnológicas para el monitoreo del estado de las vías, el desarrollo de Caterpillar y el de Modular Mining Systems, y de comparar el tipo de información que era necesaria para

llevar a cabo de la mejor manera la estrategia que permite identificar las imperfecciones en las vías, se decidió trabajar con el sistema de información del departamento de mantenimiento MineCare.

Este sistema de información, MineCare, permite la captura de información por telemetría de una manera automática, presenta una conectividad de casi el 100% de la flota de acarreo, tanto de camiones CAT 240T como de camiones Euclid Hitachi 320T, lo que representa una ventaja muy grande con respecto al módulo RAC de Caterpillar que debe estar instalado en cada camión para realizar el monitoreo. En la tabla 9 se presenta un comparativo de las dos soluciones tecnológicas del numeral 7.2 y de la estrategia planteada en este proyecto.

**Tabla 9.** Cuadro comparativo de soluciones tecnológicas para el análisis de vías de acarreo en minería

<b>RAC de Caterpillar</b>	<b>Módulo Rack-Vims de Dispatch</b>	<b>Estrategia Planteada en el Proyecto</b>
Captura de información directamente en el VIMS del camión.	Captura de información de forma remota a través de Dispatch.	Captura de información de forma remota a través de MineCare.
Requiere de personal que inicie y detenga la grabación de la información	Requiere de personal que inicie y detenga la grabación de la información.	Graba automáticamente la información solo cuando se cumplen ciertos parámetros.
No muestra el punto GPS del bache u ondulación detectado.	Arroja el punto GPS del bache u ondulación detectado.	Arroja el punto GPS del bache u ondulación detectado.
La descarga de datos es directa entre Computador y VIMS del camión. No se realiza por telemetría.	Alto tráfico de datos ya que graba segundo a segundo toda la información hasta que sea detenida manualmente por el analista.	Trafico muy bajo de datos ya que solo graba los eventos de manera automática cuando se cumplen los parámetros establecidos.
Conectividad limitada solo con los equipos que tienen instalado el módulo RAC.	Conectividad solo con los equipos mineros que tienen instalado el módulo RAC.	Conectividad con casi el 100% de la flota de acarreo.

## 8.1 PLANTEAMIENTO DE LA ESTRATEGIA

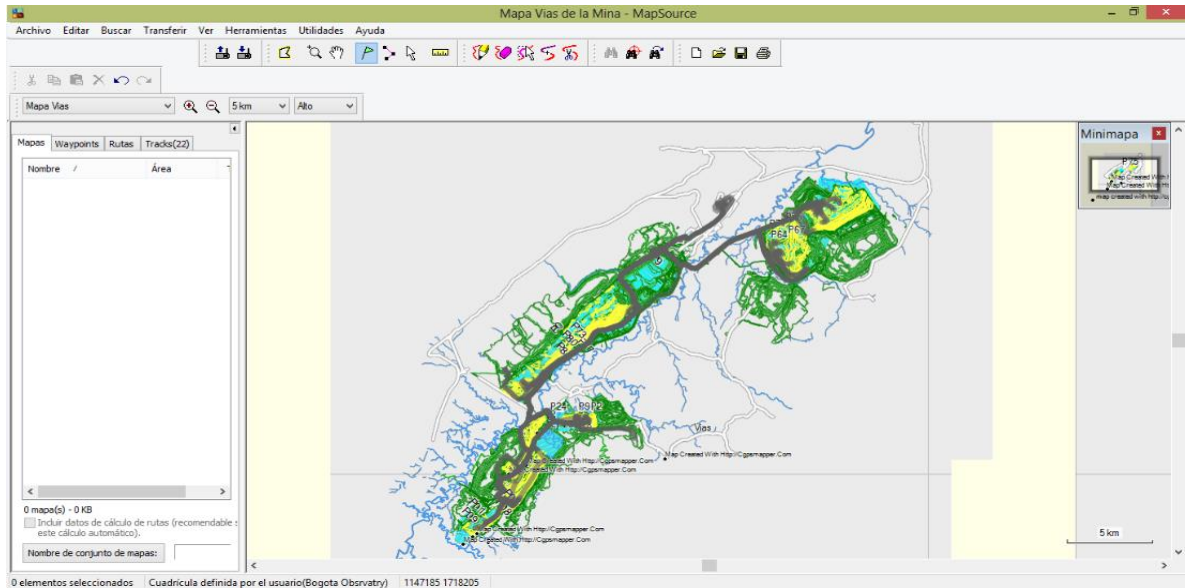
Teniendo claro que la estrategia se va a desarrollar siguiendo la metodología del parámetro RACK y que el sistema de información MineCare nos permite obtener gran parte de la información necesaria, en los siguientes numerales se plantea el paso a paso:

- a) Iniciar la recopilación de la información por medio del módulo Tendencias de MineCare, el cual permite asignar ciertos parámetros que serán monitoreados a los equipos mineros seleccionados y cuando estos se cumplan el sistema automáticamente grabará la información que se le solicite. Para este caso los parámetros asignados son:
  - ✓ Para camiones CAT 240T: Velocidad  $> 5\text{km/h}$  y Rack  $> \pm 8500\text{KPa}$ , en otras palabras la consulta se realiza por los siguientes canales a la interfase Vims así:  $725(\text{GS}) > 5\text{km/h}$  y  $[722(\text{RF})+721(\text{LR})]-[720(\text{LF})+723(\text{RR})] > \pm 8500\text{KPa}$
  - ✓ Para camiones Euclid Hitachi 320T: Velocidad  $> 5\text{km/h}$  y Rack  $> \pm 7000\text{KPa}$ , la consulta se realiza a la interfase Contronics así:  $\text{GS} > 5\text{km/h}$  y  $[\text{RF}+\text{LR}]-[\text{LF}+\text{RR}] > \pm 7000\text{KPa}$ .
  
- b) Definir que la información a grabar cuando se cumplan los parámetros sea: Presión de la suspensión delantera derecha (RF), Presión de la suspensión delantera izquierda (LF), Presión de la suspensión trasera derecha (RR), Presión de la suspensión trasera izquierda (LR), Velocidad (GS), Tonelaje (PL) y Distancia (HD). Por defecto el sistema de MineCare en su módulo Tendencias cada vez que graba un evento le asocia la ubicación por medio de coordenadas GPS y la fecha con la hora en la que ocurrió el evento.

- c) Solicitar a los analistas de MineCare extraer de su base de datos la información almacenada por el módulo Tendencias, esta información es entregada en un archivo de Excel, en donde se encuentra una tabla de datos con la información de la fecha y hora del evento, posición GPS, valor de las presiones de las suspensiones de los 4 puntos de apoyo, velocidad, tonelaje y distancia recorrida.
  
- d) Procesar el archivo de Excel convirtiendo la tabla de datos que nos entrega el módulo Tendencias por defecto en una tabla dinámica para poder asociar los valores de cada evento en una misma fila. Revisar que la velocidad, el tonelaje y la distancia recorrida arrojen valores congruentes. Luego con los valores de las presiones de las suspensiones desarrollar la fórmula del Rack ( $[RF+LR]-[LF+RR]$ ) en una columna, enseguida aplicar un formato condicional a la columna del Rack con escalas de color según el tipo de camión (240T o 320T) con el que se realizó el monitoreo teniendo en cuenta los indicadores que se presentan en el numeral 9.1 Indicadores de Gestión de Condición de Vías.
  
- e) Teniendo ya cada evento con su valor Rack definido en escala de colores, extraer solo la posición GPS del evento con su valor Rack y organizarlos de mayor a menor criticidad para luego pasar a graficarlos en el mapa de la mina.
  
