

**APLICACIÓN DEL PROGRAMA SIX SIGMA PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
VIDA ÚTIL DE LA LLANTA 53/80 R 63 EN CARBONES DEL CERREJÓN**

**LUIS EIMER CERCHAR ROMERO
JESUS FERNANDO CUADRADO CORTES**

**UNIVERSIDAD PEGAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERIA DE MINAS
SOGAMOSO, BOYACA
2015**

**APLICACIÓN DEL PROGRAMA SIX SIGMA PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
VIDA ÚTIL DE LA LLANTA 53/80 R 63 EN CARBONES DEL CERREJÓN**

**LUIS EIMER CERCHAR ROMERO
JESUS FERNANDO CUADRADO CORTES**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero en minas

Director del Proyecto
Luis Ángel Lara González
Ingeniero Industrial

**UNIVERSIDAD PEGAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERIA DE MINAS
SOGAMOSO, BOYACA
2015**

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

SE AUTORIZA LA REPRODUCCION DEL MISMO INDICANDO SU ORIGEN

AGRADECIMIENTOS

Es un honor para nosotros como autores de este proyecto plasmar nuestros más sinceros agradecimientos a personas y entidades que de buena manera contribuyeron con el desarrollo del mismo.

Gracias al ingeniero Luis Ángel Lara González director del proyecto, por el interés que mostró de principio a fin para que todo saliera de la mejor forma.

Gracias a Estenin Romero Gámez, quien facilitó todo en la empresa para que la información nos llegara de primera mano y en el momento oportuno.

Gracias a Aura Quijano, quien siempre estuvo dispuesta durante el transcurso de nuestra carrera a colaborarnos en lo que fuera necesario.

Gracias a todos los profesores de la escuela por permitirnos compartir de manera voluntaria su conocimiento y formarnos como los profesionales que hoy somos.

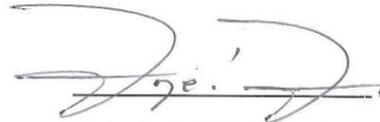
Gracias a la empresa Cerrejón, a la Escuela de Minas y a la UPTC

Y por último gracias a todas las personas que de una u otra forma aportaron su granito de arena para que este trabajo de grado llegara a feliz término

NOTA DE ACEPTACION



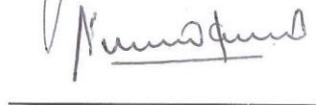
DIRECTOR DE ESCUELA



DIRECTOR DE PROYECTO



JURADO



JURADO

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a todas las personas que han formado parte de mi vida. A mi mamá (Gladys Romero), esa mujer tan linda que me dio la vida y me ayudó a crecer al lado de ella, quien es capaz de dar la vida por mí, la que no titubea en abrazarme cuando estoy triste y reírse conmigo cuando estoy feliz, gracias mamá.

A mi esposa Betty Reina, la que se ha comido las verdes y las maduras a mi lado sin decirme o reprocharme algo, esa hermosa mujer que con solo mirarme sabe lo que estoy pensando.

A mis hijos Jose Jorge, Nicolás David y Andrés Camilo, que son la razón de mi vivir, ellos son el motor que impulsa mi andar y por ellos lo haría todo.

A mi hermano esneider cerchar y mi suegra Alicia Torres, ellos me iluminan y me guían desde el cielo para que yo sea cada día mejor.

Papá (Luis Cerchar), gracias por apoyarme siempre y por esos consejos que aún me das.

Dedico este triunfo a mis Hermanos: Estefan, Miriam, Álvaro y Luis Esneider quienes me impulsaron hasta llegar a la meta y apoyándome económicamente en cada paso que di.

Gracias Dios, por darme otra familia en Sogamoso, que aunque no llevan mi sangre me han demostrado que somos hermanos y cuando he llorado y he reído han estado conmigo, Ricardo Carias, Noralba Solano, William Ruiz, Fredy Cárdenas, Javier Brito, Jackson y Jesús Cuadrado mi formula, la única persona que me gana en terquedad.

DEDICATORIA

“Mi alma alaba la grandeza del señor y mi espíritu se alegra en Dios mi salvador”, gracias Dios porque sin tu voluntad nada de esto sería posible. Una vez más, gracias papá (Isaías Cuadrado) porque más que un apoyo económico, por ti y tu trabajo inicié esta carrera y hoy la puedo finalizar. Idalis mi reina, la que tolero todo en este largo camino y ser mi apoyo y mi confidente en cada una de las adversidades, gracias mamá por ser tú. A mis hermanas María B. por tus regaños, por estar pendiente de mí, porque cuando te necesite nunca me diste un no, y mi Leticia, que a pesar de la distancia más consejos de ti no pude recibir. Mi nueva inspiración, hace 4 meses que estás conmigo, Gabriella Lucia, aunque no naciste al momento de estar estudiando, fuiste mi mayor impulso para finalizarlo todo, te amo hija, y gracias a ti Liz Janeth Ramírez, por hacerme el hombre más feliz del mundo dándome la dicha de ser papá y por jugarte todo y nada conmigo. “Mama Dilia y los muchachos” gracias por darme fuerzas desde otro país y oraciones para que todo me saliera bien. Fío Enrique tú y yo sabemos lo que hacías “por tus muchachitos”, gracias por cuidarme desde allá arriba. Daniel Felipe, primo, compadre y amigo incondicional, gracias por estar ahí cuando te pedí ayudas. A mi familia en general, gracias porque cada uno aportó para ser hoy quien soy.

Mis amigos, los que supieron comerse las verdes y las maduras, en un lugar lejos del nuestro. Freddy Cárdenas, para ti no tengo palabras, mi amigo, mi compadre, mi hermano de otra madre, sobra decirte que te quiero y que sin ti me estuviera faltando aun para ser ingeniero, Dios te bendiga y que siempre estés conmigo. Jackson Gonzales, gracias por tus ayudas, apoyos y consejos, siempre serás de los míos. Javier Bolívar, aunque a veces te molestabas por mí, siempre fuiste incondicional, gracias por tu paciencia y por estar dispuesto siempre a cocinar para tus amigos. Álvaro Carlos, gracias manito, porque hasta último momento sé que puedo contar contigo así como lo fue a lo largo de la carrera. “Lucho Cerchar” que puedo decir de Ud. señor, estoy más que agradecido contigo, eres el señor mayor que un grupo necesita para amargarse la vida un rato y gracias por la alimentación por tanto tiempo, ojalá seas alcalde algún día. “Limoncito” siempre será alguien especial para mí, gracias por todo. Miguel Lobo, Michel B. los amigos de la cuadra gracias por estar conmigo en todo, porque de alguna manera siempre me dieron la mano. Windys Pinto, Cesar Cortes, José H. Oñate, Omar Foncel, Miguel Vanegas, Nacho Arias, gracias por todo muchachos.

A todos, y a las personas que no están en estas páginas, gracias por ayudarme a hacer hoy mi sueño realidad, ser un Ingeniero de Minas.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	16
INTRODUCCIÓN	17
JUSTIFICACIÓN	18
OBJETIVOS	19
Objetivo General.	19
Objetivo Específico.	19
1. GENERALIDADES	20
1.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA Y VIAS DE ACCESO	20
1.2 PROBLEMA	21
1.2.1 Descripción del problema.	21
1.3 MARCO TEORICO	22
1.3.1 Característica de funcionamiento de la llanta.	22
1.3.2 Clasificación internacional de la llanta.	23
1.3.3 Clasificación de la llanta.	26
1.3.4 Interpretación de la lectura en el costado de la llanta.	26
1.3.4.1 Ancho de la llanta.	27
1.3.4.2 Serie de la llanta.	27
1.3.4.3 Estructura radial.	27
1.3.4.4 Diámetro entre talones.	27
1.3.4.5 Código de identificación para transporte.	27
1.3.4.6 Profundidad de escultura.	28
1.3.4.7 Resistencia de la llanta.	29
1.3.4.8 Índice de carga.	29
1.3.4.9 Tipo de banda de rodamiento.	29
1.3.4.10 Diseño de la escultura.	29
1.3.4.11 Código de velocidad.	30
1.3.4.12 Presión de inflado.	30
1.4 METODOLOGIA DEL SIX-SIGMA	30
1.4.1 Fases y pasos del six-sigma.	31
1.4.2 Diagrama de Pareto.	32
1.4.3 Histograma.	32
1.4.4 Graficas de tendencia.	32
1.5 CICLO DMAMC	32
1.6 CICLO DE VIDA DEL EQUIPO DMAMC	32

	Pág.
2. DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ACTUAL	33
2.1 ASPECTOS FISIOGRAFICOS	33
2.1.1 Clima.	33
2.2 IDENTIFICACION DEL PROCESO MINERO EN EL CERREJON	33
2.2.1. Descripción del proceso minero en el cerrejón.	33
2.2.2 Equipos principales y auxiliares en el proceso de producción.	36
2.3 ESTADOACTUAL DE LA FLOTA DE CAMINONES EUCLID EH 5000	36
2.3.1 Capacidades del equipo.	37
2.3.2 Estado actual de la llanta 53/80 R 63.	37
2.4 DAÑOS MÁS USUALES	38
2.5 INFLUENCIA DE LA PRESION EN LAS LLANTAS	39
2.5.1 Presión de inflado.	40
2.6 INFLUENCIA DE LA CARGA EN LAS LLANTA	41
2.7 INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCION DE LA CARGA SOBRE LAS LLANTAS	42
2.8 INFLUENCIA DEL MANTENIMIENTO DEL CAMION SOBRE LAS LLANTAS	44
2.9 INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE LA VIA SOBRE LAS LLANTAS	45
2.10 INFLUENCIA DE LOS TKPH (TONELADAS KILOMETROS POR HORA)	45
2.10.1 Influencia de los TKPH sobre las llantas.	45
2.10.2 cómo utilizar ton-kilometro por hora.	45
2.10.3 Ajustes TKPH.	45
2.10.4 TKPH factores de conversión.	46
2.11 INFLUENCIA DEL OPERADOR	46
2.12 CONDICIONES DE LAS VIAS	46
2.12.1 Vías con superficie irregular.	46
2.12.2. Vías con superficie húmeda.	47
2.12.3 Curvas con rocas.	48
2.12.4 Caída de rocas en la zona de cargas.	49
2.12.5 Caída de material.	50
3. ANALISIS SIX-SIGMA	51
3.1 ANÁLISIS DE CALIDAD	51
3.2 ANÁLISIS TRIMESTRAL A DOS AÑOS	55
3.3 ANÁLISIS DE DIAGRAMAS CAUSA- EFECTO	57
3.4 ANALISIS POR HISTOGRAMAS	59

	Pág.
3.4.1 Separación por corte vs carga.	59
3.4.2 Separación por corte en el centro de la banda vs carga.	63
3.4.3 Fallas de reparación vs carga.	66
3.5 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE CAUSAS Y EFECTOS	69
3.5.1 Análisis de correlación carga vs separación por corte.	69
3.5.2 Análisis de correlación carga vs separación por corte en el centro de la banda.	71
3.5.3 Análisis de correlación carga vs fallas de reparación.	73
3.6 CARTAS DE CONTROL	74
3.6.1 Carta de control separación por corte.	74
3.6.2 Carta de control separación por corte en el centro de la banda.	75
4. ALTERNATIVAS DE MEJORAS	79
5. ALTERNATIVAS PARA LLANTAS DESECHADAS	81
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización geográfica de la mina el Cerrejón.	20
Figura 2. Polígono del área de trabajo.	21
Figura 3. Estimación de costo por operación minera.	23
Figura 4. Partes de una llanta radial.	23
Figura 5. Estructura de la llanta.	24
Figura 6. Clasificación internacional de la llanta OTR.	26
Figura 7. Información consignada en el costado de la llanta.	21
Figura 8. Profundidad de la escultura de la llanta.	26
Figura 9. Tipos de banda de rodamiento.	30
Figura 10. Fases y pasos del Six sigma.	31
Figura 11. Proceso minero en el Cerrejón.	36
Figura 12. Ensayo de presión en la llanta 53/80 R 63.	40
Figura 13. Sobrecarga Vs vida útil de la llanta.	42
Figura 14. Diagrama de Pareto de causa-frecuencia.	54
Figura 15. Pareto trimestre 1.	55
Figura 16. Pareto trimestre 2.	55
Figura 17. Pareto trimestre 3.	55
Figura 18. Pareto trimestre 4.	55
Figura 19. Pareto trimestre 5.	56
Figura 20. Pareto trimestre 6.	56
Figura 21. Pareto trimestre 7.	56
Figura 22. Pareto trimestre 8.	56
Figura 23. Relación causa – efecto.	57
Figura 24. Causa – efecto separación por corte.	58
Figura 25. Causa – efecto separación por corte en el centro de la banda.	58
Figura 26. Causa – efecto fallas de reparación.	59
Figura 27. Histograma separación por corte vs carga.	61
Figura 28. Histograma frente 1.	62
Figura 29. Histograma frente 2.	62
Figura 30. Dispersión de carga.	63
Figura 31. Dispersión de carga 2.	63
Figura 32. Histograma de separación por corte en el centro de la banda.	64
Figura 33. Histograma frente 1 vs carga.	65
Figura 34. Histograma frente 2 vs carga.	65
Figura 35. Dispersión de carga.	66
Figura 36. Dispersión de carga 2.	66
Figura 37. Histograma fallas de reparación vs carga.	67
Figura 38. Histograma frente 1 falla de reparación.	68
Figura 39. Histograma frente 2 fallas de reparación.	68
Figura 40. Dispersión de carga.	69
Figura 41. Dispersión de carga 2.	69
Figura 42. Gráfico correlación carga vs separación por corte.	71

Figura 43. Gráfico correlación carga vs separación por corte en el C.B.	72
Figura 44. Gráfico correlación carga vs fallas de reparación.	73
Figura 45. Gráfico de control separación por corte vs carga.	74
Figura 46. Gráfico de control frente 1.	75
Figura 47. Gráfico de control frente 2.	75
Figura 48. Gráfico de control separación por corte en el C.B vs carga.	76
Figura 49. Gráfico de control frente 1.	76
Figura 50. Gráfico de control frente 2.	77
Figura 51. Gráfico de control fallas de reparación vs carga.	77
Figura 52. Gráfico de control frente 1.	78
Figura 53. Gráfico de control frente 2.	78

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Coordenadas del área de trabajo.	6
Cuadro 2. Información técnica-económica de la llanta.	25
Cuadro 3. Información de la llanta 53/80 R 63 XKD1 C4.	25
Cuadro 4. Capacidades del equipo.	37
Cuadro 5. Causa – frecuencia.	54
Cuadro 6. Carga vs defectos.	60
Cuadro 7. Carga vs defectos.	63
Cuadro 8. Defectos vs carga.	66
Cuadro 9. Defectos separación por corte y cargas.	70
Cuadro 10. Defectos por separación por corte en el C.B vs cargas.	71
Cuadro 11. Defectos fallas de reparación y cargas.	73

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Cargue de material estéril.	34
Foto 2. Cargue de carbón.	35
Foto 3. Daños más comunes en la llanta.	39
Foto 4. Sobrecarga. Derrame de material.	41
Foto 5. Posición de la carga. (Descentrado).	43
Foto 6. Carga centrada.	43
Foto 7. Desgaste irregular de la llanta.	44
Foto 8. Superficie irregular (ondulaciones).	47
Foto 9. Superficie húmeda.	48
Foto 10. Presencia de material derramado en curva.	48
Foto 11. Aculatamiento, en zona de cargue.	49
Foto 12. Pisado de material en la zona de cargue.	49
Foto 13. Caída de material por sobrecargue.	50
Foto 14. Accidente.	52
Foto 15. Accidente.	52
Foto 16. Separación por corte.	52
Foto 17. Estallido.	52
Foto 18. Corte en el costado.	53
Foto 19. Impacto con roca.	53
Foto 20. Falla de reparación.	53
Foto 21. Daño en el talón.	53
Foto 22. Desgaste total.	53
Foto 23. Corrida desinflada.	53
Foto 24. Cementerio de llantas.	81
Foto 25. Topes de estacionamiento y reductor de velocidad.	82

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Base de datos

RESUMEN

Las compañías mineras solicitan a los fabricantes equipos de mayor capacidad, “En los años 30 los neumáticos OTR medían 1,3 metros de diámetro. Hoy, los neumáticos miden 4,3 y soportan una carga superior a 100.000 kilos cada uno.”¹

En este proyecto se hace énfasis en la aplicación del programa Six Sigma para la ampliación de la vida útil de la llanta 53/80 r 63 en carbones del Cerrejón, entiéndase como programa, la aplicación de una metodología para no confundirse con un software.

En el capítulo 1 se inicia con las generalidades donde se detallan aspectos como la localización geográfica de la zona de estudio; se plantea, se describe y se justifica el problema de la vida útil de las llantas en cerrejón, así mismo tenemos la justificación. También se encuentra plasmada información sobre marco teórico, metodología del Six Sigma, el ciclo DMAMC.

En el capítulo 2 se encuentra información sobre la situación actual de la mina el Cerrejón, los aspectos fisiográficos y la identificación del proceso minero. Igualmente se presenta el estado actual de la flota de camiones Euclid EH 5000, los daños más usuales en la llanta 53/80 R63 y por último se encuentra la influencia que tienen la presión, la distribución de la carga, el mantenimiento, las condiciones de las vías, los TKPH y el operador sobre las llantas en estudio.

En el capítulo 3 se plasman los estudios de la metodología Six Sigma mediante la utilización de herramientas estadísticas como Excel y Mini Tab 15, en los cuales se relacionan diferentes análisis, entre los que se encuentran: análisis de calidad, análisis trimestral a dos años, análisis de diagrama causa-efecto, análisis por histograma y el análisis de correlación entre causas y efectos mediante la interpretación de diagramas de Pareto, cartas de control, diagrama de Ishikawa, gráficos de correlación y dispersión.

En el capítulo 4 se establecen las alternativas de mejora para el alargamiento de la vida útil de la llanta 53/80 R 63 en el Cerrejón.

En el capítulo 5 se tratan las alternativas para la disposición y reutilización de las llantas desechadas. Por último se encuentran las conclusiones y recomendaciones arrojadas por este proyecto, además se tienen las referencias bibliográficas y los documentos anexos que fueron utilizados en el mismo.

¹ .Colombia, la Guajira. Cerrejon.2013. Cerrejón al día: las llantas gigantes del cerrajón. Ed 72.Barranquilla: consejo editorial cerrejón; p. 7.

INTRODUCCIÓN

En la mina de carbón el Cerrejón, por ser una de las más grandes del mundo en su tipo, es necesario el uso de maquinaria pesada de gran capacidad como los camiones de acarreo de estéril, los EUCLID EH5000 de 320 ton, pero con un peso bruto de 512 ton.

Por todo lo anterior y debido a la necesidad de elevar la producción a 32 millones de toneladas de carbón al año y al costo tan elevado de la maquinaria de aproximadamente cuatro millones de dólares (precio del camión EH 5000), el Departamento de Planeación Corporativa en el Cerrejón LLC, inició la metodología “Six Sigma” encargado de la implementación de la metodología del mejoramiento continuo, la cual es una herramienta para incrementar la productividad de los procesos mineros, se basa en el análisis estadístico de datos para identificar y resolver las causas de las ineficiencias o problemas.

“Six Sigma” permitirá reducir la variabilidad de los procesos, incrementar su capacidad y mejorar la confiabilidad de los resultados. Esta herramienta ha sido aplicada por organizaciones de clase mundial, tales como Motorola, General Electric, Boeing y otras, las cuales han obtenido excelentes resultados en sus negocios.

La metodología del programa “Six Sigma” por el momento está enfocada en el mejoramiento de procesos de los departamentos de Producción y de Mantenimiento entre otros, uno de los proyectos que se pondrá en marcha es la **APLICACIÓN DEL PROGRAMA SIX SIGMA PARA LA AMPLIACION DE LA VIDA ÚTIL DE LA LLANTA 53/80 R 63 EN CARBONES DEL CERREJON.**

Según cifras estadísticas de la compañía, sólo el 7% de la llantas son dadas de baja por desgaste natural, mientras que un 75% son sacadas de circulación por cortes en la superficie y en las paredes laterales debido a malas prácticas operacionales.²

Se presenta este proyecto con el fin de poder dar una solución al problema de las llantas 53/80 R 63, debido a que el alargamiento de la vida útil de estas ofrece mayor estabilidad en los procesos de transporte del material lo cual se verá reflejado en la capacidad de producción.

² . Colombia, Cerrejón. (2014). Sesenta días: más tiempo de vida a las llantas. Ed. 63. Barranquilla: consejo editorial de cerrajón; p. 17.

JUSTIFICACION

El proceso minero del Cerrejón es repetitivo y existen equipos con funciones específicas que deben llevar a cabo su tarea para que otros inicien la suya, o trabajar simultáneamente en algunos casos, pero de todas formas, si los camiones EH 5000 de acarreo de estéril, por falta de las llantas se vieran en la necesidad de parar su labor se comprometería toda la producción hasta reducirse en un 75%.

Con la puesta en marcha del proceso de recuperación de las llantas, la empresa generará empleo para mano de obra calificada y no calificada viéndose un aprovechamiento laboral en la comunidad y a su vez el Cerrejón se vería favorecido al recuperar un porcentaje de uso de las llantas. Por otro lado, al haber una mayor disponibilidad de las llantas habrá mayor uso de la flota de camiones EH 5000 y esto contribuye con una mayor producción.

El Cerrejón es una mina de talla mundial, la cual debe cumplir con las exigencias de los estándares de calidad del medio ambiente.

Las llantas desechadas se constituyen en residuos orgánicos y deben ser tratados como lo establece el decreto 1713 del 2002 (gestión integral y disposición de residuos sólidos). Igualmente la mina está certificada en la norma ISO 14001-96 (sistema de gestión ambiental) y debe mantener un ambiente limpio.

OBJETIVOS

General

Aplicar la metodología del programa Six sigma para la ampliación de la vida útil de la llanta 53/80 R 63 en carbones del Cerrejón.

Específicos

Evaluar el estado actual de la llanta 53/80 R 63 con el fin de realizar un análisis comparativo y validación de los datos de campo.

Realizar un seguimiento en campo a la llanta 53/80 R 63 con el fin de determinar las posibles causas que limitan la vida útil de las mismas.

Realizar un análisis estadístico que permita con certeza dar una solución al problema de las llantas.

Determinar soluciones que permitan mitigar daños y ampliar la vida útil de la llanta 53/80 R 63.

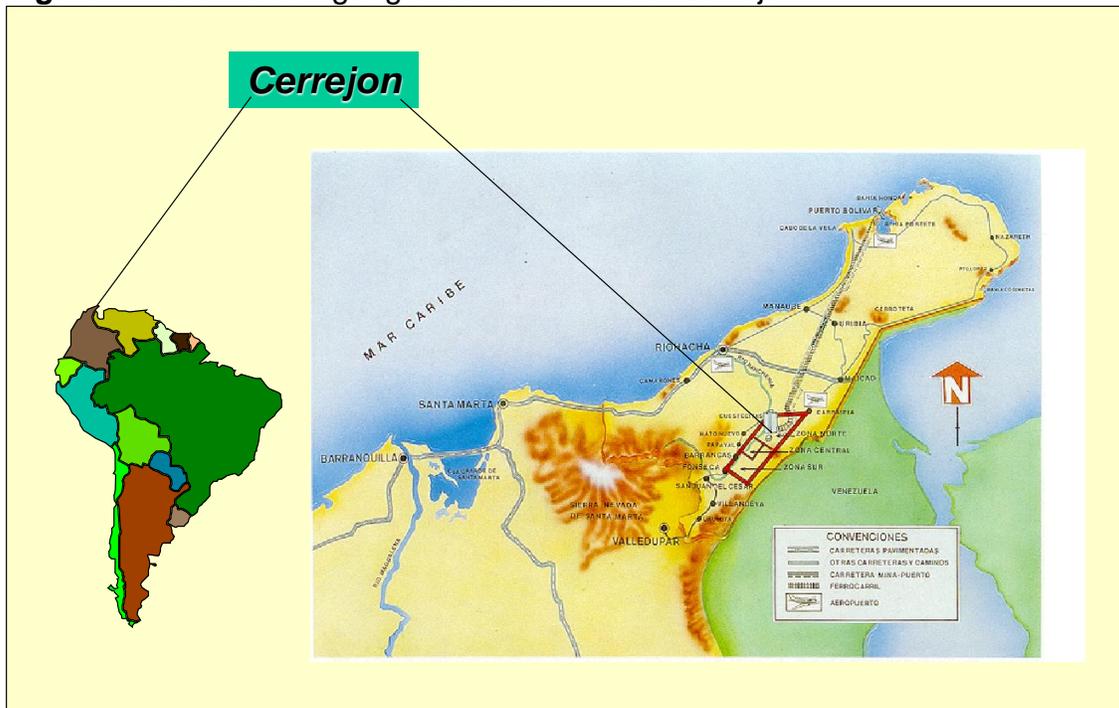
Proponer alternativas para la disposición final de las llantas que no pudieron ser sometidas al proceso de recuperación con el fin de evitar la contaminación ambiental y/o visual que estas generan.

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y VÍAS DE ACCESO

El complejo carbonífero del Cerrejón, se localiza en el extremo nororiental de Colombia, al sur del departamento de la Guajira, en los municipios de Hato nuevo, Barrancas y Albania. Limita al norte con la falla de Occa, al sur con el municipio de Fonseca, al oriente con la serranía de Perijá y al occidente con las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta; ocupa una extensión de aproximadamente 35 mil hectáreas. (Ver figura 1).

Figura 1. Localización geográfica de la mina el Cerrejón.

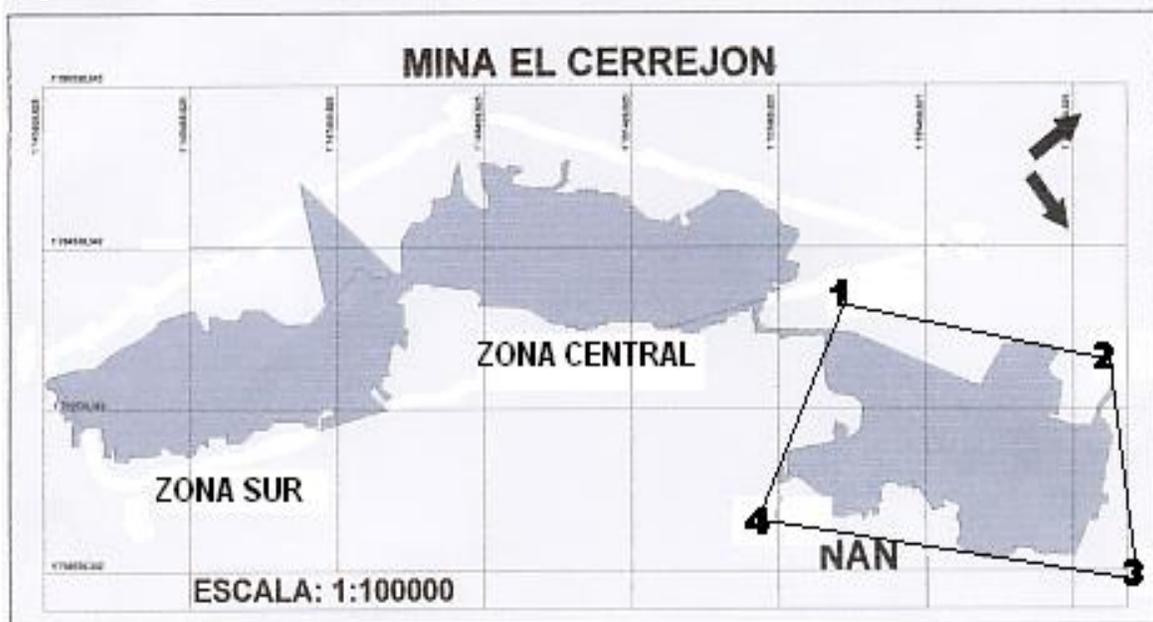


Fuente: Cerrejón.

El proyecto se desarrolla en la zona norte de la mina el Cerrejón en las Nuevas Áreas de Minería (NAM), en los tajos de la Puente, Tabaco extensión y Tabaco alto buzamiento.

(En la figura 2). Se ve el área de trabajo limitada por el polígono 1-2-3-4 con sus respectivas coordenadas en el (cuadro 1).

Figura 2. Polígono área de trabajo.



Fuente: Cerrejón.

Cuadro 1. Coordenadas del área de trabajo

COORDENADAS	X	Y
P1	1'154469,625	1'703530,342
P2	1'157854,351	1'702952,325
P3	1'158469,625	1'700530,342
P4	1'152850,318	1'700890,124

Fuente: Cerrejón.

1.2 PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema. En el complejo carbonífero del Cerrejón, una de las minas de carbón a cielo abierto más grande del mundo, opera la flota de acarreo de material estéril, compuesta por camiones que transportan desde 80 toneladas hasta camiones como los Euclid EH 5000 con capacidad de transportar 350 toneladas.

Desafortunadamente para la empresa, las llantas de los camiones no están cumpliendo con la expectativa de vida útil por diferentes causas. Los fabricantes proveedores Michelin y Bridgestone aseguran una garantía de vida útil de las llantas de ocho meses o 60.000 kilómetros, pero en realidad estas llantas están siendo

desechadas a los cuatro meses o a los 40.000 kilómetros debido a las malas prácticas operacionales, lo cual es un gran problema para la compañía no solo por la pérdida económica sino por la mala disposición de las llantas desechadas que ocasionan un problema ambiental y visual, además los proveedores no pueden cumplir con la demanda porque tienen sus inventarios comprometidos, lo cual es preocupante porque al pararse los camiones por falta de llantas también se disminuye la producción. Por lo anterior, este proyecto tiene la finalidad de dar solución al problema de la vida útil de las llantas 53/80 R 63 mediante la aplicación de la metodología del programa Six Sigma.

1.3 MARCO TEORICO

1.3.1 Características de funcionamiento de la llanta. La llanta es la pieza, normalmente metálica, sobre la que se asienta un neumático. En países como México, Guatemala, El Salvador y Colombia se llama llanta al neumático y a la rueda metálica, rin. Es un soporte redondo, normalmente con aberturas para lograr ligereza a la vez de permitir un flujo de aire.

Las llantas deben usarse bajo las recomendaciones del fabricante, elementos como el petróleo, el aceite y la grasa dañan y acortan la vida útil del caucho. En este sentido, no se deben almacenar junto a ninguno de estos productos ni tener mucho contacto con ellos.

La llanta es un componente de seguridad y único elemento de unión entre el suelo y el vehículo y afecta a los costos de mantenimiento y productividad de la máquina, una llanta de poco uso impactada, equivale (varía según las medidas) a la destrucción de un vehículo de gama media. Es importante que la llanta esté correctamente inflada ya que de esta manera se evita el recalentamiento y riesgos de deterioración de la misma.

Por otro lado es de mucha importancia el cuidado de las llantas porque esto implica un ahorro significativo en el consumo de materiales del camión que se traduce en pesos para La compañía. En Cerrejón, los ingenieros del departamento de planeación estiman que en el costo total por operación minera de un camión de 320 toneladas el 30% es destinado a la compra de llantas. (Ver Figura 3)

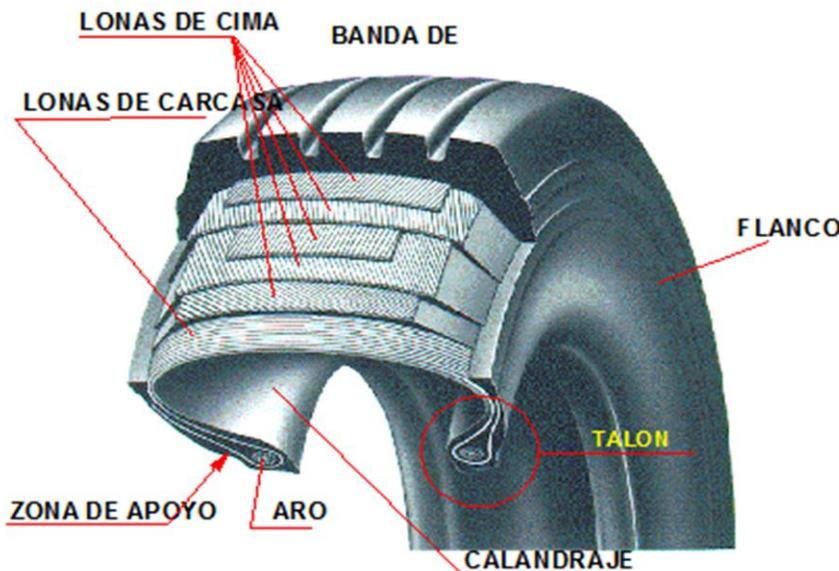
Figura 3. Estimación de costo total por operación minera.



Fuente: Cerrejón.

1.3.2 Clasificación internacional de la llanta. A primera vista, todas las llantas parecen iguales pero no es así, las llantas hoy ofrecen características de manejo, confort, agarre, vida útil y ahorro de combustible que exceden con mucho a las llantas diseñadas y construidas hace apenas unos años. Las llantas hoy son el resultado de una compleja arquitectura de cinturones de acero, cuerdas textiles y diseños de piso computarizados, todo combinado para ofrecer las características óptimas de comportamiento para cada tipo de llanta. (Ver figura 4).

Figura 4. Partes de una llanta radial

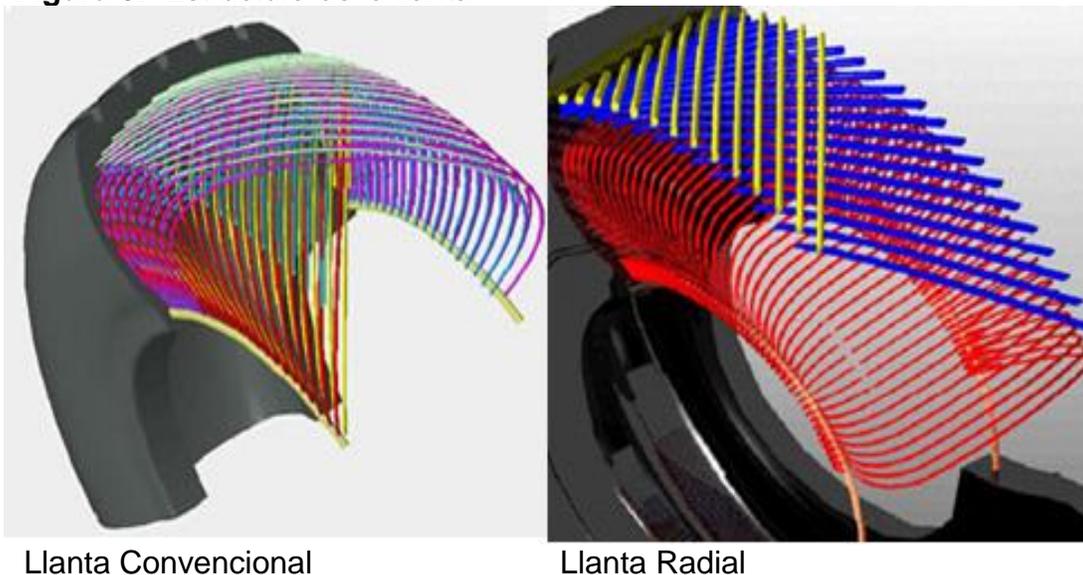


Fuente: Marcaje Michelin

En 1946, Michelin revolucionó la industria al introducir la llanta radial que se diferencia de la llanta “convencional” en su estructura, casco o carcasa, que es la parte interior que conforma los cimientos de la llanta. El casco está hecho de una serie de cables que combinados forman capas. En la llanta “convencional” estas capas están posicionadas de tal forma que los cables forman ángulos entre sí a lo largo de la llanta. En la llanta radial, los cables corren sin entrecruzarse, desde una ceja hasta la otra, semejando lo que serían radios de un círculo.

(En la figura 5.) Se observa la estructura convencional y radial de la llanta fabricada por el proveedor Michelin.

Figura 5. Estructura de la llanta



Fuente: Catálogo Michelin.

En el siguiente (cuadro 1), se puede observar información como el precio, talla, código de identificación y banda de rodadura de la llanta para diferentes equipos utilizados en minería y seguidamente en el (cuadro 2), se proporciona información sobre la llanta 53/80R63 y otros tamaños.

La información contenida en los cuadros (1 y 2), fue suministrada por el fabricante Bridgestone a la empresa, basada en los requerimientos exigidos por Cerrejón, quien posteriormente facilito de primera mano esta información para el desarrollo de este proyecto.

Cuadro 2. Información técnica-económica de la llanta.

Tipo de Vehículo	Banda de Rodadura	Código de Identificación	Talla	Precio / Dólares	
				Precio base	Descuento 28%
Basculantes articulados	XAD 65	E3	650/65R25	5,188.80	3,735.94
	XADN	E3	850/65R25	8,657.20	6,233.18
	XADT	E4	26.5R25	7,698.54	5,542.95
	XADT	E4	29.5R25	9,660.64	6,955.66
Dúmpers/Camión	XDR	E4	59/80R63	79,820.95	57,471.08
			58/80R63	78,540.30	56,549.01
	XKD1	E4	53/80R63	69,356.50	49,936.68
	XKD1	E4	50/80R57	61,196.10	44,061.19
	XKD1	E4	40.00R57	39,800.45	28,656.32
	XKD1	E4	37.00R57	25,095.12	18,068.48
	X RD DE TRACCIÓN	E4	23.5R25	3,167.48	2,280.58
			45/65R39	16,556.32	11,920.55
Cargador	XHA2	L3	21.00R25	7,947.65	5,722.31
	XLD D2	E3			
	XK	L3			

Fuente: Bridgestone.

Cuadro 3. Información de la llanta 53/80R63 XKD1 C4

Tamaños	Profundidad de escultura banda de rodadura						Diámetro		Radio cargado	
	(32nds)	(mm)	TMPH	TKPH	MSPN	TRANS	(in)	(mm)	(in)	(mm)
XKD1 A										
14.00R24	47	37	58	84	06874	E4	56	1412	25	632
18.00R25	59	47	91	133	12336	E4	66	1668	30	761
XKD1 B										
50/80R57	104	83	947	1382	81726	E4	142	3600	61	1558
53/80R63	112	88	--	--	44537	E4	--	--	--	--
55/80R63	106	84	--	--	74128	E4	--	--	--	--
XKD1 B4										
55/80R63	106	84	1019	1488	98908	E4	153	3887	66	1678
XKD1 C4										
53/80R63	112	88	1258	1837	68972	E4	148	3750	64	1630
55/80R63	106	84	1427	2083	86962	E4	153	3887	66	1678

Fuente: Bridgestone.

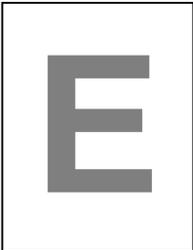
1.3.3 Clasificación internacional de la llanta OTR. Un aspecto de gran importancia en los equipos de minería es la clasificación de las llantas debido a que dependiendo del terreno en que se trabaje se necesita un tipo de llanta que se acomode a las exigencias del terreno. En Cerrejón se encuentran diferentes condiciones en las vías como pendientes pronunciadas, presencia de rocas, superficies húmedas, baches, entre otras. Por lo cual se necesita una llanta que reúna condiciones como buena tracción, alto TKPH, resistencia al corte, etc.

Al momento de clasificar una llanta para los camiones EH 5000 en el Cerrejón, se debe tener en cuenta que estos son equipo de transporte de estéril y la llanta necesita una cubierta para máquina de transporte (E), debido a la presencia de rocas, agua y pendientes de hasta 10% en las vías requiere una escultura profunda (4), por los rodajes muy rápidos en ciclos largos la banda de rodamiento debe ser resistente al calentamiento, a la velocidad, a los cortes y a los choques.

(En la figura 6), se muestra el código de especificación de la llanta y su respectiva clasificación.

Figura 6. Clasificación internacional de la llanta OTR

CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL

		
<p>Cub. para máquina de transp. E</p> <p>Cub. para máquina de trabajo L</p> <p style="padding-left: 20px;">Cub. Para niveladora G</p> <p style="padding-left: 20px;">Cub. Para compactadora C</p>	<p>1 Liso</p> <p>2 Acanalada tracción</p> <p>3 Roca Prof. normal</p> <p>4 Roca escultura profunda</p> <p>5 Roca superprofunda</p> <p>7 Flotación</p>	<p>R Resistencia</p> <p>V Velocidad</p> <p>F Flotación</p> <p>P Polivalente</p> <p>S/R Lisa/Roca</p> <p>T Tracción</p>

Fuente: Catalogo Michelin.

1.3.4 Interpretación de la lectura en el costado de la llanta. Las inscripciones laterales proporcionan una gran cantidad de información sobre la llanta. Si se sabe interpretar esta información, se puede ahorrar tiempo y contar con las bases para tomar decisiones de compra, uso y reparación de la misma. (Ver figura 7).

1.3.4.1 Ancho de la llanta. El número de dos dígitos hace referencia al ancho total de la sección de la llanta en pulgadas, es decir, la distancia entre las partes externas de los costados, sin considerar la disposición de las letras. Una llanta más ancha generalmente tendrá más agarre que una más delgada. En el ejemplo la llanta mide 53 pulgadas de ancho (134.6 cms).