- f) Para graficar se probaron dos formas, una por Autocad y otra por MapSource de Garmin, de las cuales por cuestiones de complejidad y tiempo se decidió utilizar MapSource. Este software es gratuito y se puede descargar por internet de la página [http://www8.garmin.com/support/download\\_details.jsp?id=209](http://www8.garmin.com/support/download_details.jsp?id=209)
  
- g) A continuación se explican los pasos para graficar los eventos Rack (Baches y ondulaciones) en el mapa de la mina a través de MapSource:

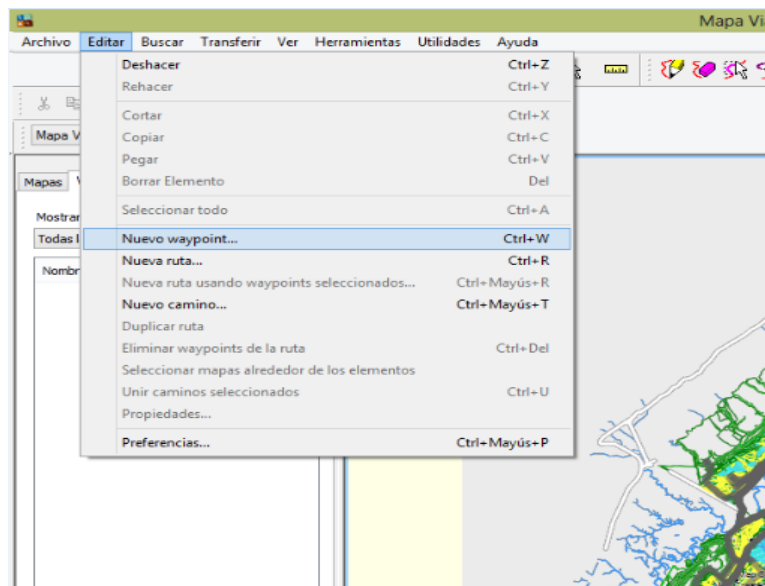
- ✓ Abrir el archivo Mapa vías de la mina que se puede obtener en el departamento técnico. (Ver Figura 41)

**Figura 41.** Mapa Vías de la Mina en MapSource



- ✓ En el menú seleccionar Editar y luego hacer click en Nuevo Waypoint.

**Figura 42.** Crear nuevo Waypoint en MapSource



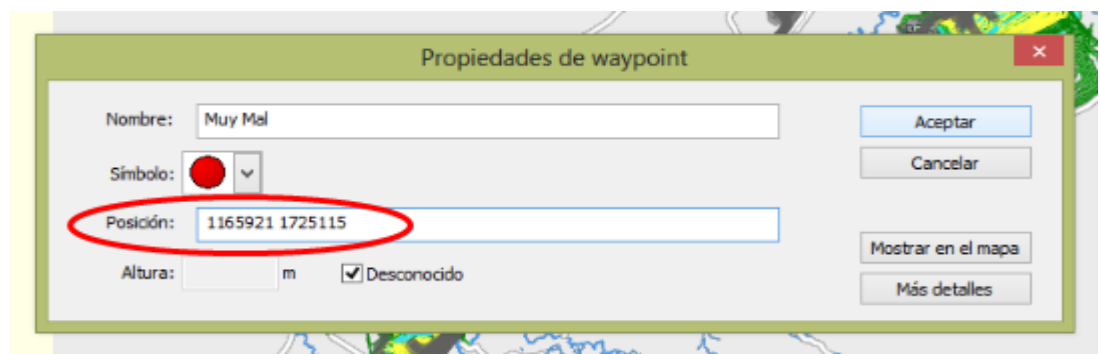
- ✓ Con la ayuda del archivo de Excel en donde se tienen organizados de mayor a menos los eventos Rack con su posición GPS, asignar un nombre según la clasificación del evento (Regular, Mal y Muy mal) y elegir como símbolo un círculo del color asociado al evento (mismo color que debe tener la celda con el valor Rack en el archivo de Excel).

**Figura 43.** Asignar nombre y símbolo al Waypoint en MapSource



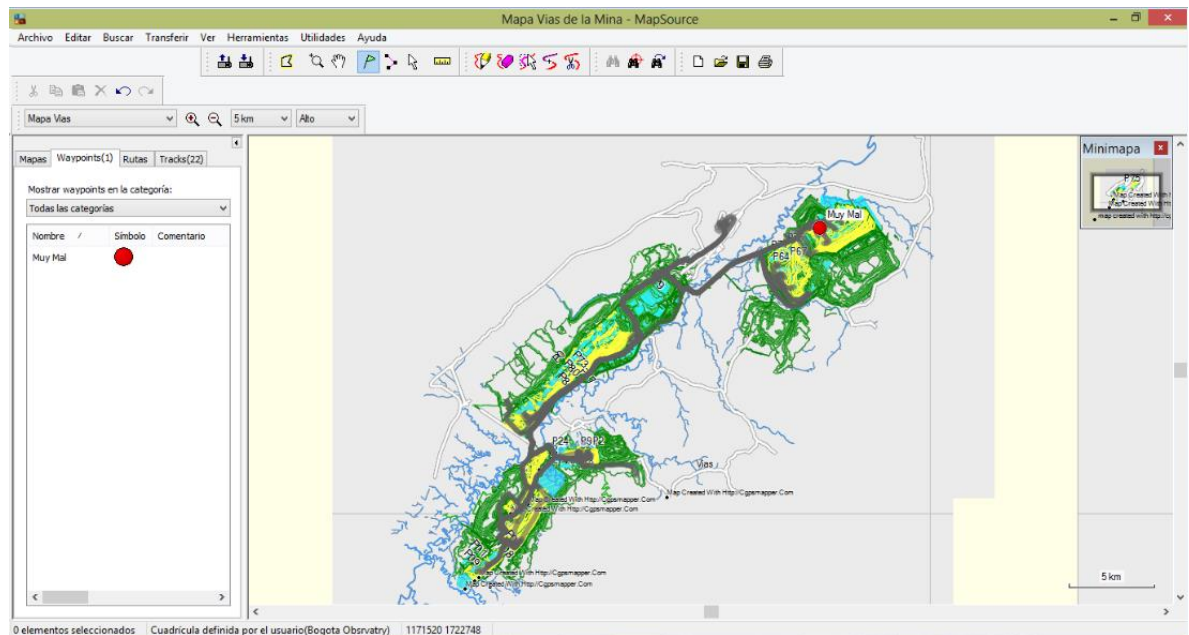
- ✓ Digitar la coordenada GPS que se encuentra en el archivo de Excel asociada a cada evento Rack en la casilla "Posición", click en aceptar. (Ver Figura 44)

**Figura 44.** Digitar coordenada GPS de cada evento Rack en MapSource



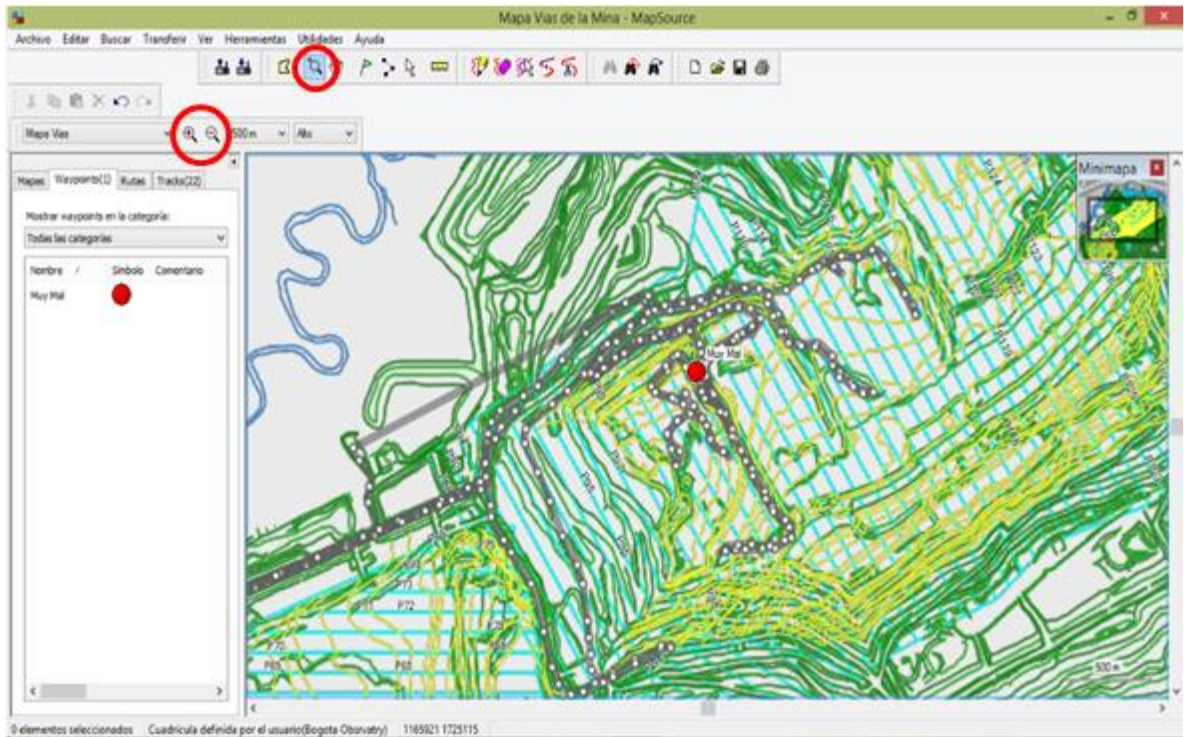
- ✓ Luego de dar click en aceptar, repetir el mismo procedimiento para añadir tantos Waypoints como eventos Rack se deseen graficar. En la Figura 45 se puede observar cómo queda ubicado el evento rack en el mapa de la mina.