1.3.4.2 Serie de la llanta. La serie de la llanta establece la relación entre el alto (H) y el ancho (W) de sección. En este caso el alto es de aproximadamente el 80% del ancho de la llanta. Cuando se habla de alto se refiere a la medida del costado de la llanta.

En el ejemplo la llanta mide del rin al piso (costado) el 80% de lo ancho (53 pulgadas) o sea $53 \times 80\% = 42.4$ pulgadas. También se puede calcular como H/W ($42.4/53 = 0.8\%$).

1.3.4.3 Estructura radial. La letra “R” indica una disposición radial de las bandas de rodamiento. Las bandas de rodamiento se extienden desde una ceja (talón) hasta la otra, semejando lo que serían radios de un círculo para ofrecer resistencia, estabilidad, flexibilidad y comodidad de manejo.

1.3.4.4 Diámetro entre talones. El número indica que esta llanta se ajusta a un rin de un diámetro de 63 pulgadas. Quizá la expresión más clara para referirse al diámetro entre talones, es el diámetro del rin.

1.3.4.5 Código de identificación para transporte. Toda llanta tiene un código que identifica para que uso fue hecha, este código está representado por una letra y puede ser llanta para vehículo de transporte (E), para máquina de trabajo (L), para vehículo de pasajeros (P), para niveladora (G), para compactadora (C).

En este caso la llanta es para vehículo de transporte (Código de identificación E), que se destinan a vehículos y máquinas que operan a velocidades medias de hasta 60 km/h con distancia de ciclo de un máximo de 80 km. Presentan una mayor disipación de calor provocado por las altas velocidades, siendo indicados para máquinas de tipo scrapers, motoscrapers y camiones.

Figura 7. Información consignada en el costado de la llanta

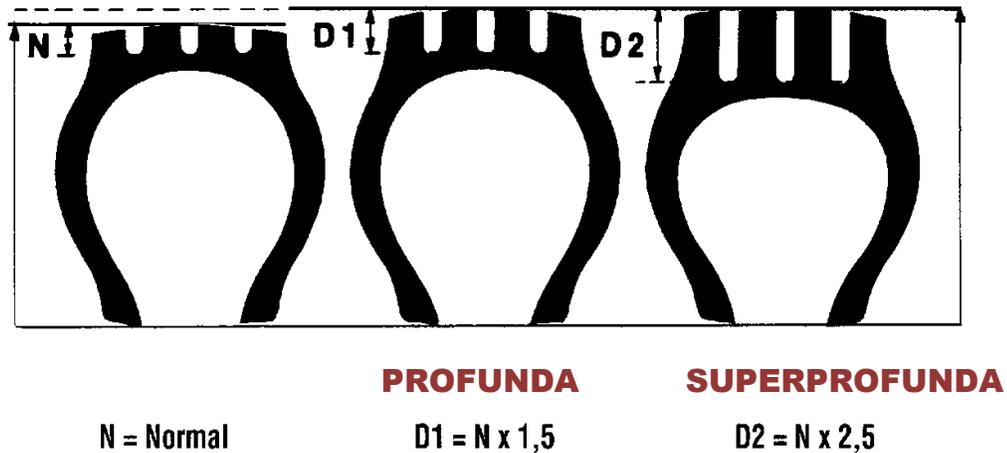


Fuente: Datos de estudio

1.3.4.6 Profundidad de escultura. La escultura de la llanta es el diseño específico de la banda de rodamiento, formado por los tacos de goma, surcos y ranuras. Varían según el tipo de uso, se representa por un número y puede ser 1 (escultura lisa), 2 (acanalada de tracción), 3 (profundidad normal), 4 (escultura profunda), 5 (escultura súper profunda), 7 (flotación).

La profundidad de la escultura de la banda de rodamiento de la llanta se calcula como lo muestra la (figura 8).

Figura 8. Profundidad de la escultura de la llanta.



E2/3-L2/L3-G2/G3

E4-L4

E5-L5

Fuente: Marcaje Michelin.

1.3.4.7 Resistencia de la llanta. Este código de especificación de la llanta aparece como una letra e indica la exigencia del terreno a la llanta. Puede ser R (Resistencia), V (Velocidad), F (Flotación), P (Polivalente), S (Lisa) y T (Tracción).

1.3.4.8 Índice de carga. Está representado por un número e indica el máximo peso bruto que la llanta puede soportar a una presión y a una velocidad recomendada por el fabricante.

1.3.4.9 Tipo de banda de rodamiento. A pesar de que las llantas tienen una gran similitud en cuanto a su diámetro, ancho, rin, capacidades, etc. Presentan una gran diferencia en el tipo de banda de rodamiento, es decir, la banda de rodamiento se elabora teniendo en cuenta el tipo de terreno donde va a ser usada la llanta.

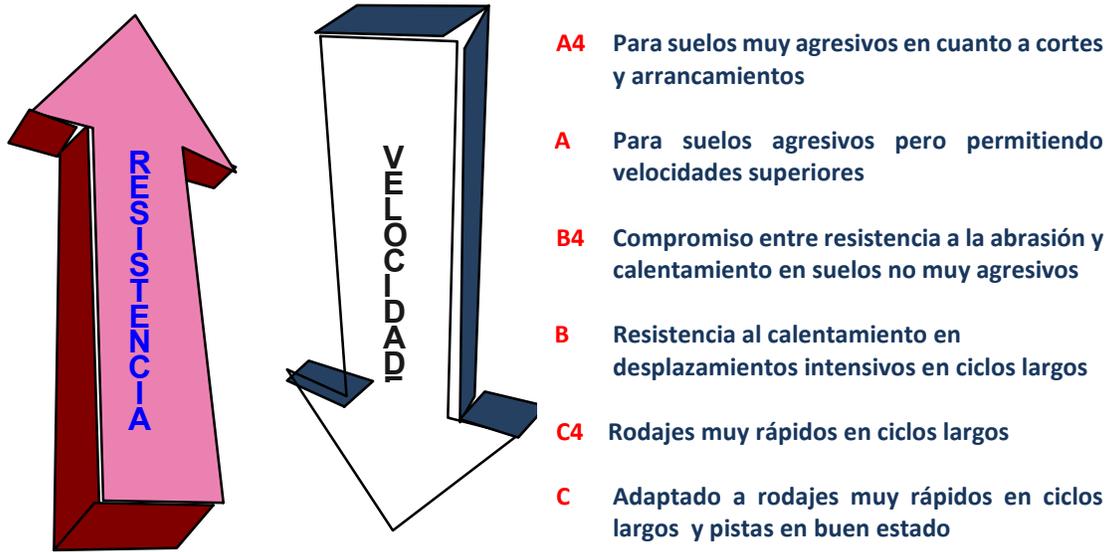
La (figura 9), muestra los tipos de banda de rodamientos, los suelos y las exigencias donde puede ser usada la llanta.

1.3.4.10 Diseño de la escultura. Este grupo de letras y números indica la forma que tiene la huella de la llanta, la escultura de la llanta se diseña de acuerdo al terreno y al área donde se vaya a usar.

1.3.4.11 Código de velocidad. Este código se compone de una o dos letras, o de una letra y un número. Indica la velocidad máxima permitida que la llanta puede rodar con una carga máxima especificada sin poner en riesgo la propia llanta.

1.3.4.12 Presión de inflado. Los valores máximos de inflado representan la presión máxima necesaria para el transporte de la carga

Figura 9. Tipos de banda de rodamiento.



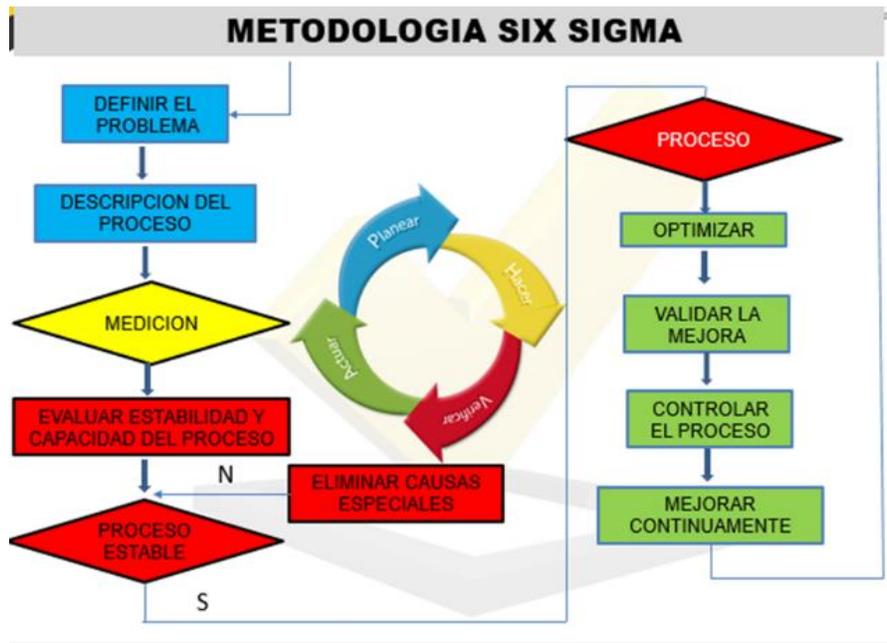
Fuente: Michelin

1.4 METODOLOGIA DEL SIX SIGMA (6σ)

Six sigma es una medida estadística del nivel del desempeño de un proceso o producto. Esta metodología representa una métrica, una filosofía de trabajo y una meta. Como métrica, Six sigma representa una manera de medir el desempeño de un proceso de un proceso en cuanto a su nivel de productos o servicios fuera de especificación.

Como filosofía de trabajo, Six sigma significa mejoramiento continuo de procesos y productos apoyado en la aplicación de la metodología Six sigma, la cual incluye principalmente el uso de herramientas estadísticas. Como meta, un proceso con nivel de calidad Six sigma significa estadísticamente tener un nivel de clase mundial al no producir servicios o productos defectuosos. (Ver figura 10).

Figura 10. Fases y pasos del Six-Sigma.



Fuente: Six-Sigma.

1.4.1 Fases y pasos del Six sigma

Planear

Definir el problema/ seleccionar el proyecto.
Definir y describir el proceso.

Hacer

Evaluar los sistemas de medición.
Determinar las variables significativas.
Evaluar la capacidad del proceso.
Optimizar el proceso.

Verificar

Validar la mejora.

Actuar

Controlar y dar seguimiento al proceso.
Mejorar continuamente.

1.4.2 Diagrama de Pareto. El diagrama de Pareto consiste en una gráfica de barras ordenadas de mayor a menor, donde cada barra representa el peso que tiene cada uno de los factores que analizan.

El objetivo del diagrama de Pareto es presentar información de manera que facilite la rápida visualización de los factores con mayor peso, para reducir su influencia en primer lugar.

1.4.3 Histograma. El histograma es una gráfica de barras que muestra la repartición de un grupo de datos. Su objetivo es visualizar la dispersión, el centrado y la forma de un grupo de datos.

1.4.4 Grafica de tendencias. La gráfica de tendencias es una herramienta que muestra la variación de una característica de interés de un proceso, durante cierto periodo.

Su objetivo es monitorear el comportamiento de dicha característica de interés de un proceso.

1.5 CICLO DMAMC

Los equipos de mejora, resolución de problemas y diseño de procesos son los componentes más visibles y activos de una iniciativa Six Sigma, en especial los primeros. Una de las cosas más atractivas de los equipos de Six Sigma es su diversidad. Los miembros suelen venir de diferentes departamentos, niveles, estudios, habilidades y experiencia. En el equipo, todos son iguales y las contribuciones de cada miembro son claves para lograr las mejoras radicales que busca la iniciativa Six Sigma.

Al juntar gente diversa en un equipo, es crítico tener un proceso común o modelo, que todos puedan compartir para lograr que se haga el trabajo. La respuesta a esta necesidad en Six Sigma es el proceso DMAMC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Siguiendo este proceso, un conjunto de cinco pasos, flexible pero poderoso, para lograr que las mejoras sucedan y se mantengan, el equipo pasa de una declaración del problema a una implementación de la solución, con muchas actividades en medio.

1.6 EL CICLO DE VIDA DEL EQUIPO DMAMC

El ciclo de vida de casi todos los equipos DMAMC consta de varias amplias fases, aunque estas fases variaran de una compañía a otra.

2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1 ASPECTOS FISIOGRAFICOS.

2.1.1 Clima. La Guajira presenta una variedad de climas de acuerdo con su orografía, el 94% del territorio es cálido, seco y semidesértico al nivel del mar, con temperaturas anuales que varían entre 30° C y 35° C durante el día y puede descender a los 20° C o aún menos en época de verano; el 3% es de clima medio y sub húmedo; el 2% es de clima frío y húmedo; y el 1% con temperaturas bajo cero en el área nivel de la Sierra Nevada de Santa Marta.

El patrón de lluvias es bimodal, la alta Guajira es la zona más seca del país. Registra en el año un promedio de 424 milímetros de lluvia, que es la precipitación de dos días en el departamento del Chocó. Un milímetro de agua equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie. En la media Guajira, donde está ubicada el área minera del Cerrejón, el promedio anual es de 960 milímetros, siendo el promedio anual de Colombia de 1.379 milímetros. Los periodos lluviosos corresponden a Abril-Junio y Septiembre-Noviembre, por causa del clima semidesértico la vegetación es de tipo cardonal y matorrales donde los árboles son escasos. Predominan los arbustos y en su mayoría son espinosos como el Trupillo, Aromo, Espino, y algunos árboles como el Carreto, Guayacán y la Ceiba.

2.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO MINERO EN EL CERREJÓN

El proceso minero en el Cerrejón comienza desde el momento en que el departamento de Planeación elabora los planes de minería para ejecutar en el corto, mediano y largo plazo.

Los tajos La Puente, Tabaco Alto Buzamiento y Tabaco Extensión, conocidos como las NAM (Nuevas Áreas de Minería), ubicados en la Zona Norte del Cerrejón son desarrollados en forma continua y secuencial, basada en la operación de maquinaria pesada como: Palas electrohidráulicas Komatsu PC8000, palas eléctricas P&H 2800 xpa, Retroexcavadoras Hitachi y O&K, Camiones Caterpillar de 240 ton y Camiones Euclid EH5000 de 320 ton.

2.2.1 Descripción del proceso minero en el Cerrejón. La minería de campo se inicia con el desmonte y descapote, los árboles maderables son cortados con motosierra y aprovechados para el cercado de predios y elaboración de estacas para topografía, posteriormente la capa vegetal es removida utilizando Traíllas, Tractores, Cargadores y Camiones. Todo el suelo recuperable es llevado y almacenado en un sitio adecuado para tal fin llamado “pilas de suelo”, con el fin de ser utilizado en el futuro para la restauración de áreas explotadas. Después de ser

removido el suelo vegetal, el equipo de voladura hace su trabajo y fragmenta el material estéril el cual es cargado por palas eléctricas que tienen una capacidad en el cucharón de 27 m³ (ver foto 1) y/o palas hidráulicas con capacidad de 20 m³ en el cucharón y transportado por los camiones Euclid EH 5000 de 320 ton hasta los botaderos de superficie o en las áreas de retrolenados.

Los camiones de estéril salen del tajo por rampas temporales construidas en la cara de avance del tajo y se dirigen a los botaderos por las vías perimetrales de la mina. En los botaderos suben hasta el máximo nivel del mismo a través de rampas construidas con una pendiente del 8%.

En las Nuevas Áreas de Minería (Tabaco y La Puente), la mayor operación es la remoción de estéril, se construyen bancos de 10 m de altura y presenta una relación de descapote de 6,7 – 1, es decir, por cada tonelada de carbón obtenido es necesario extraer 6,7 BCM (Metros Cúbicos en Banco) de estéril, lo que indica que para el 2015 se removerán y transportaran 214 400.000 metros cúbicos de estéril para obtener 32 millones de toneladas de carbón.

Foto 1. Cargue de material estéril.



Fuente: datos de estudio.

Para la apertura de bancos y la excavación de cuñas en la pared alta (highwall) se utilizan palas hidráulicas retroexcavadoras, el equipo minero avanza perpendicularmente desde la pared alta hasta la pared baja (footwall). Solamente cuando la distancia entre la pared alta y el primer manto de carbón es mayor a 30 m, la apertura de bancos se hace con palas eléctricas y después de la extracción del primer manto de carbón se continúa la operación normal de cargue con palas eléctricas e hidráulicas frontales.

Cuando el manto siguiente es alcanzado, el avance libre de la pala es interrumpido y la operación se vuelve dependiente en su totalidad del empuje de la cuña superior con tractor de orugas (D10/D11). Cuando el manto de carbón queda expuesto entonces está listo para la operación de limpieza y extracción.

Una vez que el manto de carbón se encuentra totalmente limpio es escarificado y empujado por los tractores de orugas (D10/D11) en el sentido del buzamiento hasta el nivel de piso donde es apilado. Si el espesor del manto de carbón es demasiado delgado y no permite la operación de tractores, entonces se utilizan las palas hidráulicas retroexcavadoras de largo alcance.

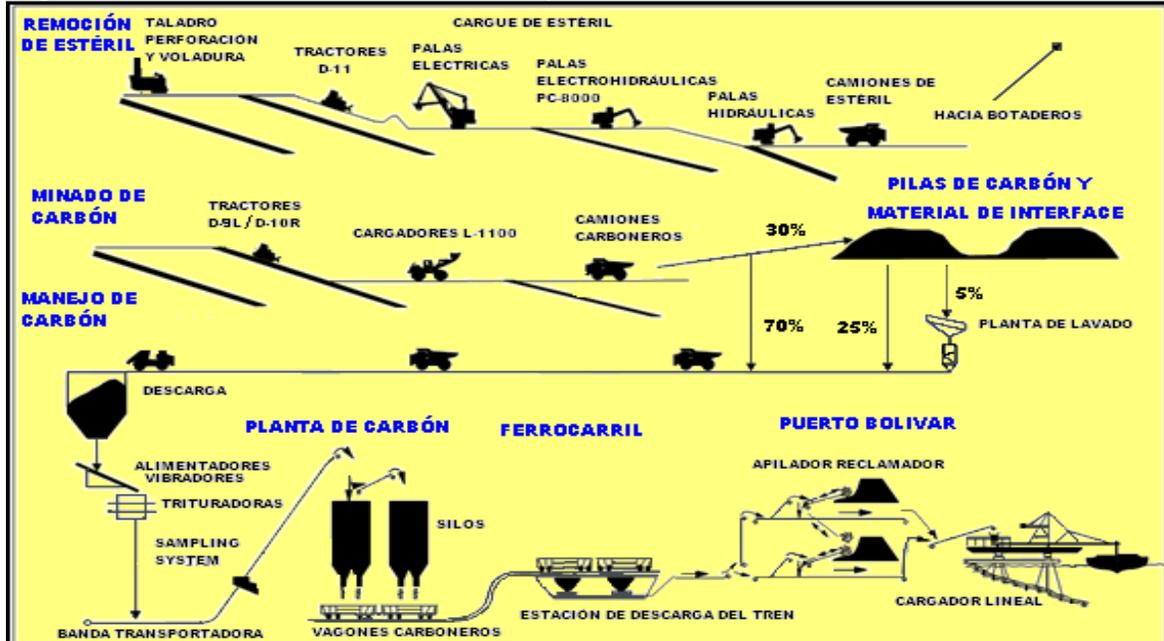
Los cargadores frontales de 17 m³ y 28 m³ de capacidad son los que cumplen la tarea de llenar los camiones carboneros de 170 y 190 ton. Los cuales salen del tajo y se dirigen a la vía de acarreo de carbón para llegar a las pilas de almacenamiento o a las instalaciones de trituración para descargar el carbón. (Ver foto 2).

Foto 2. Cargue de carbón.



Fuente: datos de estudio.

Figura 11. Proceso minero en el cerrejón.



Fuente: Cerrejón.

2.2.2 Equipos principales y auxiliares en el proceso de producción. El eje central de la operación minera en las NAM, es sin duda alguna las palas eléctricas y los camiones de acarreo de estéril Euclid EH5000 de 320 ton y los Caterpillar 789 C de 240 ton los cuales se encargan de remover y transportar el material (estéril y carbón).