**Figura 45.** Posición de un evento Rack en el mapa de la mina en MapSource



- ✓ Aplicar zoom con las lupas en la zona que se está graficando para poder ver de manera clara en que parte de las vías están los baches u ondulaciones. (Ver Figura 46)
- h) Realizar capturas del mapa de la mina de la zona de cada supervisor lo más claro posible, aplicando zoom donde sea necesario, y enviarlas por correo electrónico para que los supervisores programen los recursos para ejecutar el mantenimiento de las vías de la manera más eficiente.

**Figura 46.** Aplicar zoom a la zona en que se está graficando en MapSource



## 8.2 PRUEBA DE LA ESTRATEGIA

La prueba piloto se realizó en un camión Caterpillar 240 Toneladas de número interno 485 asociado al tajo La Puente en la zona norte de la mina, zona donde se encontró según ANOVA del numeral 6.4 que el promedio de llantas desechadas era alto, siendo el tajo La Puente el segundo tajo de la mina donde más se desechan llantas con un promedio de 41. El camión 485 tenía las suspensiones calibradas recientemente y buena conectividad con el servidor de MineCare. A continuación se describe el paso a paso de la prueba piloto:

- a) Se solicitó a los analistas de MineCare la información de la última hora del turno nocturno y las dos primeras del turno diurno del 18 de Diciembre (Ver

Figura 47), es decir de las 5 am hasta las 8 am (Los turnos de producción en Cerrejón son de 12 horas, de 6 a 6).

**Figura 47.** Tabla de datos extraída del módulo Tendencias de MineCare para la prueba piloto

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Parámetro	FechaHora	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Muestras	Ubicación del GPS
2	left front suspnsesion cylinder	18/12/2014 5:08	5353	5353	5353	5353	0	1	1165921 : 1725115
3	left rear suspension cylinder	18/12/2014 5:08	2915	2915	2915	2915	0	1	1165921 : 1725115
4	rifht front suspnsneion cylinder	18/12/2014 5:08	4713	4713	4713	4713	0	1	1165921 : 1725115
5	right rear suspnsnion cylinder	18/12/2014 5:08	20004	20004	20004	20004	0	1	1165921 : 1725115
6	ground speed	18/12/2014 5:08	18,5	18,5	18,5	18,5	0	1	1165921 : 1725115
7	payload	18/12/2014 5:08	228,1	228,1	228,1	228,1	0	1	1165921 : 1725115
8	Haul distance	18/12/2014 5:08	1,7	1,7	1,7	1,7	0	1	1165921 : 1725115
9	left front suspnsesion cylinder	18/12/2014 5:10	3999	3999	3999	3999	0	1	1165967 : 1725038
10	left rear suspension cylinder	18/12/2014 5:10	3333	3333	3333	3333	0	1	1165967 : 1725038
11	rifht front suspnsneion cylinder	18/12/2014 5:10	4019	4019	4019	4019	0	1	1165967 : 1725038
12	right rear suspnsnion cylinder	18/12/2014 5:10	17984	17984	17984	17984	0	1	1165967 : 1725038
13	ground speed	18/12/2014 5:10	14	14	14	14	0	1	1165967 : 1725038
14	payload	18/12/2014 5:10	228,1	228,1	228,1	228,1	0	1	1165967 : 1725038
15	Haul distance	18/12/2014 5:10	2,2	2,2	2,2	2,2	0	1	1165967 : 1725038
16	left front suspnsesion cylinder	18/12/2014 5:11	5265	5265	5265	5265	0	1	1166450 : 1725025
17	left rear suspension cylinder	18/12/2014 5:11	5205	5205	5205	5205	0	1	1166450 : 1725025
18	rifht front suspnsneion cylinder	18/12/2014 5:11	5117	5117	5117	5117	0	1	1166450 : 1725025
19	right rear suspnsnion cylinder	18/12/2014 5:11	16819	16819	16819	16819	0	1	1166450 : 1725025
20	ground speed	18/12/2014 5:11	29,5	29,5	29,5	29,5	0	1	1166450 : 1725025
21	payload	18/12/2014 5:11	228,1	228,1	228,1	228,1	0	1	1166450 : 1725025
22	Haul distance	18/12/2014 5:11	2,4	2,4	2,4	2,4	0	1	1166450 : 1725025
23	left front suspnsesion cylinder	18/12/2014 5:11	5312	5312	5312	5312	0	1	1166336 : 1725215
24	left rear suspension cylinder	18/12/2014 5:11	5804	5804	5804	5804	0	1	1166336 : 1725215
25	rifht front suspnsneion cylinder	18/12/2014 5:11	4881	4881	4881	4881	0	1	1166336 : 1725215

- b) Inmediatamente se recibió el archivo se comenzó su procesamiento para tener la información lo más pronto posible. De la tabla de datos recibida se creó la tabla dinámica (ver Figura 48) a la cual se le verificó que la velocidad, la distancia recorrida y el tonelaje, arrojaran valores congruentes.
- c) Luego se procedió a calcular el valor Rack con los valores de las presiones de las 4 suspensiones. (ver Figura 49) En esta parte se recomienda copiar la tabla dinámica y pegar como valores para poder facilitar el cálculo de la formula Rack.

**Figura 48.** Tabla dinámica resultante de la tabla de datos entregada por los analistas de MineCare

A1		Promedio de Máximo								
A	B	C	D	E	F	G	H	I		
1	Promedio de Máximo	Parámetro								
2	FechaHora	Ubicación del GPS	ground speed	Haul distance	left front suspnesion cylinder	left rear suspension cylinder	payload	rifht front suspneion cylinder	right rear suspnsion cylinder	
3	@18/12/2014 5:08	1165921 : 1725115	18,5	1,7	5353	2915	228,1	4713	2000	
4	@18/12/2014 5:10	1165967 : 1725038	14	2,2	3999	3333	228,1	4019	1798	
5	@18/12/2014 5:11	1166450 : 1725025	29,5	2,4	5265	5205	228,1	5117	1681	
6	@18/12/2014 5:11	1166336 : 1725215	36	2,4	5312	5804	228,1	4881	1630	
7	@18/12/2014 5:14	1165645 : 1725212	6	3,3	7440	3966	228,1	4053	1832	
8	@18/12/2014 5:32	1165915 : 1725142	14	1,7	4363	5063	218,1	4652	1920	
9	@18/12/2014 5:34	1165973 : 1725032	14	2,1	6100	3602	224,3	3750	1804	
10	@18/12/2014 5:35	1166450 : 1725022	20	2,4	6147	8120	224,3	2760	1414	
11	@18/12/2014 5:39	1165832 : 1725314	9,5	3,2	4578	17923	224,3	3649	398	
12	@18/12/2014 7:04	1166101 : 1724356	18,5	9,7	9655	7353	251,9	5447	1649	
13	@18/12/2014 7:05	1166122 : 1724362	14	9,8	5696	4498	251,9	4100	2118	
14	@18/12/2014 7:09	1166266 : 1724176	11	10,5	8968	3427	251,9	5440	1831	
15	@18/12/2014 7:12	1165608 : 1724102	16	11,1	6437	5649	251,9	5400	1783	
16	@18/12/2014 7:22	1166336 : 1724265	5,5	1,4	6451	5669	223	5925	1461	
17	@18/12/2014 7:27	1166119 : 1724374	29,5	2,1	9291	6020	211,6	4471	1409	
18	@18/12/2014 7:27	1165609 : 1724304	17,5	2,2	3925	2350	211,6	7965	2264	
19	@18/12/2014 7:48	1166295 : 1724335	13,5	1,4	6020	5440	229,3	5474	1448	
20	Total general		16,88235294	4,094117647	6176,470588	5666,882353	230,2705882	4812,705882	16734,1764	