Entre los equipos auxiliares tenemos aquellos que brindan soporte a la operación en las áreas de trabajo o tránsito con el fin de facilitar la labor de los equipos principales, los equipos auxiliares por su categoría no dejan de ser importantes ya que los equipos principales no podrían cumplir su función sin la ayuda de estos. Entre los equipos auxiliares tenemos:

- Tractores de llantas Caterpillar (834B/834G)
- Tractores de orugas Caterpillar (D9/D10/D11)
- Tanqueros
- Taladros
- Traíllas
- Motoniveladoras

2.3 ESTADO ACTUAL DE LA FLOTA DE CAMIONES EUCLID EH 5000

En la actualidad el cerrejón cuenta con una flota de 150 camiones Euclid EH 5000, que son los directamente responsables de transportar todo el material estéril removido. Estos 150 camiones trabajan turnos continuos, es decir que solo se paran

cuando se les va a hacer mantenimiento o cuando se presenta un accidente que requiere largo tiempo para la reparación del camión.

Debido al crecimiento programado de la producción de carbón en cerrejón la compañía se ve en la obligación de ensamblar dos camiones de 320 toneladas por mes, lo cual implica un consumo adicional de llantas.

2.3.1 Capacidades del equipo. En la flota de camiones Euclid EH 5000 encontramos dos tipos, los EH 320SB y los EH 320LB (de tolva liviana) los cuales solo se diferencian en el peso de la tolva y en que los camiones EH 320LB transportan mayor cantidad de material que los EH 320SB. (Ver cuadro 4).

Cuadro 4. Capacidades del equipo.

CAMION	Target Payload	Max Payload	Ultimate Payload	Payload CTD	Payload Dens	Peso Vacío	GMW	GMW Per Tire	Max Payload Per Tire	Tire Capacity 105psi	Max Tire Capacity 110psi
	Mt	Mt	Mt	Mt/BCM	BCM/Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt
EH 320SB	290	311	342	118	2.46	215	505	84.17	87.67	83.20	89.02
EH 320LB	312	330	362	129	2.42	200	512	85.33	88.33	83.20	89.02

Fuente: Euclid Hitachi

Target Payload = Carga especificada para el equipo

Max Payload = Carga máxima, no más del 10 % de las cargas deben superarla

Ultimate Payload = Ninguna carga debe sobrepasar este limite

Payload CTD = Factor de carga que usamos en CTD

Payload Dens = Densidad del material

GMW = Máximo peso bruto

Tire Capacity = Carga límite para la llanta

2.3.2 Estado actual de la llanta 53/80 R 63. Contrario a lo que los grandes fabricantes de llantas pronosticaron, la demanda de este producto en la industria minera se ha incrementado de una forma acelerada; los constantes pedidos de llantas para los grandes equipos de este negocio, han producido que el inventario de las mismas vaya decreciendo cada vez más.

Empresas de gran tradición en el sector como Michelin y Bridgestone, reconocen que actualmente el inventario de llantas para maquinaria pesada, se encuentra varios meses por debajo, a pesar de que sus fábricas están trabajando a la máxima capacidad.

No sólo los fabricantes de llantas están siendo afectados por el incumplimiento hacia sus clientes, sino empresas como Caterpillar, Hitachi y Komatsu se han visto

abocadas a perder un sin número de negocios por no poder suministrar sus equipos con las llantas respectivas.

En base en la experiencia de demanda y oferta tres años atrás de las llantas para minería, que eran muy poco fluctuantes, los grandes fabricantes no se preocuparon por ampliar y realizar nuevas inversiones para el área de la minería. Sin embargo, lejos de todo pronóstico, el mercado de estas llantas aumentó más del 30% en los dos últimos años. De tal modo que, actualmente, no hay forma de suplir los pedidos, por lo menos durante el año venidero.³

Sumado a lo anterior, muchas minas en el mundo expandieron su producción, otras volvieron a funcionar y otras más se han creado. El aumento en la producción minera demanda igual aumento de equipos y, por consiguiente, de llantas.

Así mismo, hay que agregar otro factor de suma importancia. La demanda de llantas también ha crecido, porque a muchas de ellas se les da de baja antes de tiempo por malas prácticas operativas. La operación de equipo pesado no está ejerciendo las medidas correspondiente para alargar la vida útil de las llantas, ni mucho menos darle el uso adecuado que garantice la expectativa de uso que el fabricante ofrece.

2.4 DAÑOS MÁS USUALES

Entre los daños más comunes que se presentan y que además pueden ocasionar lesiones irreversibles y hasta la dada de baja de la llanta tenemos los siguientes. (Ver foto 3).

- Accidente
- Corrida desinflada
- Corte en el costado
- Daño en el talón
- Desgaste total
- Estallido
- Fallas de reparación
- Impacto con roca
- Separación por corte
- Separación por corte en el centro de la roca

³ . Colombia, Cerrejón. (2014). Sesenta días: más tiempo de vida a las llantas. Ed. 63. Barranquilla: consejo editorial de cerrajón; p. 17.

Foto 3. Daños más comunes en la llanta



Banda de rodamiento



Desgaste



Impacto con roca



Desgaste



Corte en el costado



Daño en el talón



Carcasa y goma interior



Separación en C.B



Carcasa y banda

Fuente: Cerrejón

2.5 INFLUENCIA DE LA PRESIÓN EN LAS LLANTAS

La presión es un componente esencial para la llanta, mantener la presión de inflado correcta es absolutamente necesario e influye en la seguridad, resistencia al rodamiento, el consumo de combustible, el confort y previene los desgastes y deterioros irregulares.

Cuando la presión no es la adecuada para una determinada carga, la llanta se deforma, la banda de rodadura no se apoya correctamente en el suelo y, en ella, aparecen desgastes característicos, penalizando la duración y desempeño de la llanta.

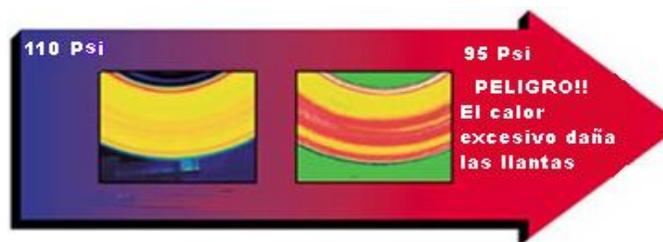
El rodaje con presión insuficiente puede provocar, entre otras cosas:

Flexiones exageradas de la llanta provocando daños en los costados.

Deformaciones y roturas en su interior.
Mayor consumo de combustible.
Calentamiento anormal, con desprendimiento de lonas.
Rotura de la carcasa.

2.5.1 Presión de inflado. El neumático con presión por debajo de la recomendada tiene su vida útil reducida 15%. La peor condición es la falta de presión. Además del desgaste más rápido habrá pérdida de recapabilidad (aumento de la fatiga en la estructura) pudiendo llevar todavía a roturas en el neumático y hasta separación de la banda de rodamiento. Por otro lado, el exceso de presión aunque menos perjudicial que la presión baja, puede llevar a roturas en el neumático debido a impactos.⁴

Figura 12. Ensayo de presión en la llanta 53/80R6



Fuente: datos de estudio

Observaciones:

Un inflado insuficiente en un 10% reduce la duración del neumático en un 10%.
Un inflado insuficiente en un 20 % reduce la duración del neumático en un 25%.
Un inflado insuficiente en un 30% reduce la duración del neumático en un 50%.
Un sobre inflado de un 10% reduce la duración del neumático en un 5%.
Un sobre inflado de un 20% reduce la duración del neumático en un 10%.
Un sobre inflado de un 30% reduce la duración del neumático en un 20%.

Una reducción de la duración del 50% significa una duplicación del consumo en neumáticos, y por consiguiente, un presupuesto en neumáticos multiplicado por dos.⁵

⁴ México. Conuee. (2012). Cuidado de los neumáticos: guía para el uso eficiente de la energía en el transporte. Ed. 3. México DF: sener; p. 19-20.

⁵ Tomado de: Manual básico de llantas OTR. Cap. 3; p. 22-23.

2.6 INFLUENCIA DE LA CARGA EN LAS LLANTAS

Muchas veces se suele confundir la sobrecarga con la falta de presión. La sobrecarga se da cuando el peso incidente sobre el neumático o excede lo especificado en su capacidad de carga, independientemente de la presión con la cual puede estar. Como no se debe calibrar al neumático con presión por arriba de la máxima indicada en la tabla para su capacidad de carga, normalmente los dos problemas se suman. Debido a esto la sobrecarga puede dar como resultados pérdidas aún más acentuadas que la baja de presión aislada. (Ver foto 4).

Uno de los primeros efectos de la sobrecarga, es la pérdida de kilometraje. Una sobrecarga de solo el 10%, provoca una pérdida del 15% en la vida útil del neumático, así como se produce el exceso en el consumo de combustible y eventuales daños prematuros en la carcasa.⁶ (Ver figura 13.)

Es frecuente encontrar situaciones de sobrecarga ocasionadas por:

- Densidad del material y su estado
- Cantidad del material cargado
- Posición en que se estiba la carga
- Modificaciones del equipo estándar de la maquina

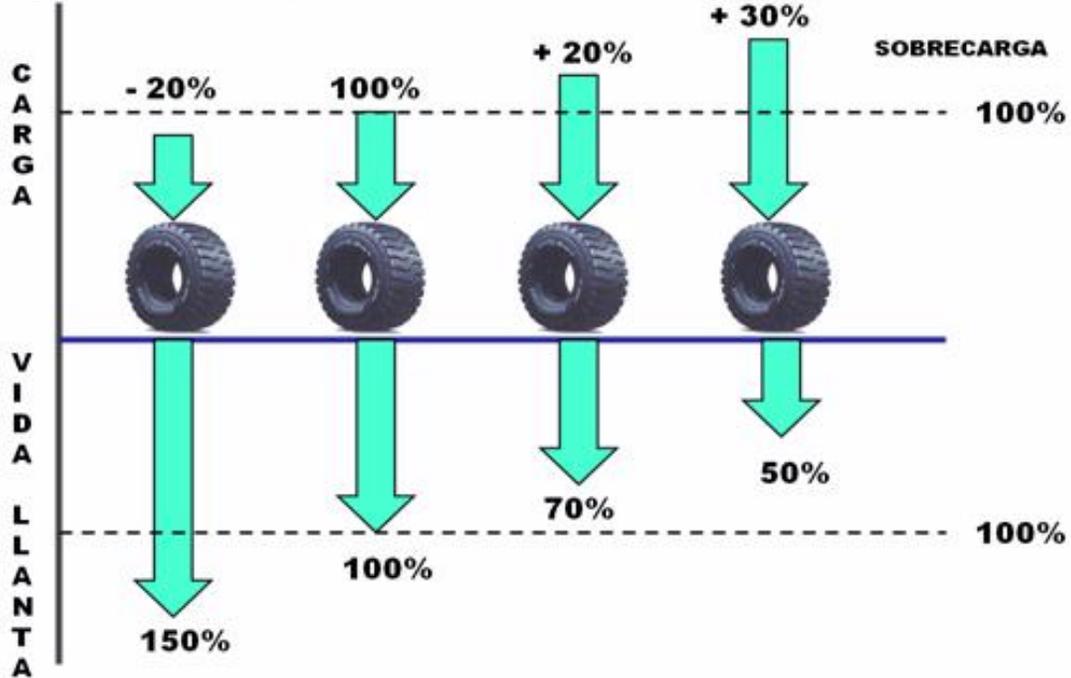
Foto 4. Sobrecarga. Derrame de material cargado en camión.



Fuente: Cerrejón

⁶. México. Conuee. (2012). Cuidado de los neumáticos: guía para el uso eficiente de la energía en el transporte. Ed. 3. México DF: sener; p. 20-21.

Figura 13. Sobrecarga vs vida útil de la llanta.



Fuente: datos de estudio.

2.7 INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCION DE LA CARGA SOBRE LAS LLANTAS

La habilidad del operador del equipo de cargue, resulta determinante para la contribución en la ayuda de la vida de la llanta. La posición de la carga al estar en el camión, debe ser centralizada, con el fin de no sobrecargar tanto el conjunto derecho como el izquierdo de las llantas.

Una carga descentralizada, realizando sobrecarga, ocasiona una pérdida de rendimiento casi directamente proporcional al conjunto de llantas y por lo tanto reduce la vida útil de la misma. (Ver fotos 5 y 6).

Foto 5. Posición de la carga (descentrado)



Fuente: Cerrejón.

En la siguiente figura 6, se presenta la forma correcta en la que el operador de cargue debe centralizar la carga en el camión,

Foto 6. Carga centrada



Fuente: Cerrejón

2.8 INFLUENCIA DEL MANTENIMIENTO DEL CAMIÓN SOBRE LAS LLANTAS

El mal estado mecánico de un camión, puede influir en la duración de la vida de los neumáticos.

Unos frenos defectuosos, hacen que se calienten excesivamente las ruedas metálicas y, por tanto, los neumáticos.

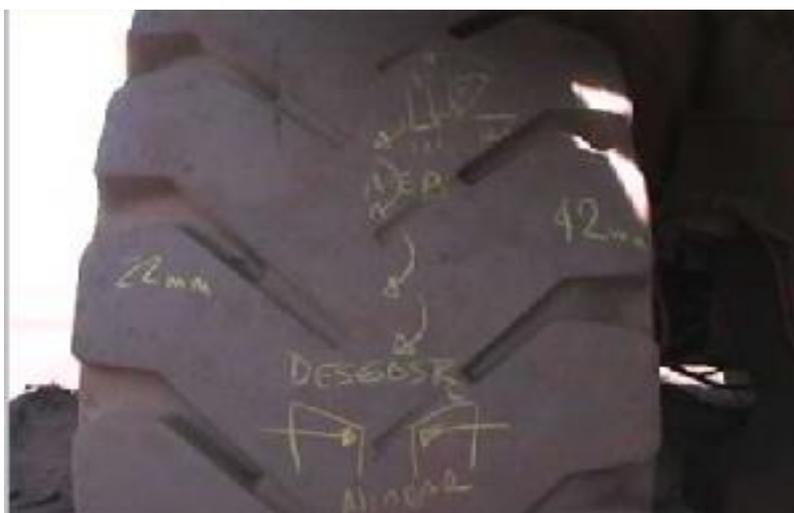
Un paralelismo incorrecto de las ruedas directrices de un camión de transporte. Holgura en las manguetas, rotulas, pivote, etc.

En estos dos últimos casos, el neumático se desgastara de una forma anormalmente rápida. Para simplificar, los neumáticos de un mismo eje ya no estarán en paralelo y no rodaran sobre el suelo, sino que resbalaran por encima. (Ver foto 7).

Dentro de este aspecto, otra de las partes esenciales, implicada directamente con la influencia que aplica sobre las llantas es la suspensión. La suspensión dentro de sus funciones tiene la responsabilidad de soportar y transmitir la carga desde el chasis a los ejes. Cuando uno de sus elementos se encuentra con deficiencias (descargado), los otros puntos deben realizar una compensación anormal, aumentando fuertemente la carga sustentada, la que finalmente será transmitida a la llanta desigualmente.

Recomendamos realizar control al estado de las suspensiones periódicamente, de acuerdo a las instrucciones de los fabricantes de los equipos.

Foto 7. Desgaste irregular de la llanta debido al delineamiento.



Fuente: Cerrejón

2.9 INFLUENCIAS DE LAS CONDICIONES DE LA VÍA SOBRE LAS LLANTAS

El perfil de las vías, longitudinal y transversal, la forma y el trazado de las curvas, así como el grado de las pendientes, tienen una importancia significativa en la sobrecarga dinámica (en el caso de subida o bajada con carga) y en el rodado de los neumáticos, favoreciendo la separación de la banda de rodamiento de la carcasa.

El mantenimiento (bueno o malo) de las vías, quitar o no las piedras caídas de los vehículos, limpiar los puntos de trabajo (frentes de carga y botaderos), son factores que influyen enormemente sobre los accidentes (choques, cortes, etc.) de los flancos y banda de rodamiento.

Mantenimiento de las vías de circulación:

Limpieza de materiales derramados.

Nivelación, eliminación de baches y desniveles.

Evacuación de agua.

Mantenimiento de desagües.

Regar vías.

2.10 INFLUENCIA DE LOS TKPH (TONELADAS KILÓMETROS POR HORA)

2.10.1 influencia de los TKPH sobre las llantas. El TKPH (Toneladas Kilómetros por Hora) es una característica de la capacidad de trabajo de un neumático. Esta característica tiene cuenta un factor muy importante en la vida útil de un neumático que es la temperatura máxima admisible de funcionamiento.

2.10.2 Cómo utilizar ton-kilómetro por hora. Los datos de número de TKPH son aplicables en las siguientes situaciones:

Para todos los estándares, el calor o los neumáticos resistentes a los cortes.

Temperatura ambiente menos de 38°C.

Distancia máxima viaje menos de 5 km o 16 km con carga reducida.

Velocidad máxima de 50 km / h.

2.10.3 Ajustes TKPH. El factor TKPH está influenciada por el calor. Cuando el calor en el neumático aumenta debido a condiciones anormales tales como la temperatura ambiental sea considerable, la velocidad y la sobrecarga del TKPH deben reducirse. Del mismo modo adaptaciones de los TKPH puede hacerse si la temperatura ambiente o las velocidades son bajas.

2.10.4 TKPH factores de conversión. Para temperaturas superiores a 38 C - El TKPH debe reducirse en aproximadamente un 2% por cada aumento de grado por encima de 38 C.

Para temperaturas inferiores a 38 ° C - El TKPH debe aumentar en aproximadamente un 1% por cada grado C por debajo de 38 C.

2.11 INFLUENCIAS DEL OPERADOR. El buen accionar del operador puede aportar muchísimo a la vida útil de las llantas. De él dependerá en gran medida que los factores penalizantes presentes en la operación no afecten negativamente a las llantas. Debe además evitar una operación que genere situaciones sobre exigentes o de riesgo para las llantas. Tiene la capacidad de aportar en elevar el rendimiento de las llantas, disminuyendo sensiblemente los gastos operacionales. La llanta a su vez responderá con un trabajo seguro y confortable.

Un buen trabajo del operador implica evitar:

El choque de las llantas con material derramado.

Las altas velocidades, los frenazos y aceleraciones bruscas.

Tomar las curvas a alta velocidad.

La sobrecarga y estiba descentrada.

El tránsito por zonas con derrames, ondulaciones o pozos de agua.

La conducción cerca de las bermas.

El choque trasero al posicionarse para el cargue y descargue.

Posición inadecuada respecto al frente y equipo de extracción.

Giro de la dirección con el equipo detenido.

2.12 CONDICIONES DE LAS VÍAS

2.12.1 Vías con superficie irregular. Las ondulaciones presentes en las vías aumentan el movimiento del camión produciendo derrame del material. Cuando el suelo se encuentra desnivelado se reduce un 30% el rendimiento de la llanta, se produce sobrecarga en las llantas delanteras, basculamiento y favorece al empozamiento de agua. (Ver foto 8).

Foto 8. Superficie irregular (ondulaciones)



Fuente: datos de estudio.

2.12.2 Vías con superficie húmeda. Regularmente se humedecen las vías con agua para evitar levantar polvo y para una conducción más rápida. El aumento de los cortes en la banda de rodamiento de los neumáticos aumenta cuando existe exceso de agua en el camino. Cuando llega el invierno se deben tomar medidas para evitar la inundación de las vías o evitar el empozamiento del agua, ya que esto causa que las llantas resbalen o en situaciones se patinen causando desgaste en la carcasa.

En este caso es recomendable, que se haga mantenimiento de las vías con motoniveladoras, la cual permita eliminar baches para evitar el empozamiento del agua, ya que en dichas zonas se incrustan rocas puntiagudas que pueden ocasionar cortes a las llantas. (Ver foto 9).

Foto 9. Superficie húmeda



Fuente: datos de estudio

2.12.3 Curvas con rocas

En varias zonas a lo largo de las vías, se pueden apreciar un buen montón de rocas, especialmente producto de la caída de material desde los camiones en las esquinas o curvas donde se le dificulta al operador no pisarlos. (Ver foto 10).

Foto 10. Presencia de material derramado en curva.



Fuente: datos de estudio

2.12.4 Caída de rocas en la zona de carga. Las rocas o material que quedan fuera de la tolva del camión arriesgan los neumáticos traseros. (Ver foto 12). El conductor no puede evitar pisar las piedras una vez que abandone la zona de carga. Además, el siguiente camión tendrá la difícil tarea de tratar de evitar el paso sobre rocas al momento de realizar la maniobra de retroceso para su cargue. Los sectores de carga deben tener la suficiente amplitud para permitir maniobras seguras, como el buen posicionamiento de los equipos, piso de material fino y nivelado (sin pendientes, desniveles, o pozos de agua), sin material derramado y un riego moderado. (Ver foto 11).

Foto 11. Aculatamiento con presencia de Material derramado.



Fuente: Cerrejón.

Foto 12. Pisado de material en la zona de cargue.



Fuente: Cerrejón.