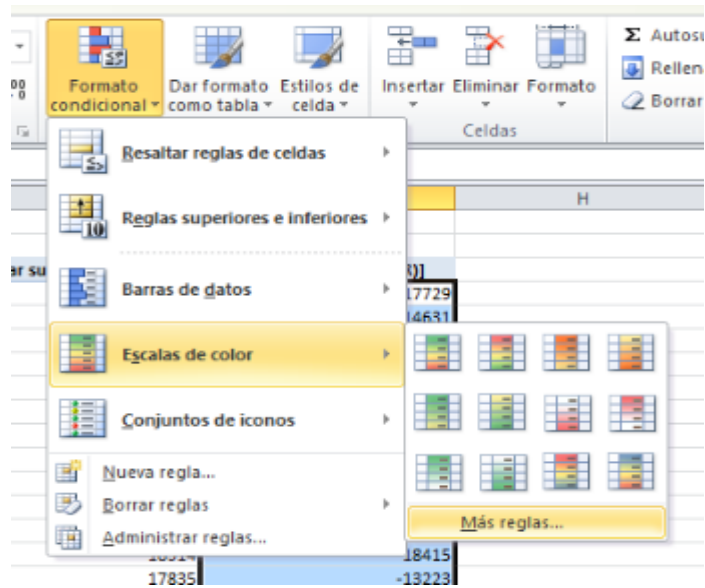
**Figura 49.** Cálculo del valor Rack para la prueba piloto

G23		RACK [(RF+LR)-(LF+RR)]						
A	B	C	D	E	F	G		
23	FechaHora	Ubicación del GPS	left front suspnesion cylinder	left rear suspension cylinder	rifht front suspneion cylinder	right rear suspnsion cylinder	RACK [(RF+LR)-(LF+RR)]	
24	18/12/2014 5:08	1165921 : 1725115	5353	2915	4713	20004	-17729	
25	18/12/2014 5:10	1165967 : 1725038	3999	3333	4019	17984	-14631	
26	18/12/2014 5:11	1166450 : 1725025	5265	5205	5117	16819	-11762	
27	18/12/2014 5:11	1166336 : 1725215	5312	5804	4881	16300	-10927	
28	18/12/2014 5:14	1165645 : 1725212	7440	3966	4053	18320	-17741	
29	18/12/2014 5:32	1165915 : 1725142	4363	5063	4652	19209	-13857	
30	18/12/2014 5:34	1165973 : 1725032	6100	3602	3750	18044	-16792	
31	18/12/2014 5:35	1166450 : 1725022	6147	8120	2760	14146	-9413	
32	18/12/2014 5:39	1165832 : 1725314	4578	17923	3649	3986	13008	
33	18/12/2014 7:04	1166101 : 1724356	9655	7353	5447	16496	-13351	
34	18/12/2014 7:05	1166122 : 1724362	5696	4498	4100	21182	-18280	
35	18/12/2014 7:09	1166266 : 1724176	8968	3427	5440	18314	-18415	
36	18/12/2014 7:12	1165608 : 1724102	6437	5649	5400	17835	-13223	
37	18/12/2014 7:22	1166336 : 1724265	6451	5669	5925	14611	-9468	
38	18/12/2014 7:27	1166119 : 1724374	9291	6020	4471	14099	-12899	
39	18/12/2014 7:27	1165609 : 1724304	3925	2350	7965	22649	-16259	
40	18/12/2014 7:48	1166295 : 1724335	6020	5440	5474	14483	-9589	

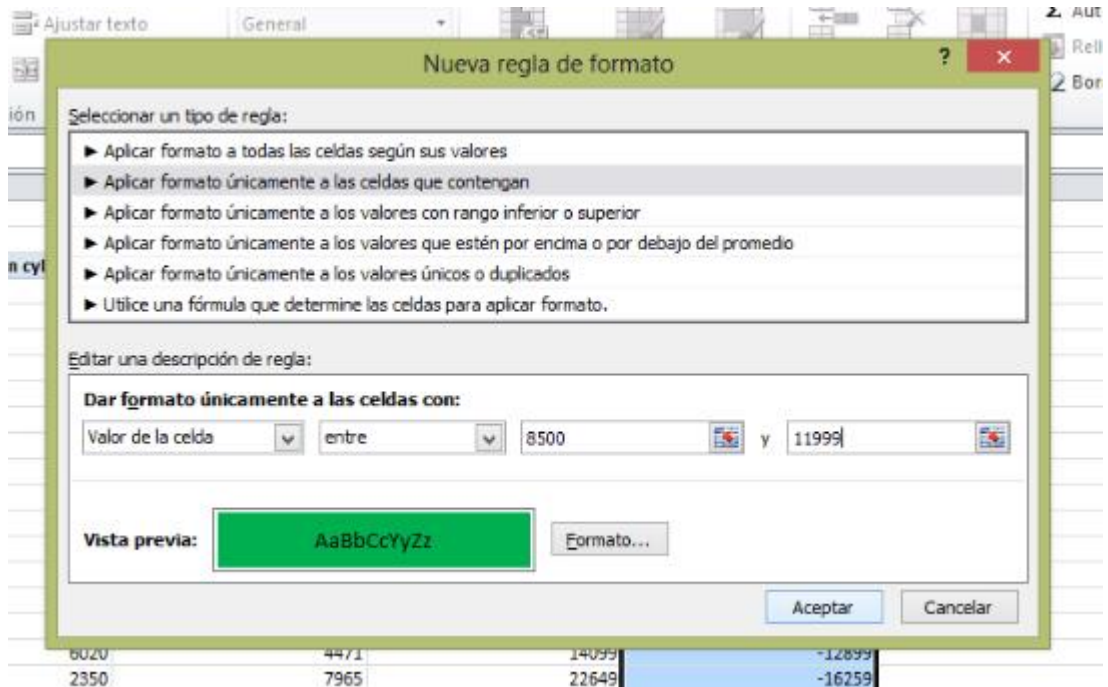
d) Teniendo los valores Rack de cada evento ya calculados, se crearon reglas de formato condicional (Ver Figura 50) con los valores de los indicadores definidos

en el numeral 9.1 y a cada regla se le asignó el color (Ver Figura 51) perteneciente a la criticidad del evento.

**Figura 50.** Crear una regla con formato condicional



**Figura 51.** Crear reglas con valores de los indicadores y asignarles el color



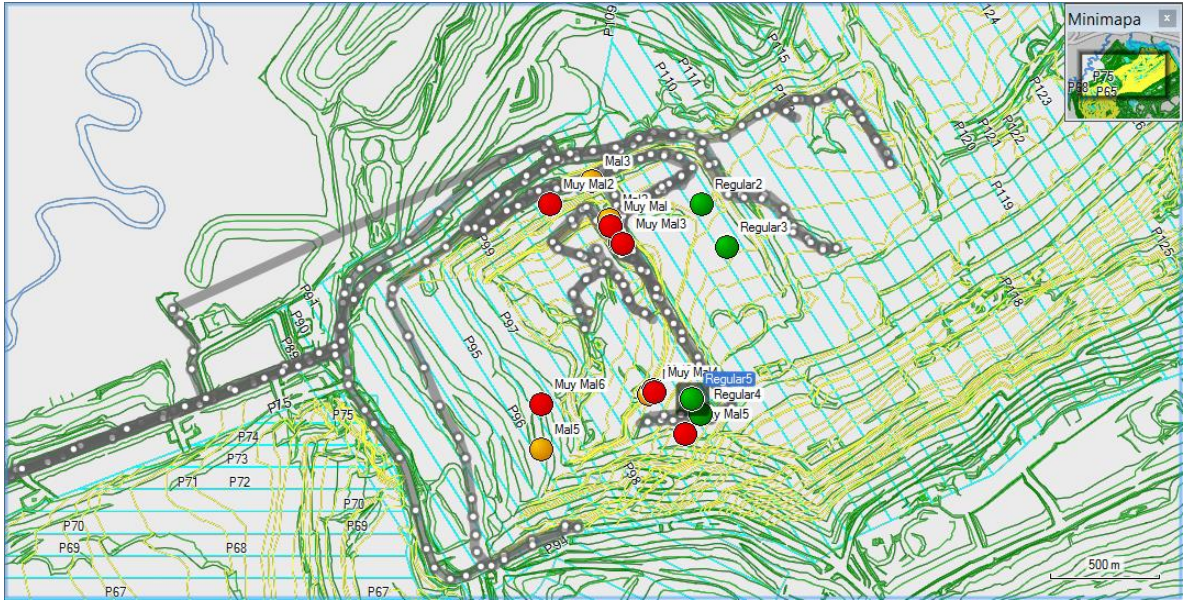
e) Una vez ya creadas las reglas y teniendo cada valor Rack con su respectivo formato de color correspondiente se extrajeron la posición GPS y el valor Rack de cada evento y se ordenaron de mayor a menor rango de criticidad para luego graficarlos. (Ver Figura 52)