2.12.5 Caída de material. La caída de material a lo largo de la vía, se puede presentar por el sobrecargue que presente el camión, por el suelo desnivelado (baches), malas maniobras del operador (frenos bruscos). Estos problemas se reflejan en la disminución del rendimiento de la llanta. Se debe mantener las vías niveladas (motoniveladoras), con material fino, conservando la inclinación, el ancho de la vía y la pendiente recomendada. (Ver foto 13).

Foto 13. Caída de material por sobrecargue



Fuente: Cerrejón.

3. ANALISIS SIX SIGMA

A continuación se presentan los resultados obtenidos al analizar estadísticamente la información de campo levantada y suministrada por la empresa. Con estos datos se aplicó la metodología SIX SIGMA con el fin de identificar las causas potenciales que influyen en los fallos de las llantas 53/80 R 63 generando bajos indicadores de calidad en el proceso de cargue, acarreo y descargue de material estéril.

La metodología Six sigma utiliza el análisis del concepto de variación en el cual se puede inferir que no existen dos productos o procesos exactamente iguales por lo tanto el análisis de este factor es vital importancia para identificar las causas y las posibles opciones de mejora.

El análisis inicial parte de realizar un estudio de Pareto para ocho trimestres con el fin de identificar la frecuencia de las causas predominantes que influyen en el deterioro y desmonte de las llantas.

Posteriormente se realizó el análisis causa efecto para las tres causas más relevantes (81.4%) las cuales originan el mayor número de defectos. (Ver diagrama de Pareto general, figura 14). Luego se utilizaran gráficos de correlación, optando por una variable o atributo del estudio anterior (Ishikawa), que nos permite establecer si existe relación directa con la causa.

Por último se realizaran cartas de control con el fin de analizar si dicha variable o atributo y buscar soluciones para minimizar y estabilizar el proceso.

3.1 ANALISIS DE CALIDAD

Para realizar el análisis de calidad es necesario tener en cuenta el concepto de las causas que generan los fallos y el desmonte de las llantas, las cuales se definen a continuación:

Accidente: Daños generados por elementos diferentes a rocas, eyector de roca, cargadores, elementos metálicos, etc. (Ver fotos 14,15).

Corrida desinflada: Cuando recorren la llanta estando en un nivel de presión por debajo de un 30% de lo recomendado por el fabricante o estando pinchada. (Ver foto 23).

Corte en el costado: Cortes causados en el costado de la llanta por rocas en el área de cargue y bermas. (Ver foto18).

Daño en el talón: Se presenta cuando hay piedras entre el flanco y la llanta. (Ver foto 21).

Desgaste total: Cuando la llanta es dada de baja porque alcanza su vida útil. (Ver foto 22).

Estallido: Se presenta cuando la llanta es impactada o hay debilitamiento de la carcasa, cuerdas expuestas, sobrecargue o exceso de presión. (Ver foto 17).

Fallo de reparación.: Después de ser reparada la llanta esta es recorrida desinflada o presenta cortes en el área reparada o problemas de calidad en la reparación. (Ver foto 20).

Impacto con roca: Es causado por rocas que están en el área de cargue y en las vías de acarreo. (Ver foto 19).

Separación por corte: Causada por rocas o elementos metálicos filosos, especialmente cuando la llanta es sometida a patinamiento y la banda de rodamiento se separa de los cinturones de acero. (Ver foto 16).

Separación por corte en el centro dela banda: Al estar expuestas al pisado de rocas, las llantas se dañan con cortes muy profundos que llegan hasta la carcasa, produciendo separaciones entre lonas en el centro de la banda.

Foto 14. Accidente



Fuente: datos de estudio.

Foto 15. Accidente



Fuente: datos de estudio.

Foto 16. Separación por corte



Fuente: datos de estudio.

Foto 17. Estallido



Fuente: datos de estudio.

Foto 18. Corte en el costado



Fuente: datos de estudio.

Foto 19. Impacto con roca.



Fuente: datos de estudio.

Foto 20. Falla de reparación.



Fuente: datos de estudio.

Foto 21. Daño en el talón



Fuente: datos de estudio.

Foto 22. Desgaste total



Fuente: datos de estudio.

Foto 23. Corrida desinflada



Fuente: datos de estudio.

Para este análisis se utilizó una base de datos la cual contiene variables como lo son: año, mes, cantidad, km promedio, posición, causa, camión, grupo, peso de la carga y distribución de la carga. Con la cual se busca obtener conclusiones de los

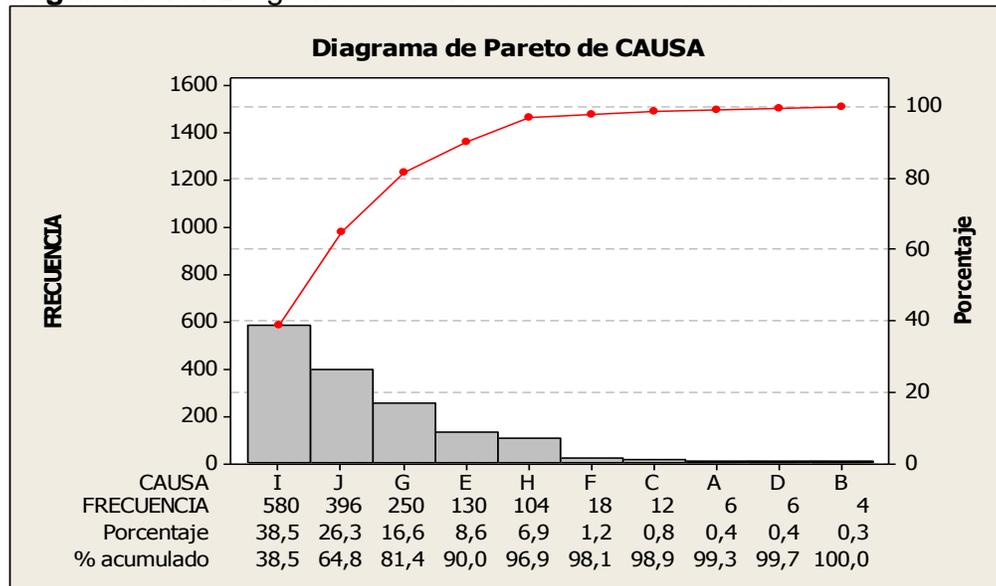
daños más comunes en las llantas. Para esto utilizaremos diagramas de Pareto como se verá a continuación. La base de datos se podrá ver en los anexos.

Cuadro No. 5 Causa - frecuencia

CAUSA		FRECUENCIA
A	ACCIDENTE	6
B	CORRIDADESINFLADA	4
C	CORTE EN EL COSTADO	12
D	DAÑO EN EL TALON	6
E	DESGASTE TOTAL	130
F	ESTALLIDO	18
G	FALLA DE REPARACION	250
H	IMPACTO CON ROCA	104
I	SEPARACION POR CORTE	580
J	SEPARACION POR CORTE EN EL CENTRO DE LA BANDA	396

Fuente: datos de estudio.

Figura No.14 Diagrama de Pareto de causa – frecuencia



Fuente: datos de estudio.

La conclusión del análisis general arroja, que las tres causas más relevantes o que generan el mayor número de fallas son:

Separación por corte: 38.5%

Separación por corte en centro de banda: 26.3%

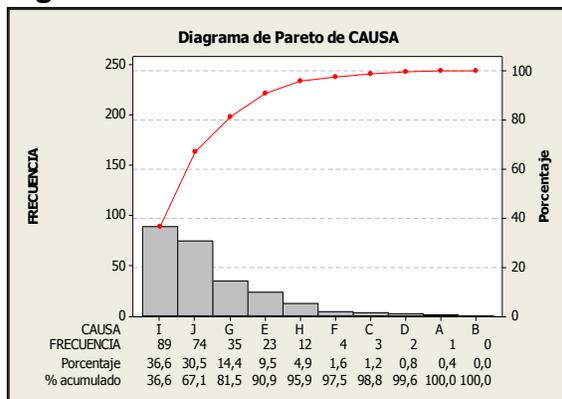
Fallas de reparación: 16.6%

Obteniendo el resultado de que por estas tres causas se da el 81.4% de los daños y bajas de una llanta.

3. 2 ANÁLISIS TRIMESTRAL A DOS AÑOS

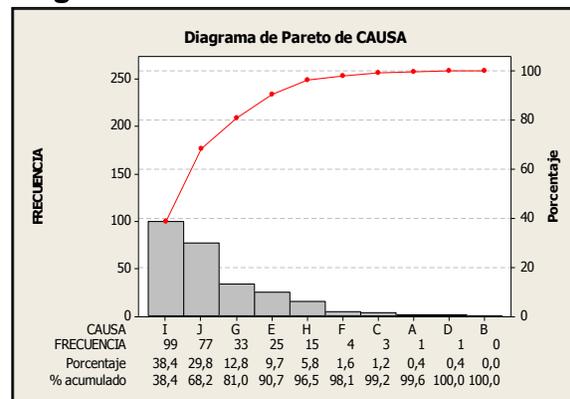
A continuación se observaran gráficas por cada tres meses de los años 2013 y 2014 con su respectivo diagrama de Pareto para evaluar la frecuencia con la que se presentan dichas causas y las tres más significativas dentro del análisis. (Ver figuras 15, 16, 17, 18).

Figura No.15 Pareto trimestre 1



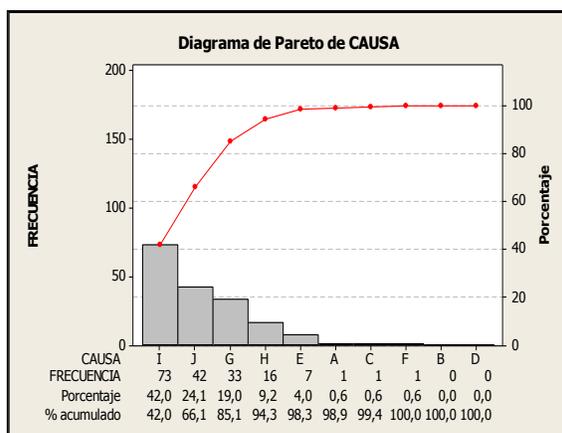
Fuente: datos de estudio.

Figura No.16 Pareto trimestre 2



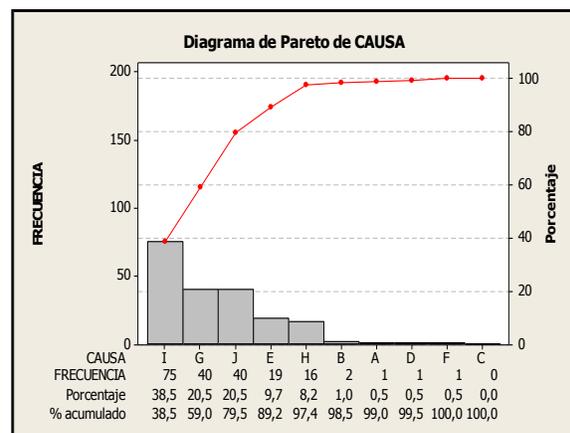
Fuente: datos de estudio.

Figura No.17 Pareto trimestre 3



Fuente: datos de estudio.

figura No. 18 Pareto trimestre 4



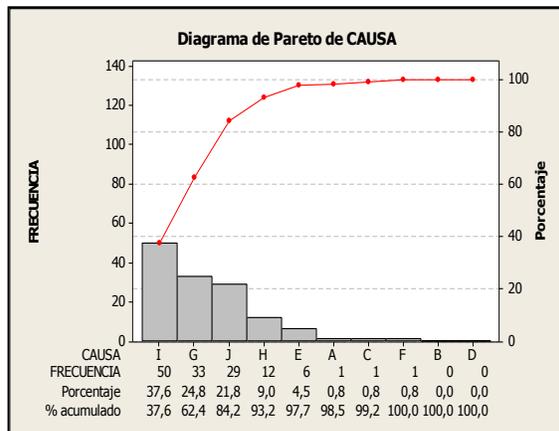
Fuente: datos de estudio.

Analizando los diagramas de Pareto trimestral que se realizó para el año 2013, se observa que el comportamiento de las 3 causas principales I, J, G es el mismo, a

excepción del 4 trimestre donde predomina la causa G como las segunda causa más relevante con un porcentaje de 20.5%.

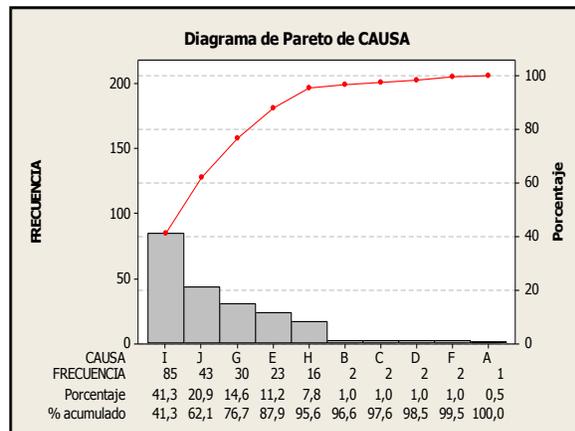
A continuación se realizara los diagramas de Pareto por trimestres para el año 2014. (Ver figuras 19, 20, 21, 22).

Figura No. 19 Pareto trimestre 5.



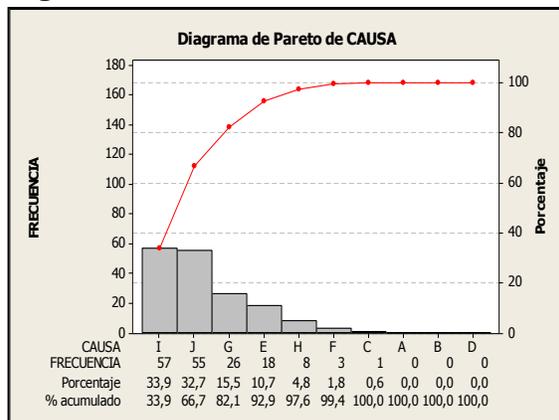
Fuente: datos de estudio.

Figura No. 20 Pareto trimestre 6.



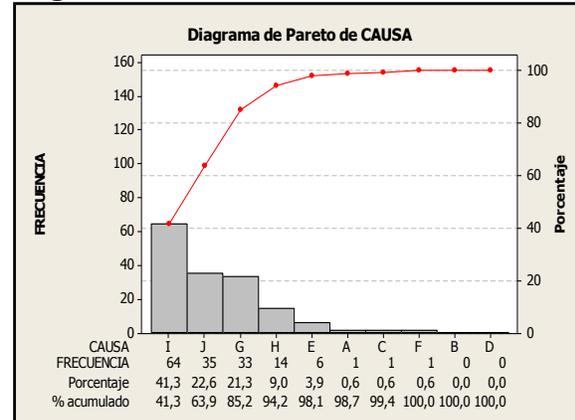
Fuente: datos de estudio.

Figura No. 21 Pareto trimestre 7.



Fuente: datos de estudio.

Figura No. 22 Pareto trimestre 8.

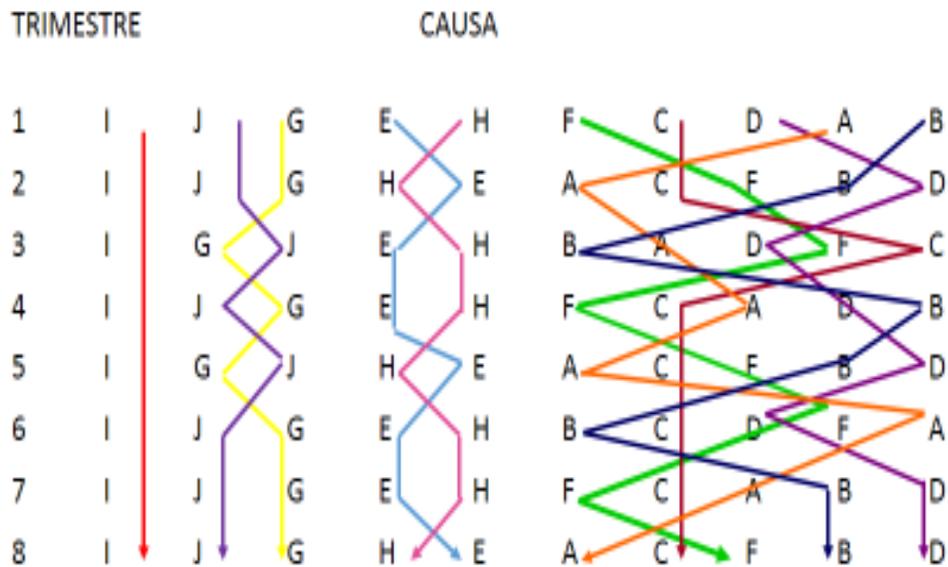


Fuente: datos de estudio.

Los resultados arrojados por los diagramas de Pareto para los 4 trimestres del 2014 son los siguientes: causa I continúa siendo la predominante. En el primer trimestre la causa G predomina ante la causa J con un 24.8% en la segunda posición.

A partir del análisis de los diagramas de Pareto, se realizara el análisis: relación causa- efecto con el fin de detectar las causas que predominan a lo largo de los dos años y las causas más descontroladas.

Figura No. 23 Relación Causa – Efecto de los años 2013 – 2014



Fuente: datos de estudio.

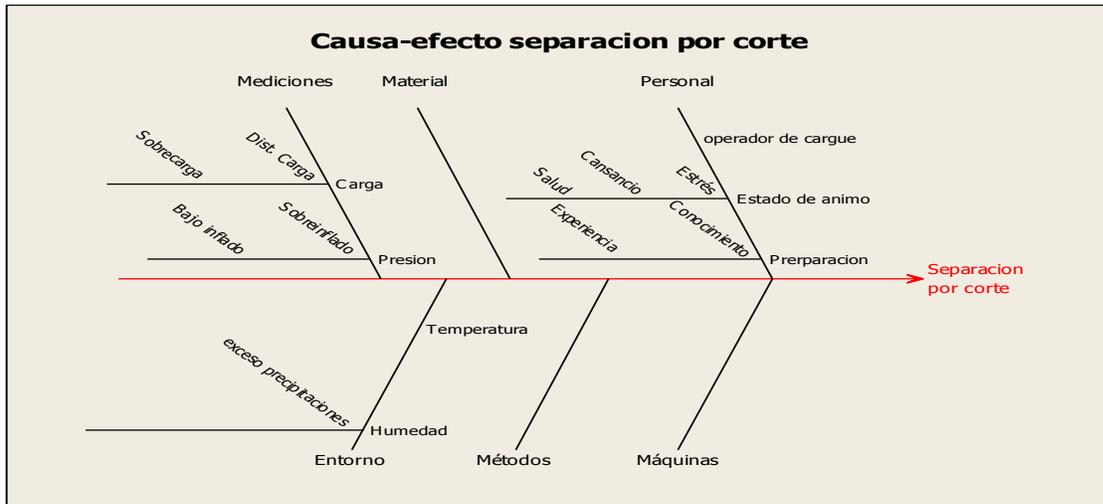
En la figura se observa, que a lo largo de los dos años mencionados, predomina la causa I (separación por corte) en los ocho trimestres en estudio, provocando la mayor cantidad de llantas bajadas manteniéndose controlada. Seguida de las causas J (separación por corte en el centro de la banda) y la causa G (fallas de reparación) las cuales varían en la frecuencia en las que se presentan. Las causas E (desgaste total) y H (impacto con roca) también presentan una variación en su frecuencia pero constante. Las causas F (estallido), C (corte en el costado), D (daño en el talón), A (accidente) y B (corrida desinflada) se observa una disminución en cuanto a su frecuencia, con un número de llantas bajadas pequeño pero no menos importante, siendo las causas A y B las que presentan un mayor descontrol y aun no se han tomado medidas para contrarrestar el efecto.

3.3 ANÁLISIS DE DIAGRAMAS CAUSA – EFECTO

El análisis causa – efecto se realizara por medio del diagrama de Ishikawa (espina de pescado). Consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, representando el problema a analizar.

A continuación analizaremos las tres causas principales y predominantes con el diagrama de Ishikawa, para determinar las categorías y subcategorías que influyen en el problema.