**Figura 52.** Extracción y ordenamiento de posición GPS y valores Rack para graficar

	RACK [(RF+LR)-(LF+RR)]		A	B
004	-17729	3	1165921 : 1725115	-17729
984	-14631	4	1165645 : 1725212	-17741
819	-11762	5	1165973 : 1725032	-16792
300	-10927	6	1166122 : 1724362	-18280
320	-17741	7	1166266 : 1724176	-18415
209	-13857	8	1165609 : 1724304	-16259
044	-16792	9	1165967 : 1725038	-14631
146	-9413	10	1165915 : 1725142	-13857
986	13008	11	1165832 : 1725314	13008
496	-13351	12	1166101 : 1724356	-13351
182	-18280	13	1165608 : 1724102	-13223
314	-18415	14	1166119 : 1724374	-12899
835	-13223	15	1166450 : 1725025	-11762
611	-9468	16	1166336 : 1725215	-10927
099	-12899	17	1166450 : 1725022	-9413
649	-16259	18	1166336 : 1724265	-9468
483	-9589	19	1166295 : 1724335	-9589
		20		

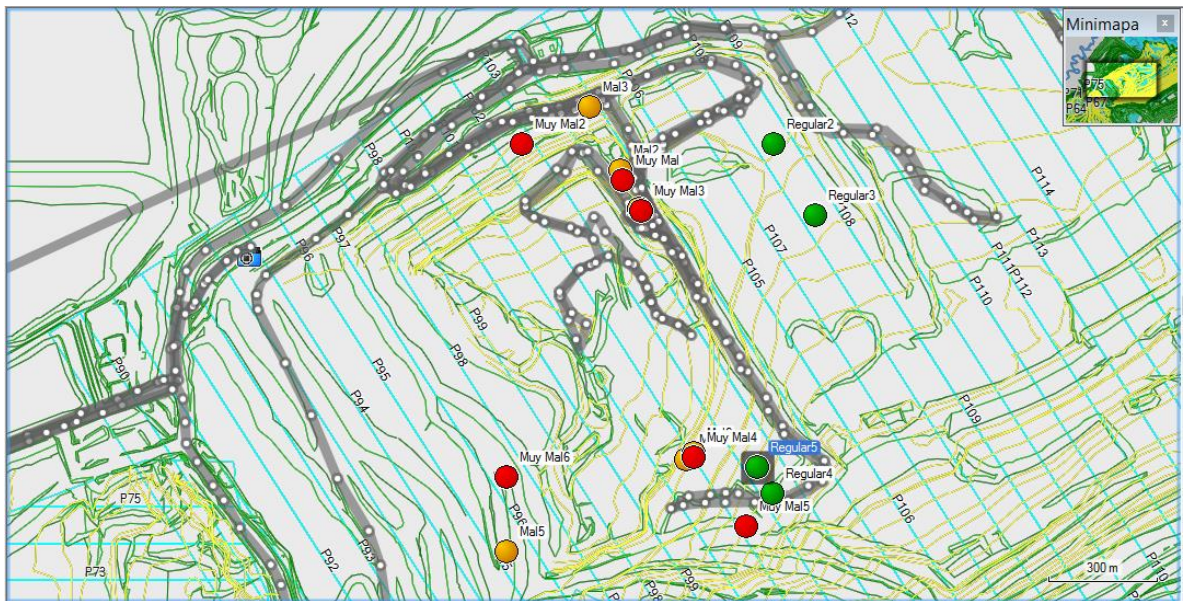
f) Para graficar los 17 eventos en MapSource se realizaron los pasos descritos en el punto g) del numeral 8.1, obteniendo como resultado el siguiente mapa de la mina donde se puede observar la posición de cada uno de los eventos. (Ver Figura 53)

**Figura 53.** Baches u ondulaciones identificados en el mapa de la mina



g) En la Figura 54 se observa el acercamiento que se le realizó al mapa para poder observar mejor la posición de los baches u ondulaciones identificados.

**Figura 54.** Acercamiento al mapa en MapSource



h) Por último se imprimieron las imágenes de los mapas y se salió a campo a verificar los eventos con el analista y el supervisor, se identificaron los puntos de falla en las vías.

**Figura 55.** Verificación en campo de los eventos Rack identificados y graficados en MapSource



## 9. EVALUACIÓN Y CONTROL

### 9.1 INDICADORES DE GESTIÓN DE CONDICIÓN DE VÍAS

Los indicadores que permiten determinar la criticidad del estado de las vías, respecto a los eventos Rack (Baches u ondulaciones), para establecer la prioridad del arreglo de las mismas están determinados dependiendo del tipo de equipo minero de acarreo del cual se extrajo la información del monitoreo. La flota de acarreo de estéril en Cerrejón está conformada por dos tipos diferentes de camiones, Caterpillar 240 Toneladas y Euclid Hitachi 320 Toneladas, en los numerales 9.1.1 y 9.1.2 se relacionan los indicadores para cada tipo. Adicionalmente se planteó otro indicador para medir el trabajo desarrollado por supervisores de vías el cual se describe en el numeral 9.1.3.

**9.1.1 Indicadores para camiones Caterpillar 240 Toneladas** Estos valores críticos del Rack fueron determinados por ingenieros de Caterpillar<sup>15</sup> mediante un análisis del comportamiento de las presiones de las suspensiones de los 4 puntos de apoyo de los camiones ante las imperfecciones encontradas en las vías.

- Verde (Regular): Cuando el valor de Rack se encuentre entre  $\pm 8500$  y  $\pm 11999$ KPa.
- Amarillo (Mal): Cuando el valor de Rack se encuentre entre  $\pm 12000$  y  $\pm 15999$ KPa.
- Rojo (Muy mal): Cuando el valor de Rack se encuentre excediendo a  $\pm 16000$ KPa.

---

<sup>15</sup> DAVEY, J. Y MCLEOD, M. ASA/RAC Application Guide, versión 10. Caterpillar. Australia 2003.

**9.1.2 Indicadores para camiones Euclid Hitachi 320 Toneladas** Para este caso la compañía que fabrica estos camiones no ha publicado a la fecha ningún análisis del comportamiento de las suspensiones de sus camiones ante las imperfecciones de las vías, motivo por el cual para obtener los indicadores se realizó por experimentación en varios camiones. El procedimiento para hallar los valores fue el siguiente:

- ✓ Solicitar a los analistas el listado de los camiones 320T a los cuales se les habían calibrado las suspensiones recientemente.
- ✓ Seleccionar los que se encontraran asociados al tajo Tabaco, en la zona norte, donde se tiene el promedio más alto de llantas desechadas por daños asociados a la condición de las vías. Los camiones escogidos fueron: 762, 797, 817 y 822.
- ✓ Acompañar en cada ruta al operador del camión y registrar la hora en que el camión pasara por un bache u ondulación para luego comparar con el registro que MineCare arrojaría. A cada bache u ondulación se le daría una calificación según el rango de criticidad del bache, para este caso se calificó en bajo, medio y alto. En las tablas 10, 11, 12 y 13, se relacionan los resultados de la prueba.

**Tabla 10.** Resultados de la prueba en camión 762

CAMIÓN 762							
HORA RELOJ	HORA MINECARE	LF	LR	RF	RR	VALOR RACK	RANGO
14:41:14	12/16/2014 14:41:13	14754,872	34294,734	6184,6357	17588,635	-8135,8627	BAJO
14:41:53	12/16/2014 14:41:53	10604,203	17319,738	14582,502	34474	13175,963	ALTO
14:44:22	12/16/2014 14:44:22	12548,536	20325,871	12279,639	31909,137	11852,163	MEDIO
14:44:32	12/16/2014 14:44:32	7777,3345	15285,772	13610,336	34474	13355,2265	ALTO
14:52:03	12/16/2014 14:52:03	13610,336	23070,002	12727,801	30226,803	8039,336	BAJO
14:53:04	12/16/2014 14:53:04	17409,371	19091,701	12810,539	32260,768	17767,899	ALTO
14:53:24	12/16/2014 14:53:24	13431,07	28813,37	21298,037	26779,404	-9900,933	MEDIO

**Tabla 11.** Resultados de la prueba en camión 797

CAMIÓN 797							
HORA RELOJ	HORA MINECARE	LF	LR	RF	RR	VALOR RACK	RANGO
10:01:29	12/16/2014 10:01:31	17761,006	16968,104	14141,235	27572,307	14223,974	ALTO
10:02:08	12/16/2014 10:02:10	10335,306	28634,105	9542,403	21118,773	-6722,429	BAJO
10:03:50	12/16/2014 10:03:50	16878,47	21477,303	13169,068	29957,906	12190,005	MEDIO
10:05:13	12/16/2014 10:05:12	13961,972	21118,773	11486,737	27930,836	9287,298	MEDIO
10:05:20	12/16/2014 10:05:21	14754,872	22270,205	10783,468	26338,137	8039,336	BAJO
10:05:59	12/16/2014 10:06:01	13258,701	17147,367	12369,271	34474	18216,063	ALTO
10:06:08	12/16/2014 10:06:10	14492,87	21649,672	9452,771	27131,04	10521,467	MEDIO
10:11:42	12/16/2014 10:11:42	23594,006	34474	14582,502	14754,872	-10707,624	MEDIO
10:13:58	12/16/2014 10:14:01	13431,07	22711,473	8480,6045	26517,402	8756,3945	BAJO
10:15:23	12/16/2014 10:15:21	12989,804	21477,303	8480,6045	28372,102	11403,9985	MEDIO
10:15:47	12/16/2014 10:15:50	14582,502	17761,006	13782,706	30406,066	13444,856	ALTO
10:19:04	12/16/2014 10:19:01	12279,639	19794,97	13341,438	34474	13617,231	ALTO
10:23:58	12/16/2014 10:24:00	12727,801	16257,939	18202,273	34474	12741,589	MEDIO
10:24:42	12/16/2014 10:24:40	12107,27	13169,068	23511,27	34474	9900,932	MEDIO
10:24:50	12/16/2014 10:24:50	11486,737	17057,736	16526,836	34205,105	12107,27	MEDIO
10:25:10	12/16/2014 10:25:10	20325,871	23242,371	14672,135	25896,87	8308,235	BAJO
10:25:30	12/16/2014 10:25:30	15113,401	32433,139	12017,637	17588,635	-11748,74	MEDIO
10:25:50	12/16/2014 10:25:50	13431,07	21118,773	11045,47	30488,807	11755,634	MEDIO

**Tabla 12.** Resultados de la prueba en camión 817

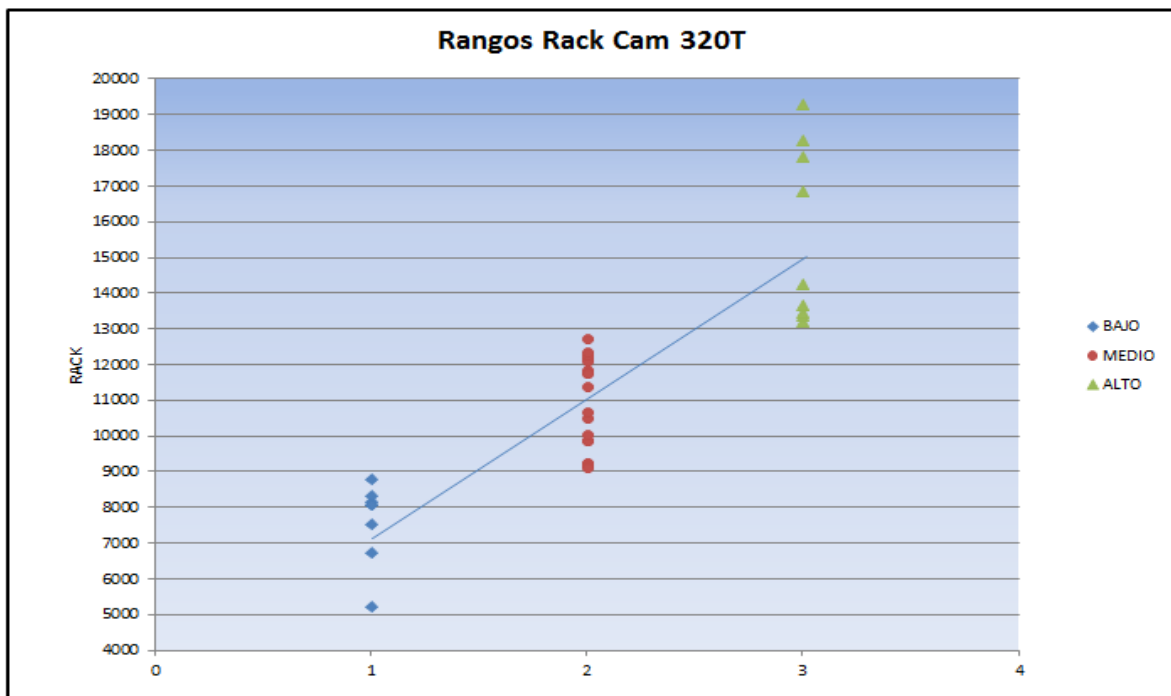
CAMIÓN 817							
HORA RELOJ	HORA MINECARE	LF	LR	RF	RR	VALOR RACK	RANGO
13:53:15	12/16/2014 13:53:18	19974,236	17147,367	14934,136	22180,572	10073,305	MEDIO
14:04:29	12/16/2014 14:04:29	19794,97	27399,936	22359,838	13169,068	-16795,736	ALTO
14:04:59	12/16/2014 14:04:59	26600,139	19091,701	21828,938	23594,006	9273,506	MEDIO

- ✓ Con los resultados de las tablas 10 a la 13, y según la clasificación de cada evento se realizó un gráfico (Ver Figura 56) de donde se extrajeron los rangos Rack para camiones 320T.

**Tabla 13.** Resultados de la prueba en camión 822

CAMIÓN 822							
HORA RELOJ	HORA MINECARE	LF	LR	RF	RR	VALOR RACK	RANGO
9:25:22	12/16/2014 9:25:23	17678,268	29695,904	8749,501	15554,669	-5212,468	BAJO
9:26:22	12/16/2014 9:26:22	12369,271	16968,104	15203,033	28985,74	9183,874	MEDIO
9:26:42	12/16/2014 9:26:42	17678,268	19443,336	17678,268	26958,668	7515,332	BAJO
9:27:52	12/16/2014 9:27:52	18560,803	21649,672	15727,038	27930,836	9114,929	MEDIO
9:28:12	12/16/2014 9:28:12	18733,172	10073,303	23862,904	34474	19270,965	ALTO
9:28:43	12/16/2014 9:28:43	18822,805	25717,605	23332,004	17940,271	-12286,533	MEDIO
9:28:52	12/16/2014 9:28:52	17761,006	17057,736	15465,037	27131,04	12369,273	MEDIO

**Figura 56.** Gráfico de rangos Rack para camiones 320T



- ✓ Los rangos Rack determinados por los analistas para los camiones 320T según los resultados vistos en el gráfico de la figura 56 son:
  - Verde (Regular): Cuando el valor de Rack se encuentre entre  $\pm 7000$  y  $\pm 10999$  KPa.

- Amarillo (Mal): Cuando el valor de Rack se encuentre entre  $\pm 11000$  y  $\pm 14999$ KPa.
- Rojo (Muy mal): Cuando el valor de Rack se encuentre excediendo a  $\pm 15000$ KPa.

**9.1.3 Índice de vías** Este indicador está diseñado para medir el trabajo realizado por los supervisores de vías con la información de los eventos Rack que se les va a enviar a inicio, mitad y fin de turno. Consiste en realizar el conteo de los eventos identificados como Mal (color amarillo) y Muy Mal (color rojo) y compararlos con el número de eventos hallados en el monitoreo anterior, este índice solo se calcula a mitad y fin de turno para cada supervisor. A continuación se presenta la forma de calcularlo.

✚ Índice de Vías (IV) =  $(\# \text{ Eventos Inicio} - \# \text{ Eventos Final}) \times 100 / \# \text{ Eventos Inicio}$

- ✓ Sí IV = (+) % Reducción de baches u ondulaciones.
- ✓ Sí IV = (-) % Aumento de baches u ondulaciones.