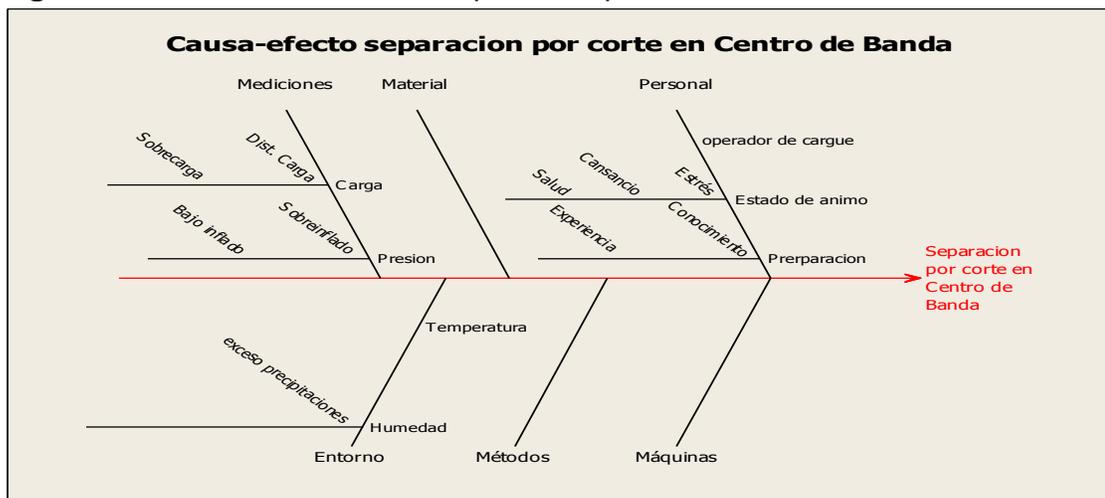
Figura No 24. Causa – efecto separación por corte



Fuente: datos de estudio.

Operador, estado de ánimo y preparación, las mediciones (carga y presión) y entorno o medio ambiente (humedad y temperatura). Se observa que la categoría de personal tiene gran parte de responsabilidad en esta causa debido a la cantidad de situaciones que están ligadas dentro de esta. La carga es una de las características posibles a estudiar para determinar su influencia en los defectos de las llantas.

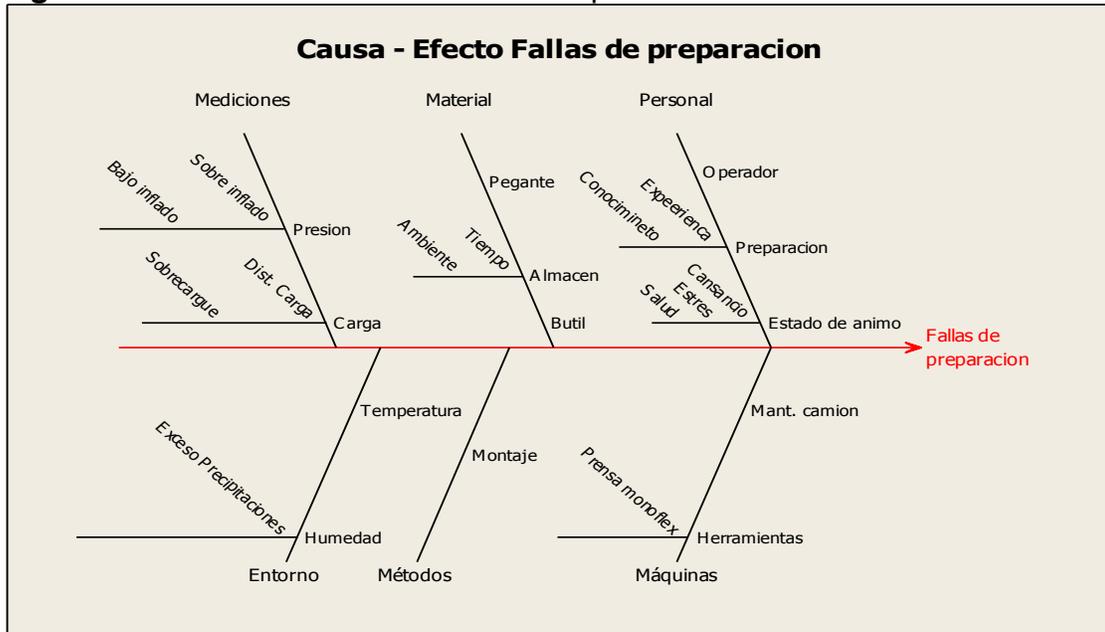
Figura No. 25. Causa – efecto separación por corte en el centro de la banda



Fuente: datos de estudio.

Al igual que en la causa anterior, el personal es factor fundamental dentro de la cantidad de llantas que se pueden bajar por separación por corte en el centro que la banda.

Figura No. 26 Causa – efecto fallas de reparación



Fuente: datos de estudio.

En el diagrama de causa-efecto para fallas de reparación se puede apreciar que es una de las causas que presenta un número mayor de subcausas presentando estas a su vez un elevado número de sub categorías. Basados en los resultados del diagrama de Pareto se nota que la causa fallas por reparación

3.4 ANALISIS POR HISTOGRAMAS

3.4.1 Separación por corte vs carga.

Se parte de la siguiente hipótesis:

Ho: la carga influye en la causa de separación por corte.

H1: no influye la carga en los defectos.

Cuadro No. 6 Carga vs defectos

<i>Carga</i>	<i>defectos</i>	<i>% acumulado</i>
216,39	98	16,93%
236,19	2	17,27%
255,99	3	17,79%
275,79	21	21,42%
295,59	88	36,61%
315,39	135	59,93%
335,19	138	83,77%
354,99	63	94,65%
374,79	29	99,65%
394,59	2	100,00%

Fuente: datos de estudio.

Media= 295,31 ton

Variación estándar= 50,41

Rango = 197,61

$Z_{\alpha/2} = 95\% = 1,96$

$m = 1 + 3.3 \log(579) = 10$ intervalos.

$a_i = \frac{197,61}{10} = 19,8$. Amplitud de los intervalos.

Límite mínimo = 196,59

Límite máximo = 394.2

Límites de control.

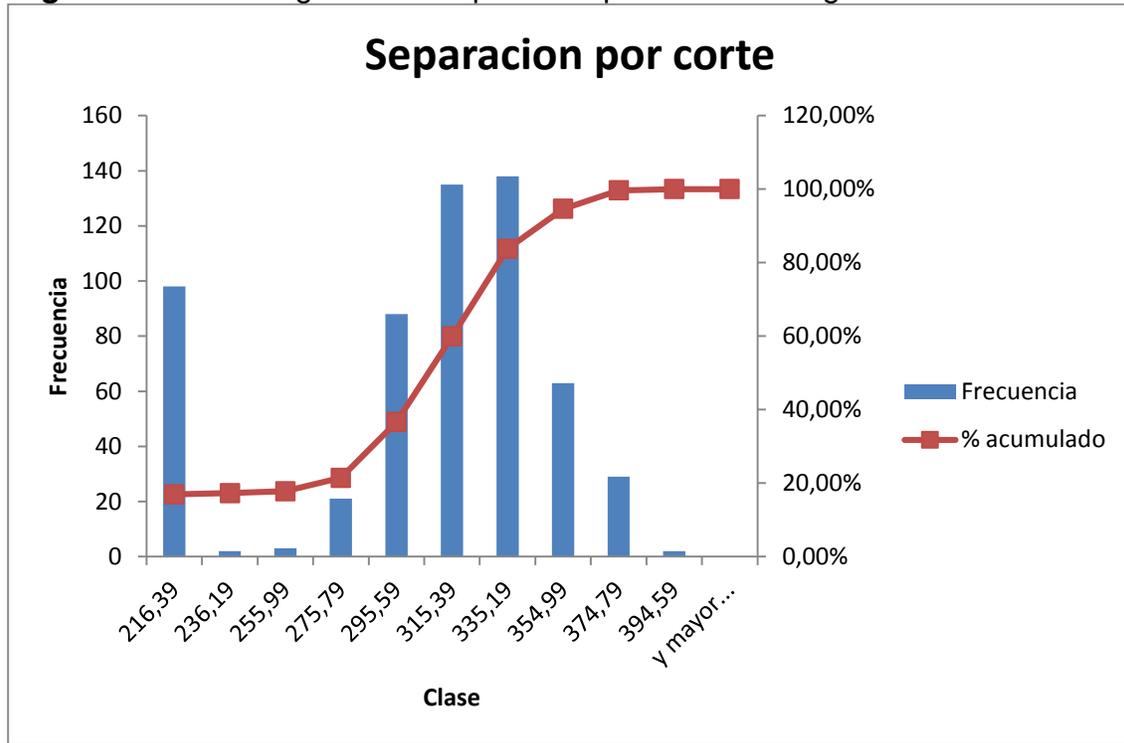
$L_{cs} = 295,31 + (1,96 * 50,41)$

$L_{cs} = 394.2$

$L_{ci} = 295,31 - (1,96 * 50,41)$

$L_{ci} = 196,59$

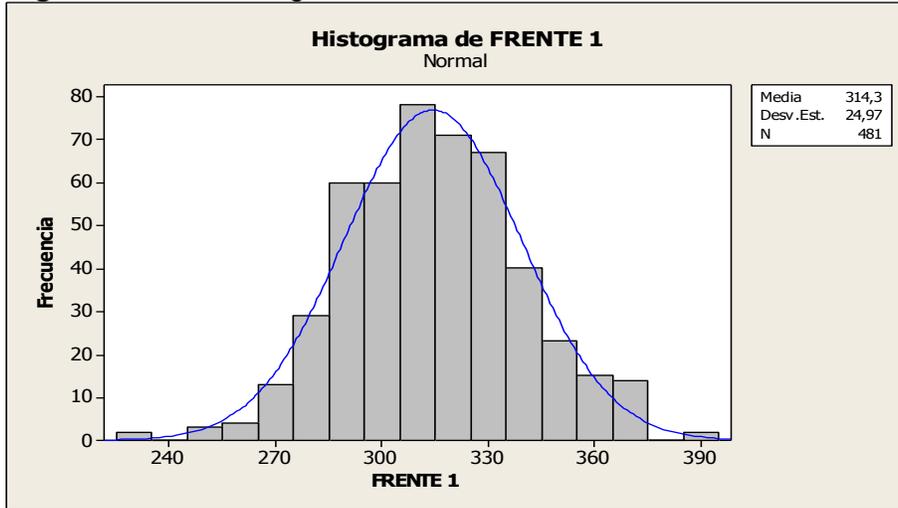
Figura No. 27 Histograma de separación por corte vs cargas



Fuente: datos de estudio.

Al elaborar el histograma con los datos originales se obtuvo que la gráfica presentaba dos picos, simulando una distribución de doble campana mostrando una especie de valle en el centro de los dos picos. La presencia de dos picos sugiere que hay dos procesos de cargue distintos por lo cual es necesario hacer una estratificación de los datos con el fin de analizar por separados los dos procesos de cargue. Es claro deducir a partir de la información obtenida de la gráfica que hay una mezcla de dos distribuciones de datos distintos en cerrejón, en el área de estudio existen dos frentes de cargue de material estéril los cuales se denominaran frente 1 y frente 2.

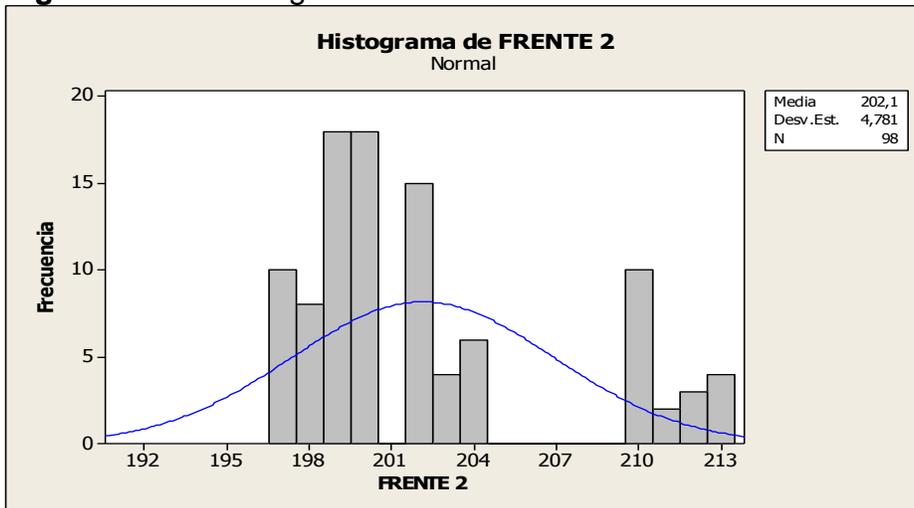
Figura No. 28 Histograma frente 1



Fuente: datos de estudio.

En el histograma el frente 1, se aprecia una estratificación y distribución de cargas más controlada y normal, pero con sobrecargue.

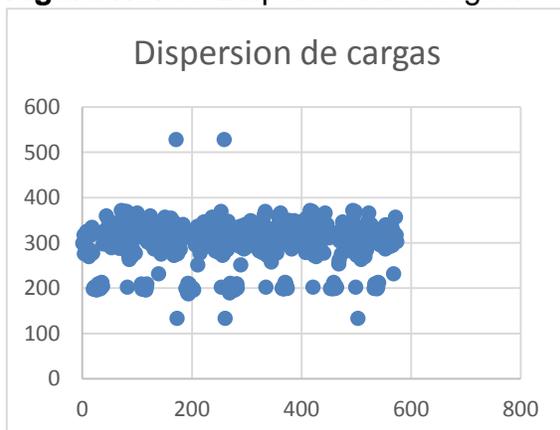
Figura No. 29 Histograma frente 2.



Fuente: datos de estudio.

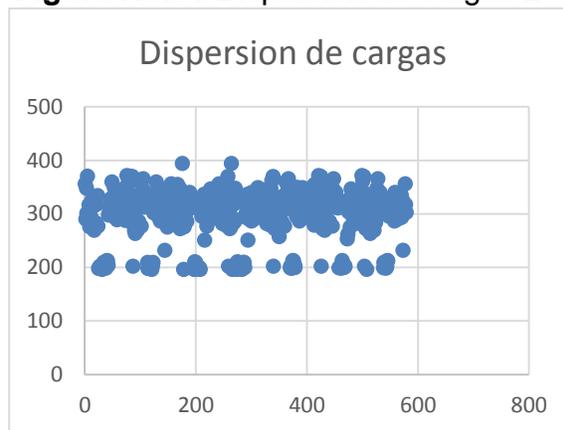
(En el histograma 2), se observa mayor descontrol en las cargas y anomalía en su distribución.

Figura No. 30 Dispersión de cargas.



Fuente: datos de estudio.

Figura No.31 Dispersión de cargas 2



Fuente: datos de estudio.

En el primer diagrama de dispersión, (figura 29), se puede observar varios puntos fuera de los límites inferior y superior. Para realizar el estudio adecuado para las cargas es necesario, realizar un ajuste de dichos puntos fuera de control como se puede observar en la figura 30.

3.4.2 Separación por corte en el centro de la banda vs carga.

Cuadro No. 7 Carga vs defectos

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
214,2	68	17,44%
233,8	1	17,69%
253,4	1	17,95%
273	13	21,28%
292,6	56	35,64%
312,2	94	59,74%
331,8	87	82,05%
351,4	50	94,87%
371	17	99,23%
390,6	3	100,00%

Fuente: datos de estudio

Media = 292,48

Variación estándar = 49,94

Rango = 195,8

$$m = 1 + 3,3 \log (390) = 9,55 = 10$$

$$a_i = \frac{195,8}{10} = 19,58 = 19,6$$

Límites de confiabilidad

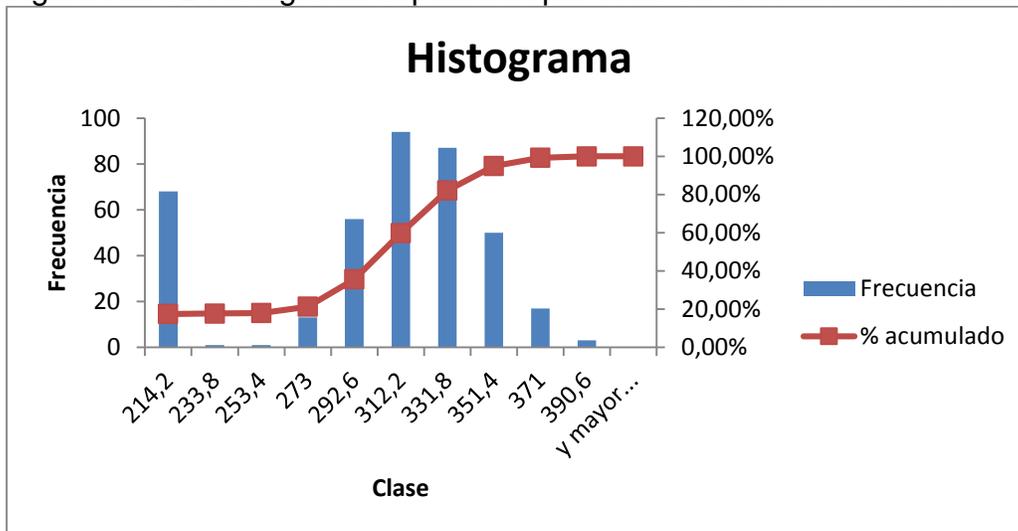
$$Lcs = 292,48 + (1,96 * 49,9) = 390,4$$

$$Lci = 292,48 - (1,96 * 49,9) = 194,6$$

Límite mínimo = 194,6

Límite máximo = 390,4

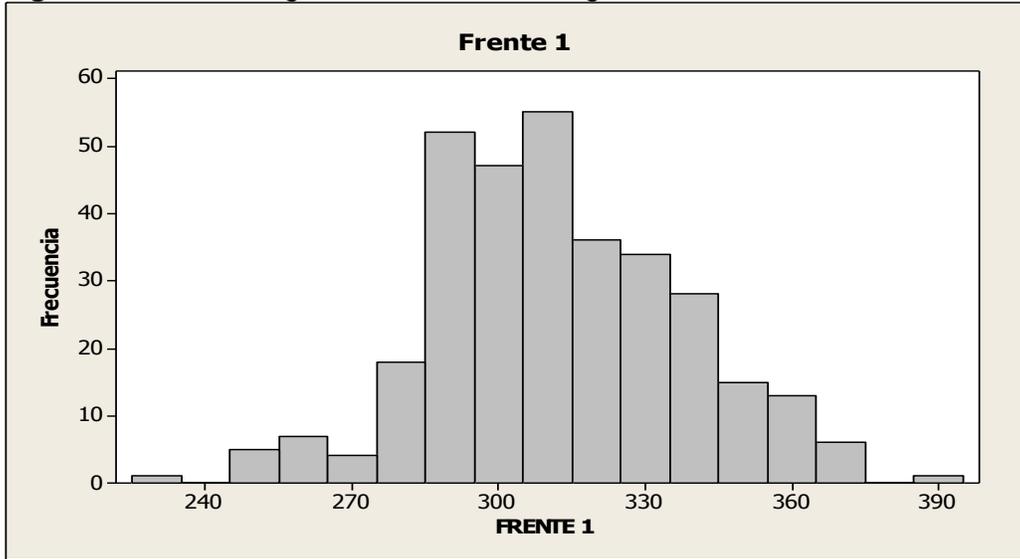
Figura No. 32 Histograma separación por corte en el centro de la banda.



Fuente: datos de estudio.

En el histograma realizado para la causa de separación por corte en el centro de la banda (Figura No 32), se evidencia una distribución de doble campana indicando que existe una doble distribución de los datos, presentándose una gráfica con dos picos que indica la combinación de datos de dos procesos distintos lo cual sugiere que hay que separar los datos en dos grupos para hacerles un análisis individual.

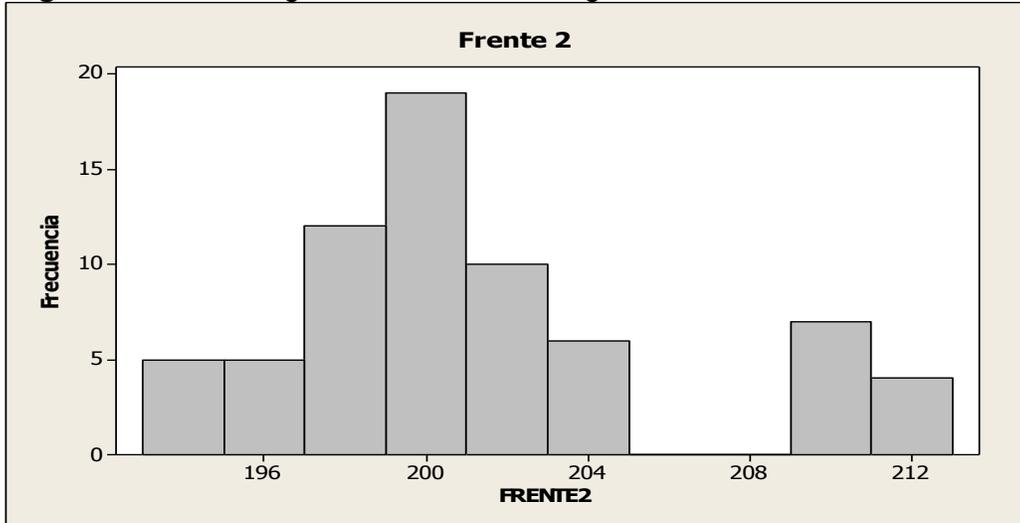
Figura No. 33 Histograma frente 1 vs cargas



Fuente: datos de estudio.

Nuevamente se observa y se identifica mayor orden y regularidad en la distribución de las cargas del frente 1, las cuales en su mayoría presentan sobrecarga.

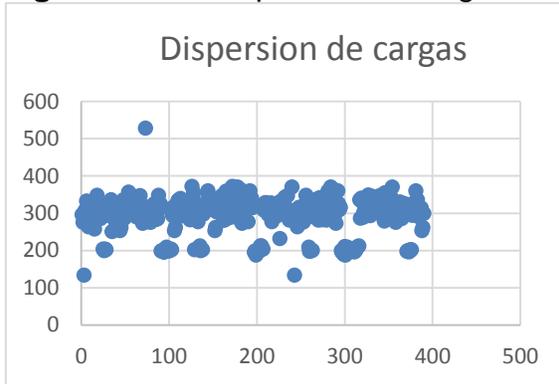
Figura No.34 Histograma frente 2 vs cargas



Fuente: datos de estudio.

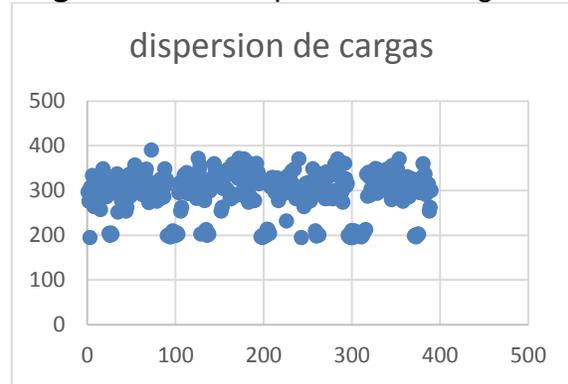
A comparación del frente 1, en este histograma del frente 2, se aprecia la irregularidad y descontrol de las subcargas, verificando con mayor seguridad la presencia de los dos procesos.

Figura No. 35 dispersión de cargas



Fuente: Datos de estudio

Figura No. 36 dispersión de cargas



Fuente: Datos de estudio

El límite máximo de control para esta causa es de 390,4 y el límite mínimo de control es 194,6. Para los gráficos de dispersión, se busca el ajuste de los puntos fuera de estos límites para realizar el estudio pertinente con respecto a las causas.

3.4.3 Fallas de reparación vs carga.

Cuadro No. 8 Defectos vs carga

Clase	Frecuencia	% acumulado
223,76	36	14,40%
242,12	0	14,40%
260,48	5	16,40%
278,84	8	19,60%
297,2	41	36,00%
315,56	56	58,40%
333,92	60	82,40%
352,28	28	93,60%
370,64	16	100,00%

Fuente: datos de estudio.

$$\text{Media} = 297,74$$

$$\text{Variación estándar} = 44,29$$

$$m = 1 + 3,3 * \log (250) = 9$$

$$a_i = \frac{165,18}{9} = 18,36$$

Límites de control

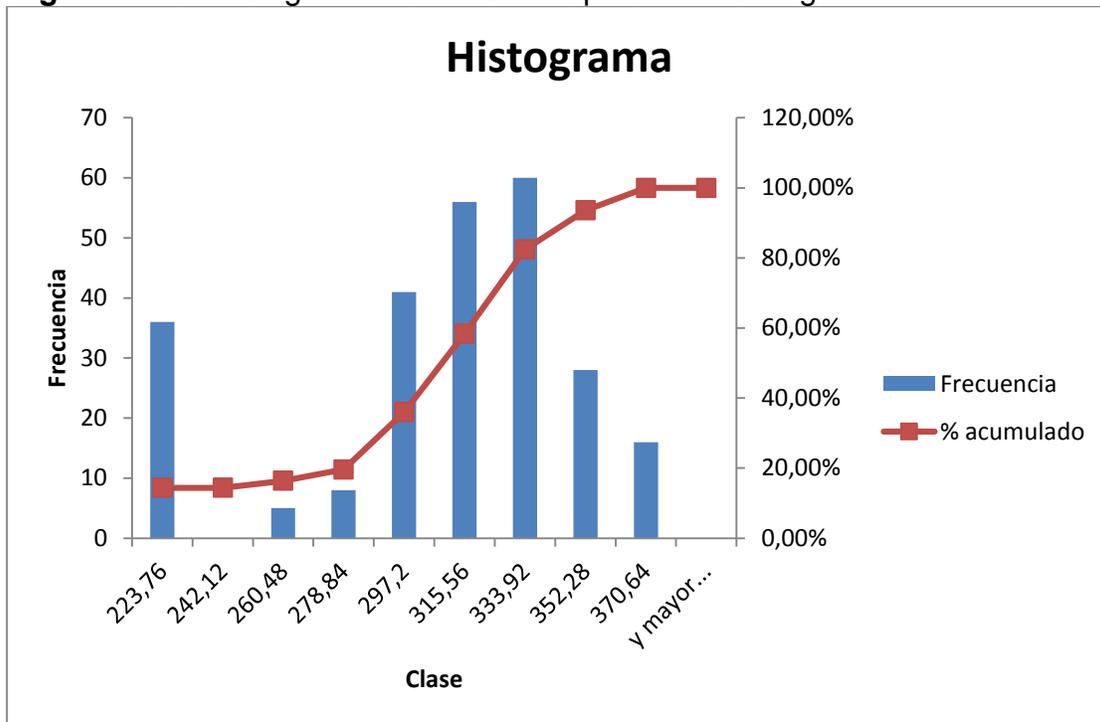
$$Lcs = 297,74 + (1,96 * 47,1) = 390,$$

$$Lci = 297,74 - (1,96 * 47,1) = 205,$$

Límite mínimo = 205,4

Límite máximo = 370,6

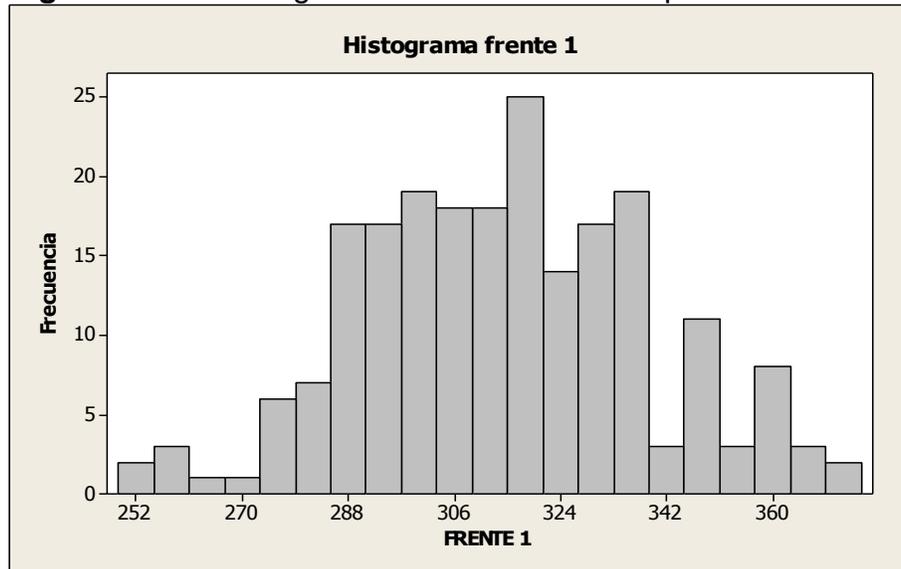
Figura No.37 Histograma de fallas de reparación vs carga.



Fuente: datos de estudio.

En el histograma de fallas de reparación se aprecia nuevamente la doble campana, corroborando los dos procesos o los dos frentes de explotación.

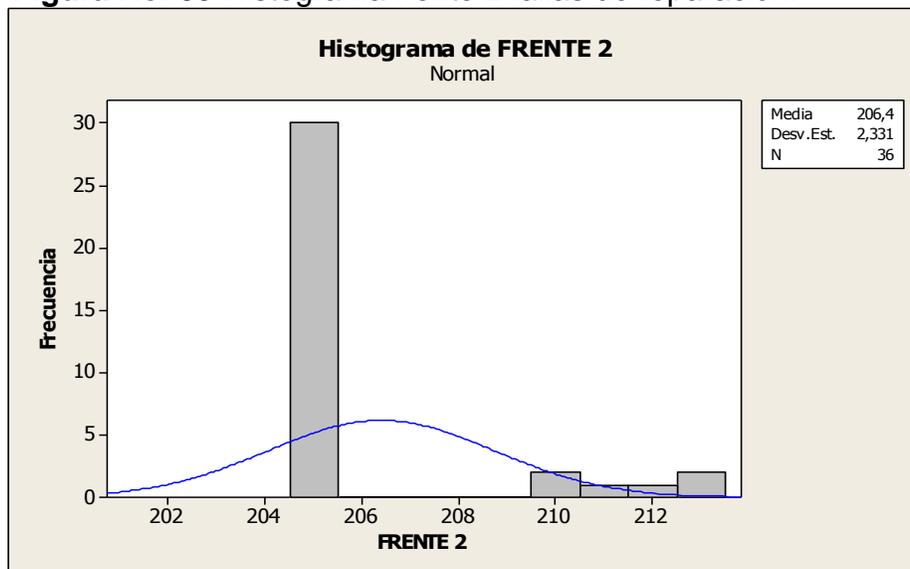
Figura No. 38 Histograma frente 1 fallas de reparación



Fuente: datos de estudio.

Al igual que en las otras causas, en la falla de reparación se aprecia una buena distribución de cargas en el frente 1, siendo estas cargas mayores a 252 ton.

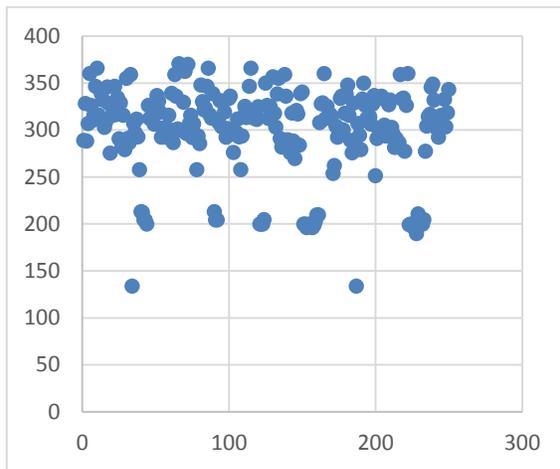
Figura No. 39 Histograma frente 2 fallas de reparación.



Fuente: Datos de estudio

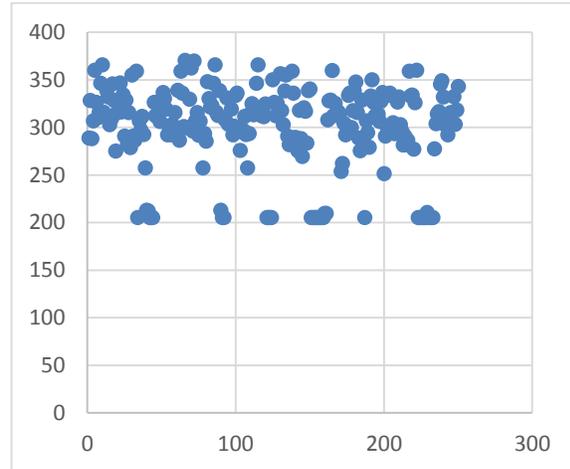
En la figura anterior, se observa un total descontrol en las subcargas que se están generando en el frente 2, con una distribución anormal de las muestra

Figura No.40 Dispersión de cargas



Fuente: datos de estudio

Figura No.41 Dispersión de cargas 2.



Fuente: datos de estudio.

A diferencia de las otras causas, en la dispersión de fallas e reparación, se presenta solo descontrol o puntos por fuera del límite inferior, para el cual se realiza el mismo ajuste para su análisis.

3.5 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE CAUSAS Y EFECTOS

Teniendo en cuenta los datos y el análisis de Pareto realizado se logró identificar que la causa más relevante por la cual se realiza el mayor número de bajadas de llantas es la separación por corte, seguido de la separación por corte en el centro de la banda y por fallas de reparación para llantas remontadas.

Por lo tanto se hace necesario verificar la correlación que existe entre la causa más relevante y el efecto. De acuerdo a los datos de variabilidad y el análisis de 6M's, para el efecto de separación por corte se logró identificar mediante el diagrama de Ishikawa que la principal subcausa era la carga, efecto que se corroboró en campo mediante el diagnóstico realizado.

3.5.1 Análisis de correlación carga vs separación por corte. En la siguiente tabla se resumen los datos de la cantidad de llantas bajadas por separación por corte mes a mes durante los años 2013 y 2014 y la evolución de la carga de estéril movida en este mismo periodo de tiempo.

Cuadro No. 9 Defectos separación por corte y cargas

Etiquetas de fila	Suma de CANTIDAD	Suma de PESO DE LA CARGA
2013		
ENERO	44	4406,860835
FEBRERO	22	7010,977602
MARZO	23	6970,797695
ABRIL	13	3892,256452
MAYO	31	4273,997346
JUNIO	17	5272,134343
JULIO	25	7810,539094
AGOSTO	30	3256,641956
SEPTIEMBRE	20	4593,204177
OCTUBRE	41	12321,62711
NOVIEMBRE	26	359,4227317
DICIEMBRE	32	10038,79864
2014		
ENERO	10	3053,024719
FEBRERO	17	4732,54023
MARZO	23	4821,611701
ABRIL	28	6304,99611
MAYO	18	5637,476607
JUNIO	39	10865,34898
JULIO	17	49,0092756
AGOSTO	22	6940,292011
SEPTIEMBRE	18	4915,425592
OCTUBRE	21	6648,530126
NOVIEMBRE	19	1285,1944
DICIEMBRE	24	7531,100184

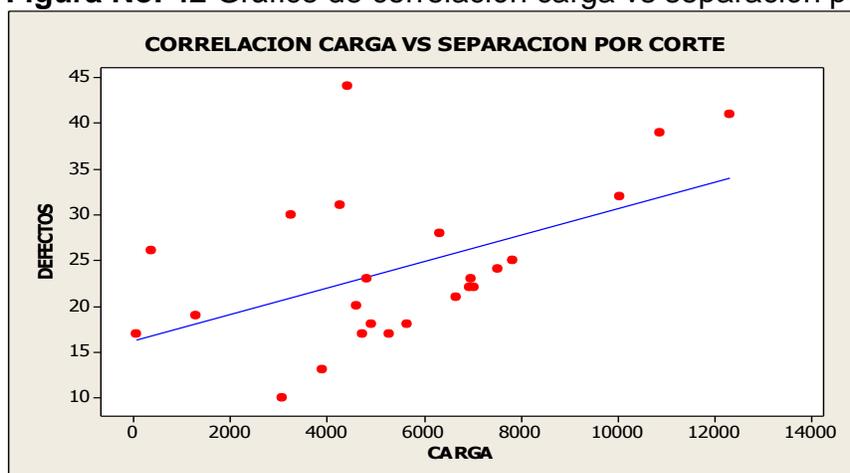
Fuente: Datos de estudio

A partir de los datos anteriores se elabora el gráfico de dispersión y correlación en MINI TAB 15 en el cual se busca probar la siguiente hipótesis:

Ho: la carga tiene una influencia creciente y positiva en la ocurrencia de defectos de separación por corte.

H1: la carga no influye en la aparición del defecto.

Figura No. 42 Gráfico de correlación carga vs separación por corte



Fuente: datos de estudio.

En el gráfico se puede evidenciar que existe una correlación positiva y fuerte entre la carga y la separación por corte. A su vez se aprecia que en el primer año existía una mayor dispersión entre el número de defectos y la carga lo cual ha ido aumentando progresiva y positivamente. En otras palabras, la aparición del número de defectos de separación por corte en mayor parte se debe al sobrecargue. Presenta una correlación del 56%.

3.5.2 Análisis de correlación carga vs separación por corte en el centro de la banda.

Cuadro No. 10 Defectos separación por corte en el centro de la banda y cargas.

Mes	2013		2014	
	CANTIDAD	PESO DE LA CARGA	CANTIDAD	PESO DE LA CARGA
ENERO	29	6555,26313	3	925,5437889
FEBRERO	21	6362,010132	14	4103,067946
MARZO	24	7691,096121	12	1141,7281
ABRIL	14	4262,965259	3	933,4120477
MAYO	16	1678,388045	15	4592,692165
JUNIO	13	3956,856864	25	2324,691353
JULIO	13	3652,244267	23	2155,134285
AGOSTO	3	908,2402546	20	6317,271031
SEPTIEMBRE	24	4934,530566	12	3762,731708
OCTUBRE	26	8356,413774	9	2807,227474
NOVIEMBRE	30	3842,236197	19	2801,530519
DICIEMBRE	21	6478,033681	7	2198,919824

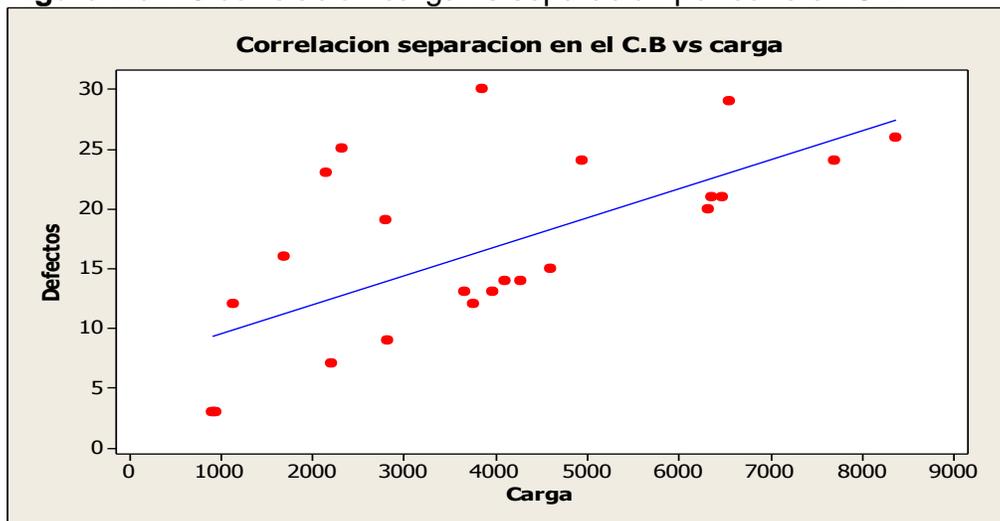
Fuente: datos de estudio.

Nuevamente con los datos de la tabla anterior, se realizara un diagrama de dispersión y correlación para analizar la influencia de las cargas a lo largo de los dos años, en la causa separación por corte en el centro de la banda y comprobar la hipótesis:

Ho: la carga tiene una influencia creciente y positiva en la ocurrencia de defectos de separación por corte en el centro de la banda.

H1: la carga no influye en la aparición del defecto.

Figura No. 43 correlación carga vs separación por corte en C.B



Fuente: datos de estudio.

Se aprecia en el gráfico, la correlación positiva y ascendente de la carga con respecto a la separación por corte en el centro de la banda. Y se comprueba que la variación de carga influye completamente en los defectos ocasionados por dicha causa con una correlación del 66%.

3.5.3 Análisis de correlación carga vs fallas de reparación.

Cuadro No. 11 Defectos fallas de reparación y cargas.