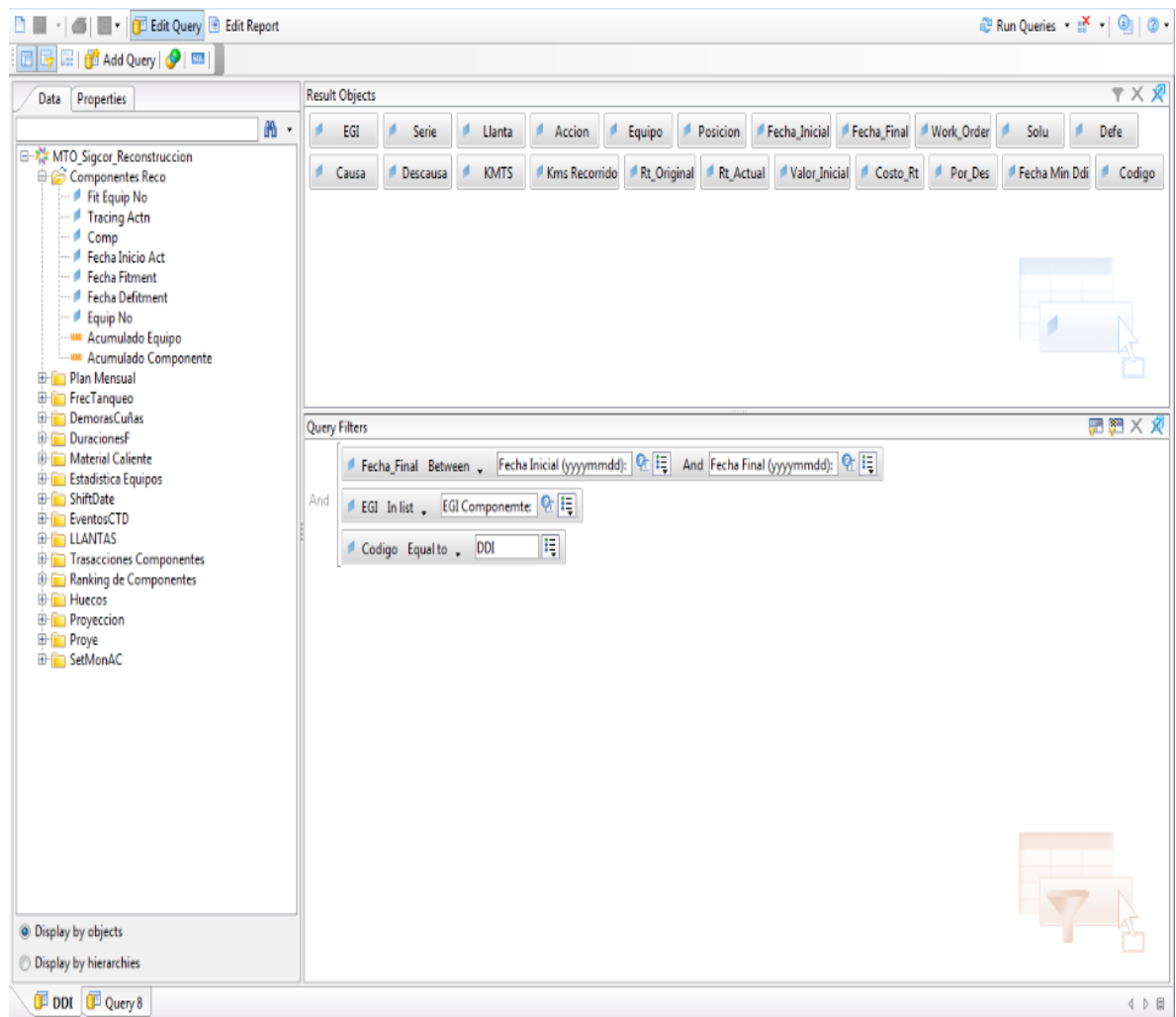
## 9.2 REPORTE DETALLADO DE LLANTAS DESECHADAS

El reporte detallado de llantas desechadas es una herramienta que va a permitir a los supervisores y analistas medir la evolución mensual de la incidencia de los mejoramientos hechos en las vías para reducir la cantidad de llantas desechadas, además de que permite evidenciar el trabajo que cada supervisor realizó.

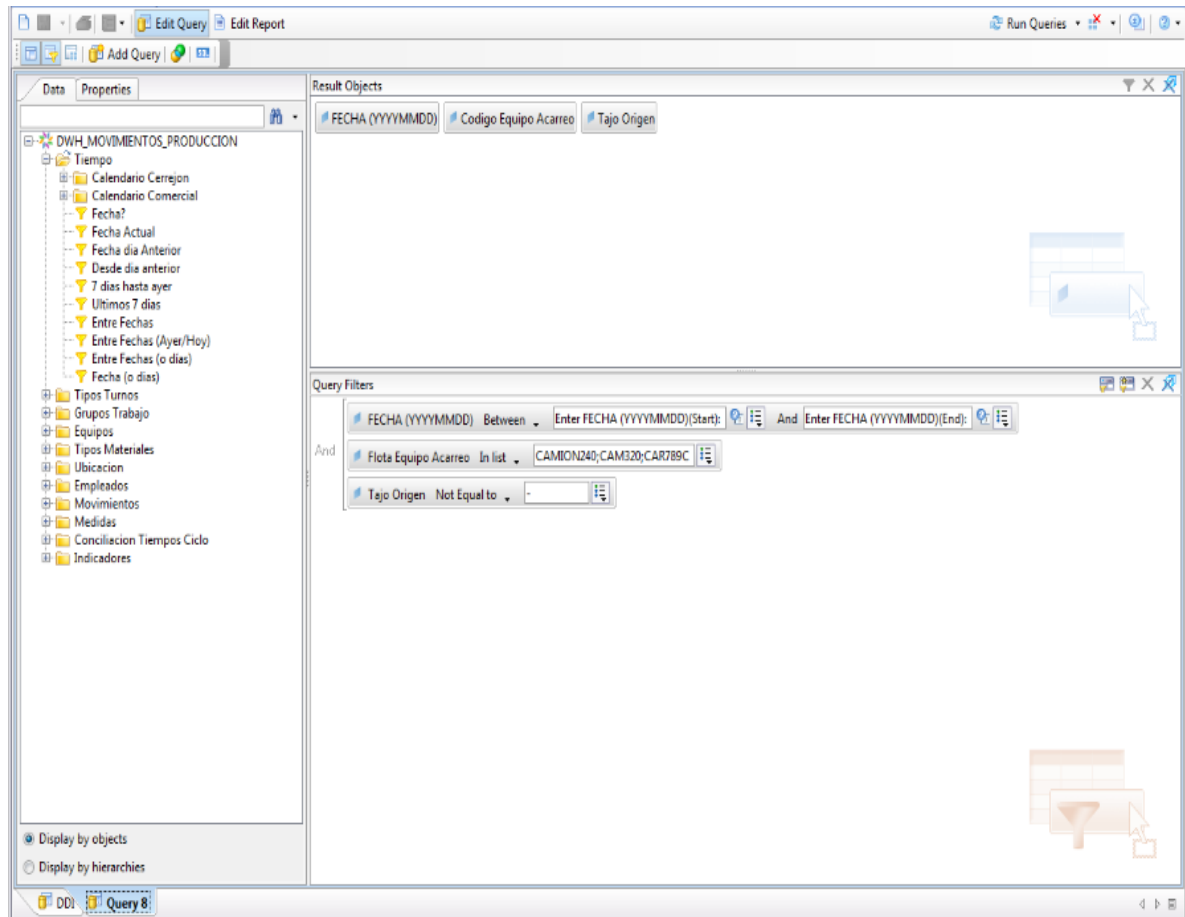
A continuación se plantea la estructura del reporte el cual fue diseñado en SAP Business Objects (BO), herramienta que permite interactuar con la gran mayoría de bases de datos de la compañía.

En las Figuras 57 y 58 se observan los elementos resultantes y los filtros de las *Querys* (en bases de datos, Query significa consulta o pedido de datos almacenados) que se realizaron para obtener la información necesaria.

**Figura 57.** Query a base de datos MTO\_Sigcor\_Reconstrucción



**Figura 58.** Query a base de datos DWH\_MOVIMIENTOS\_PRODUCION



La información que se extrajo para poder construir la estructura del reporte fue: número de la llanta, número del equipo minero donde está montada la llanta, tipo de camión, fecha final (fecha en que la llanta sufrió el daño), descripción del estado (para este caso desechada), causa del estado (tipo de daño), descripción de la causa y el tajo donde ocurrió el daño. En la Figura 59 se muestra el pantallazo de la información resultante con la que se construirá el reporte.

En el Anexo H se plantea un ejemplo del reporte mensual a realizar con el procesamiento de la información obtenida en BO, en el cual se va a poder observar la cantidad de llantas desechadas en cada tajo por el tipo de daño asociado a la condición de las vías, para cada tipo de camión (240T y 320T).

**Figura 59.** Información resultante de las Querys en BO

Data Templates Map Properties Input Cont..

Data

- ▶ Llantas Desechadas reparadas
  - ▶ Accion
  - ▶ Causa
  - ▶ Codigo
  - ▶ Costo\_Rt
  - ▶ Defe
  - ▶ Descausa
  - ▶ Descripcion Estado
  - ▶ EGI
  - ▶ Fecha\_Inicial
  - ▶ Fecha\_Min\_Ddi
  - ▶ Kms Recorrido
  - ▶ KMTS
  - ▶ Llanta
  - ▶ Por\_Des
  - ▶ Posicion
  - ▶ Rt\_Actual
  - ▶ Rt\_Original
  - ▶ Serie
  - ▶ Solu
  - ▶ Tajo Origen
  - ▶ TipoCamion
  - ▶ TipoLlanta
  - ▶ Valor\_Inicial
  - ▶ Work\_Order
  - ▶ Equipo
  - ▶ Fecha\_Final
  - ▶ Bridgestone
  - ▶ Costo
  - ▶ KMTSesperados
  - ▶ LitsDesechasAntesTiempo
  - ▶ Porcentaje recorrido

**SISTEMA DE INFORMACIÓN CORPORATIVO**

654N6 - Llantas Desechadas-Desmontada-Instaladas

Procesado en: Nov/14/2013 15:41:00

Fecha Inicial:	20130101
Fecha Final:	20131113
EGI Componente:	

	B - Fitment	C - Defliment	D - US	I - Scrap	O - Repair Unfitid	Total
190	1.082	1.016	196	255	112	2.661
240	2.301	2.189	514	502	419	5.905
520	3.798	3.751	652	731	1.053	9.985
	7.181	6.956	1.362	1.488	1.584	16.571

Llanta	Equipo	TipoCamion	Fecha_Final	Descripcion Estado	Causa	Descripcion	Tajo
121395	0220252	190	20130925	I - Scrap	CCOS	CORTE COSTADO	TABACO TOTAL
121497	0220283	190	20130810	I - Scrap	SPCO	SEPARACION POR CORTE	TABACO TOTAL
121474	0220251	190	20130904	I - Scrap	CHOM		TABACO TOTAL
121484	0220252	190	20130512	I - Scrap	DEST		LA PUENTE
121486	0220285	190	20130427	I - Scrap	DEST		TABACO TOTAL
121487	0220272	190	20131007	I - Scrap	SPCO	SEPARACION POR CORTE	TABACO TOTAL
121554	0220270	190	20130509	I - Scrap	SPCO	SEPARACION POR CORTE	LA PUENTE
121601	0220289	190	20130502	I - Scrap	DEST		TABACO TOTAL
121617	0220280	190	20131112	I - Scrap	CBRO	CORTE BANDA DE RODAMIENT	TABACO TOTAL
121620	0220280	190	20130826	I - Scrap	DEST		LA PUENTE
121625	0220280	190	20130324	I - Scrap	SPCO	SEPARACION POR CORTE	TABACO TOTAL
121635	0220254	190	20130415	I - Scrap	SPCO	SEPARACION POR CORTE	TABACO TOTAL
121641	0220283	190	20130812	I - Scrap	DEST		LA PUENTE
121642	0220251	190	20130925	I - Scrap	SPCO	SEPARACION POR CORTE	TABACO TOTAL

## 10. CONCLUSIONES

Después de realizar el diagnóstico se encontró que Separación por corte, Corte en la banda de rodamiento y Estallido; son los tipos de daños asociados a la condición de las vías que más sacan llantas de servicio en la operación.

Los baches y ondulaciones presentes en las vías de acarreo son una de las causas de mayor impacto en el bajo rendimiento de las llantas de los camiones, y no contaban con un procedimiento o herramienta de control adecuado.

A través de la técnica Análisis de Varianza se pudo concluir que: el rendimiento de las llantas de los camiones 240T y 320T es igual y significativamente menor que el rendimiento de las llantas de los camiones 190T, el tipo de daño que más afecta el rendimiento y la vida útil de las llantas con diferencias significativas sobre todos los demás es Separación por corte, el tajo donde se encuentre operando cada equipo minero si afecta al rendimiento de las llantas y, por último, que la posición en que se encuentra ubicada la llanta no influye en la vida útil de esta.

A través de MineCare se logró obtener la misma información que utiliza el módulo RAC de Caterpillar, y a diferencia de este último la empresa no debe hacer la compra e instalación de ningún hardware para cada equipo minero.

Aproximadamente el 100% de la flota de acarreo tiene conectividad con MineCare, lo cual permite, a diferencia del módulo de CAT, que los camiones 320T de Hitachi también puedan ser utilizados para monitoreo de las vías, obteniendo con ello una ventaja grande para obtener una cobertura total.

El identificar los puntos críticos de las vías, baches y ondulaciones, por telemetría y graficarlos a tiempo permite una adecuada planificación y programación del mantenimiento de las mismas por parte del supervisor.

Las vías en buen estado permiten a los equipos andar a velocidades máximas permisibles lo cual es reflejado en mayores productividades.

Un mantenimiento adecuado de las vías se verá reflejado en el incremento de la vida útil de las llantas, tanto como en el de las estructuras y suspensiones de los camiones.

Con respecto al tema de seguridad y salud en el trabajo se puede contribuir a una disminución de enfermedades laborales en los operarios debido a la menor exposición a vibraciones causadas por el mal estado de las vías.

## 11.RECOMENDACIONES

Utilizar MineCare para el monitoreo del estado de las vías, ya que es una herramienta que permite obtener información por telemetría, de manera rápida y confiable, de la mayoría de los equipos mineros de acarreo y la compañía ya la posee.

Verificar que los camiones que se utilizan para extraer la información por Minecare tengan calibradas las cuatro suspensiones recientemente.

Realizar un plan de refuerzo y concientización de las correctas prácticas operacionales en el área de cargue al aculatar el camión, tanto para el operador del camión como para el de la pala.

Disponer un servidor donde MineCare pueda redireccionar y compartir la información guardada por el modulo tendencias para no depender de los analistas de MineCare al requerir acceder a ella.

Realizar un tablero dinámico que permita integrar un graficador de los puntos GPS críticos, lo cual permitirá la automatización de la estrategia.

## BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ CÁCERES, Rafael. Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS. Ediciones Díaz de Santos, S.A., Madrid 1995. p. 45-46.

ANTOLINEZ, Manuel Alfredo. Productividad de la MIPYME Sector cuero y calzado, SENA-ACICAM, Cúcuta, Colombia.

Caterpillar. “Control de Análisis de los Caminos”. [Diciembre 2014]. Disponible en: [http://www.cat.com/es\\_US/support/operations/technology/fleet-management-solutions/road-analysis-control.html](http://www.cat.com/es_US/support/operations/technology/fleet-management-solutions/road-analysis-control.html)

Cerrejón. “Historia”, [en línea]. Marzo 2006. [Diciembre 2014]. Disponible en: <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa/historia.aspx>

Cerrejón. “Vías de Acarreo” Versión 5, 2013. [Intranet, Noviembre 2013]. Disponible en: <http://lmnweb01.cerrejoncoal.com:7778/AppsSIIO/SIIO/consultaDocsOnBase.jsp>

DAVEY, J. Y MCLEOD, M. ASA/RAC Application Guide, versión 10. Caterpillar. Australia 2003.

DIAZ, Abel. Diseño estadístico de experimentos. 2a Edición. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín 2009. p. 47-49, 51-52.

GALGANO, Alberto. Los 7 instrumentos de la Calidad Total. Madrid. Ediciones Díaz de Santos, 1995. p. 115-116.

KRAJEWSKI, Lee J., RITZMAN, Larry P. Administración de Operaciones. Estrategia y Análisis, 5ta Edición. Pearson educación, México 2000. p. 110.

LOPEZ, Marcelo., CORREA, Jorge I. Planeación estratégica de tecnologías informáticas y sistemas de información. 1a Edición. Editorial Universidad de Caldas, Manizales 2007. p. 36-37.

RINCÓN BERMUDEZ, Rafael David. "Los indicadores de Gestión Organizacional". Artículo, Una Guía para su definición.

VERDOY, Pablo J., MATEU, Jorge., SAGASTA, Santiago., SIRVENT, Raúl. Manual de control estadístico de calidad: Teoría y aplicaciones. Castelló de la Plana: Publicaciones de la Universidad Jaume I, D. L. 2006. p. 207.