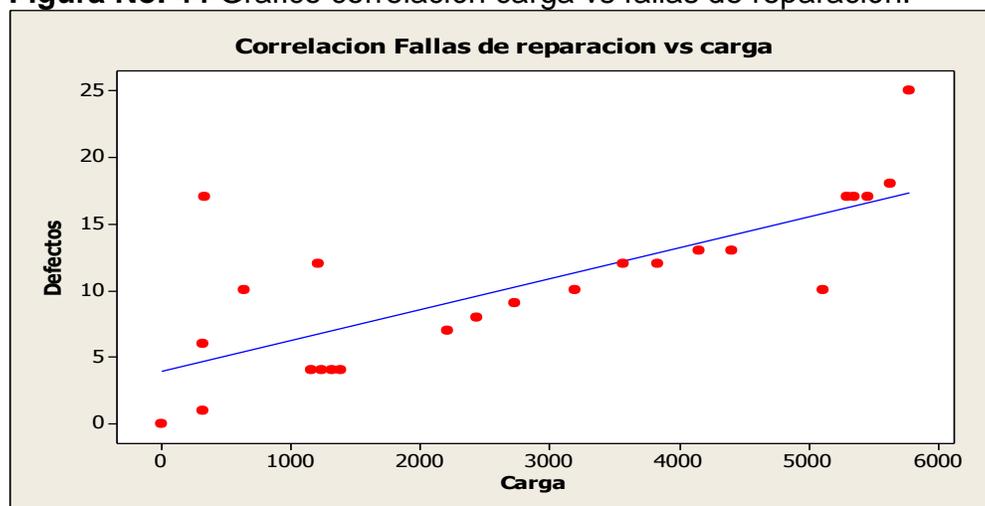
Etiquetas de fila	2013		2014	
	Suma de CANTIDAD	Suma de PESO DE LA CARGA	Suma de CANTIDAD	Suma de PESO DE LA CARGA
ENERO	13	4405,933386	12	3833,111976
FEBRERO	10	3188,478037	4	1381,673292
MARZO	12	3563,905903	17	338,7664893
ABRIL	4	1159,486826	17	5291,78199
MAYO	12	1215,292167	4	1319,882248
JUNIO	4	1243,496068	9	2729,117189
JULIO	17	5461,758119	18	5632,66687
AGOSTO	17	5354,64091	8	2431,355953
SEPTIEMBRE	6	321,2635343	0	0
OCTUBRE	7	2213,616318	10	637,3434315
NOVIEMBRE	25	5775,14101	10	5115,4035
DICIEMBRE	1	325,3570447	13	4149,545002

Fuente: datos de estudio.

Ho: la carga tiene una influencia creciente y positiva en la ocurrencia de defectos de separación por corte.

H1: la carga no influye en la aparición del defecto.

Figura No. 44 Grafico correlación carga vs fallas de reparación.



Fuente: datos de estudio.

En esta tercera causa predominante, se puede observar y comprobar nuevamente la hipótesis, de que la carga es directamente un factor que influye en el daño y el desmonte de la llanta, presentando una correlación del 75%.

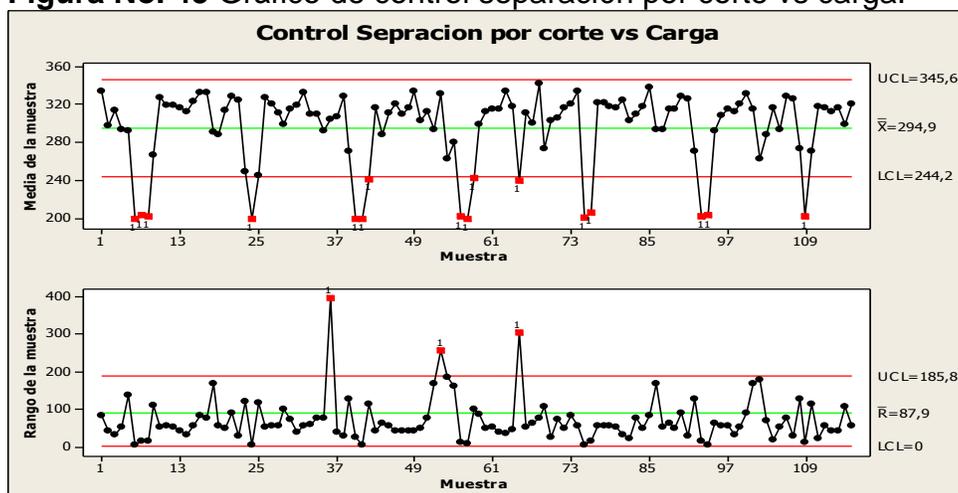
3.6 CARTAS DE CONTROL

Las cartas de control son ampliamente utilizadas para monitorear la media y la variabilidad de las variables, con objeto de evitar o minimizar que se tengan productos fuera de especificaciones y estabilizar los proceso.

3.6.1 Carta de control separación por corte.

Para la elaboración de esta carta de control se tomaron 5 muestra al día de lunes a viernes, para un total de 116 muestras.

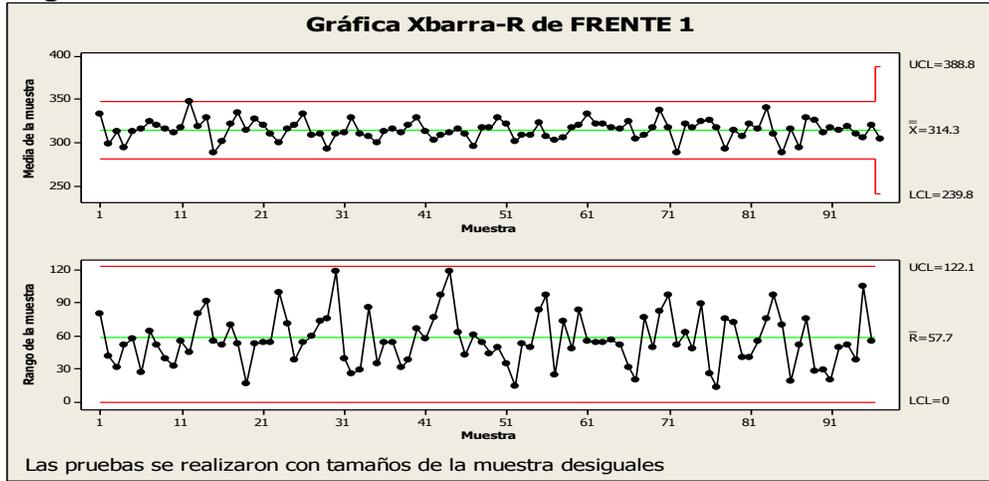
Figura No. 45 Gráfico de control separación por corte vs carga.



Fuente: datos de estudio.

Resultados: En la carta de control de separación por corte, se observa puntos por encima de la media (294.9), los cuales indican sobrecargue acercándose al límite superior generando descontrol en el proceso. La variabilidad de las cargas en las muestras tomadas demuestran que no solo la sobrecarga se encuentra fuera de control, también existen puntos fuera del límite inferior. Se presentan conformaciones recurrentes de ondas pequeñas debido a la varianza en el peso de la carga. Esta carta de control se realizó para datos originales. A continuación se analizaran cartas de control para los dos frentes en estudio.

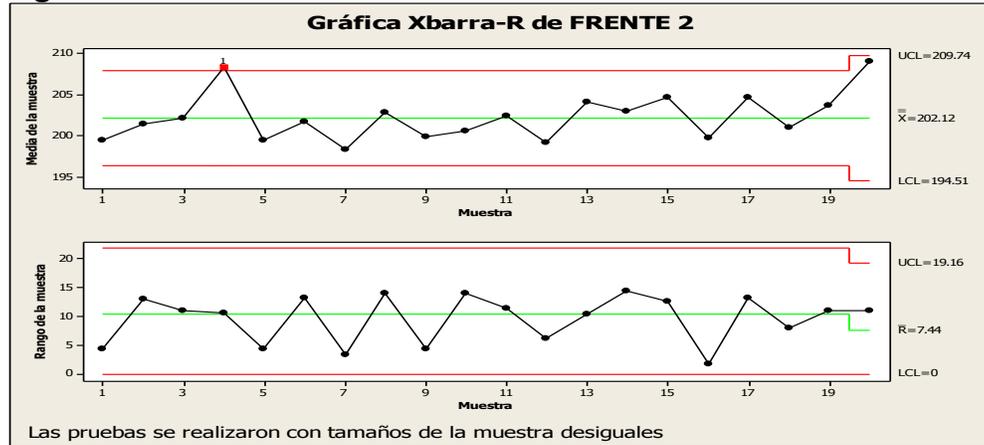
Figura No. 46 Grafico de control frente 1.



Fuente: datos de estudio.

Para el gráfico de control del frente 1, se observa un mejor control del proceso dentro de una media de 314, 3 ton, con ondas pequeñas, que evidencian la variabilidad en las cargas y pocos puntos llegando al límite superior (388, 8 ton).

Figura No. 47 Grafico de control frente 2



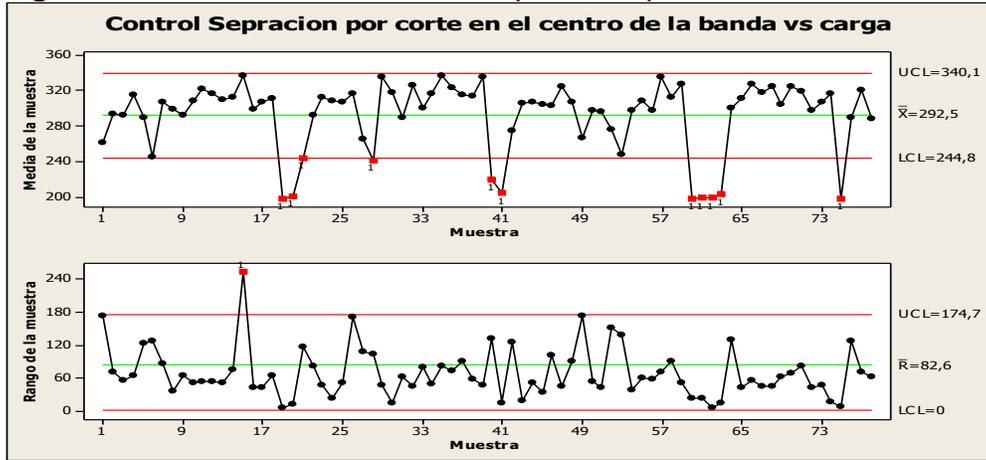
Fuente: datos de estudio.

En el frente 2, se aprecia la inestabilidad o descontrol de las cargas por debajo de las 209,7 ton (subcargue) y ondas de mayor amplitud cercanas al valor de la media 202,12 ton.

3.6.2 Carta de control separación por corte en el centro de la banda.

Una total de 78 muestras fueron tomadas para realizar la carta de control asignada a esta causa.

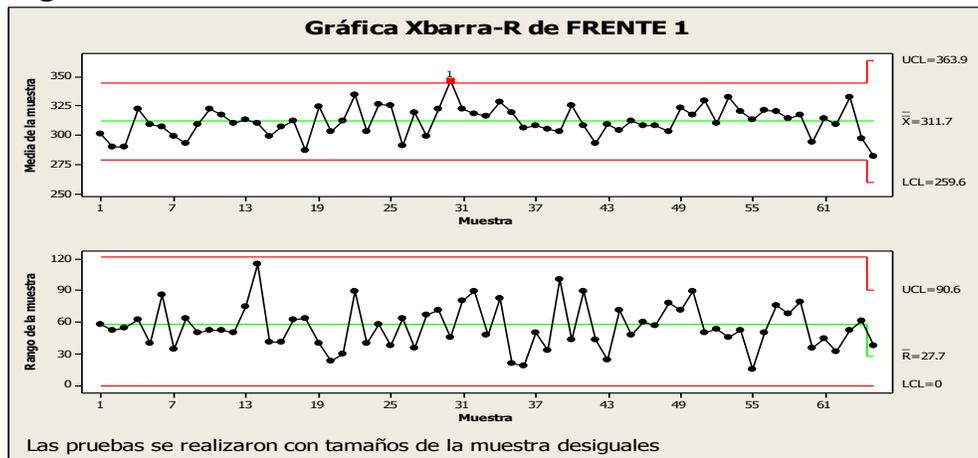
Figura No. 48 Gráfico de control separación por corte en el C.B vs Carga.



Fuente: datos de estudio.

Resultados: en esta carta de control, se evidencian una mayor cantidad de puntos acercándose al límite superior (340,1), demostrando mayor sobrecarga, continuando la fluctuación en las cargas sobrepasando también el límite inferior (244,8). No se observan rachas de crecimiento o decrecimiento en los puntos, pero si, ondas pequeñas por variación. Esta variabilidad en la carga sigue siendo directamente responsable en la presencia del defecto, en este caso la separación por corte en el centro de la banda.

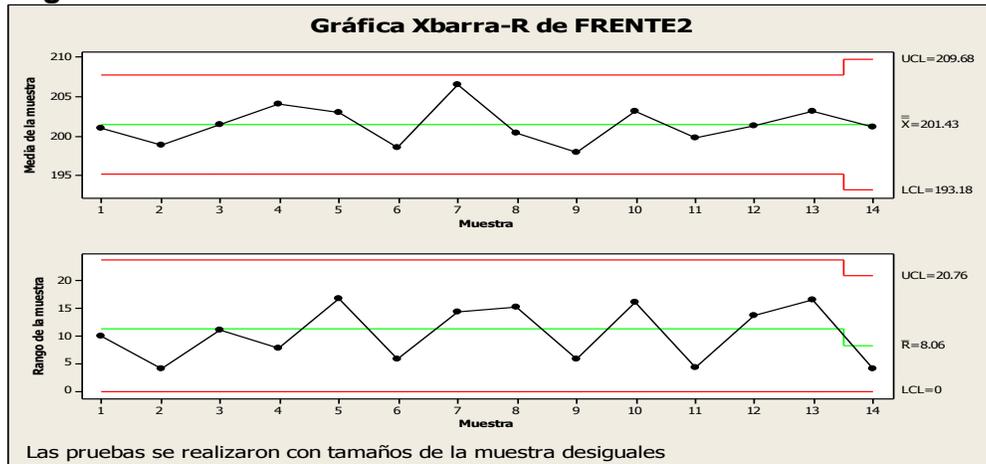
Figura No. 49 Gráfico de control frente 1



Fuente: datos de estudio.

En esta segunda causas, para el frente 1, se observan rachas de puntos por debajo y por encima de la media (311,7ton), ondas de pequeña amplitud, generadas por la fluctuación en las cargas y pocos puntos por fuera del límite superior (363,9).

Figura No. 50 Grafico control frente 2



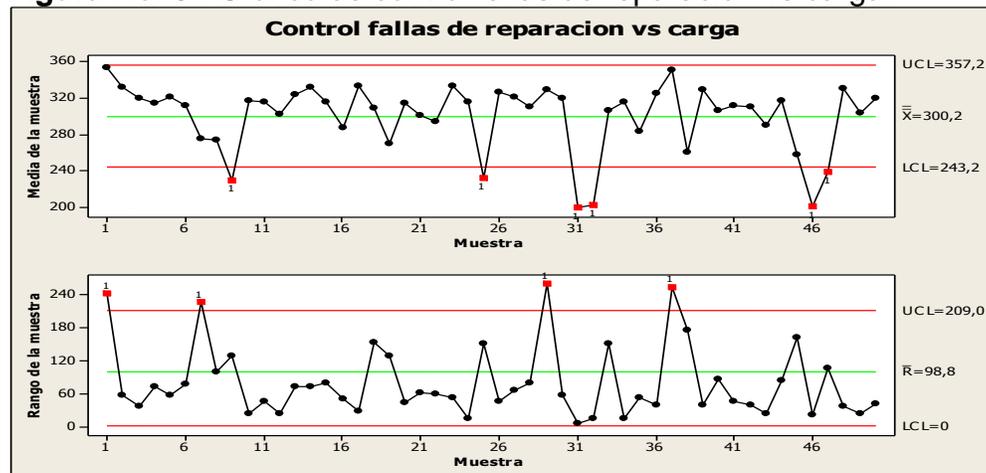
Fuente: datos de estudio.

Para el frente 2, se encuentran menos cantidad de datos en análisis, sin puntos por fuera de los límites, y ondas de gran amplitud cercanos al valor de la media (201,43).

3.6.3 Carta de control Fallas de Reparación vs Carga

Para las fallas de reparación, se sacaron un total de 50 muestras para 250 defectos realizando 5 muestras por día.

Figura No. 51 Gráfico de control fallas de reparación vs carga.

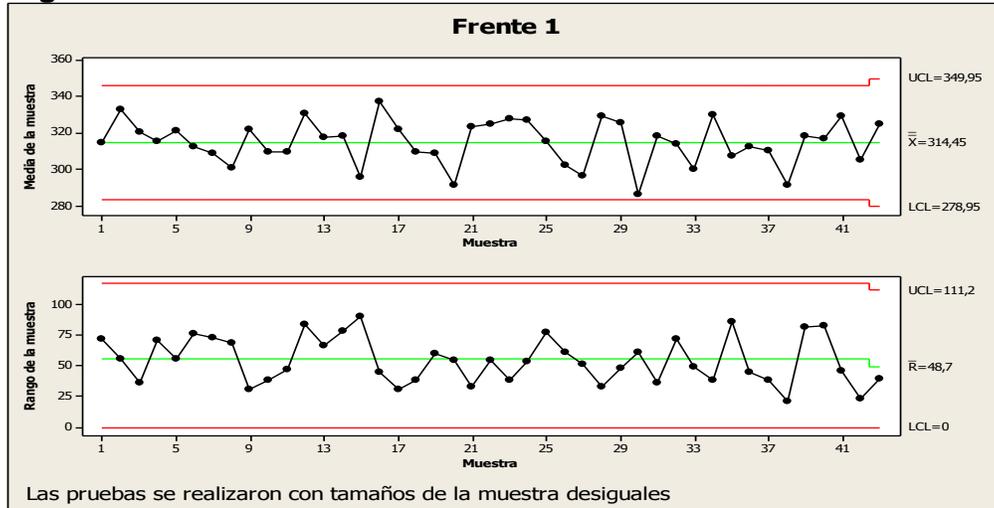


Fuente: datos de estudio.

Resultados: En el gráfico se observan ondas más amplias, con una disminución en la variabilidad en las cargas, aun presentándose puntos por encima de la media (300,2) y pocos puntos acercándose al límite superior (357,2) pero evidenciando sobrecargas. Se disminuyen la cantidad de punto por debajo del límite inferior, pero

también se puede concluir la relación directa de la carga y su varianza con los defectos.

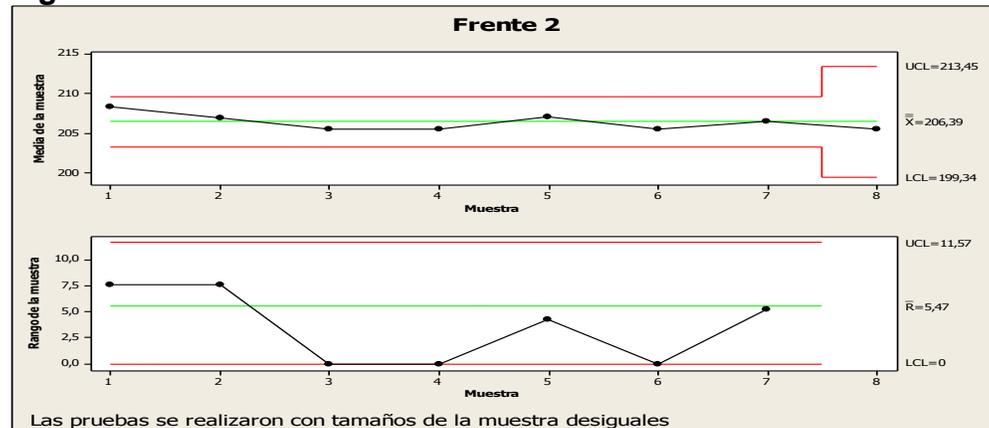
Figura No. 52 Gráfico de control frente 1



Fuente: datos de estudio.

En la gráfica de control realizada para el frente 1 de fallas de reparación, se aprecia que una gran mayoría de puntos están alrededor de la media (314,5), y están alejados del límite de control superior mostrando esto una distribución normal pero descontrolada.

Figura 53. Gráfico de control frente 2.



Fuente: datos de estudio.

Para el grafico del frente 2, se observa una regularidad en la distribución de los puntos cercanos a la media (206,39), pero descontrolado porque son cargas por debajo de las 213, 45 toneladas, lo cual se determina como subcargue. No se presentan puntos por fuera de los límites de control.

4. ALTERNATIVAS DE MEJORAS

Una vez realizado el análisis estadístico, habiendo evaluado las causas y sus efectos, se encontró que las causas de desmontes de llantas más relevantes en un periodo de ocho trimestre son: Separación por corte 38,5%, separación por corte en el centro de la banda 26,3% y fallas de reparación 16,6%. Se dieron a conocer las variables que juegan un papel importante en las causas como lo son la carga, la mano de obra, el medio ambiente, etc.

Para llevar a cabo la optimización de un proceso, en este caso, lograr ampliar la vida útil de la llanta 53/80 R 63, es necesario determinar y proponer soluciones rápidas y efectivas con el fin de evitar que se sigan presentando estos problemas en las llantas y aun mejor proporcionarle una ayuda a la producción que visiblemente está ligada a la economía de la empresa.

A continuación se presentaran alternativas que permitan dar solución a dichos problemas, y lograr la ampliación de la vida útil de la llanta:

Es responsabilidad del operador efectuar control al inicio de turno, alertando oportunamente situaciones peligrosas, realizar una conducción con orientación preventiva. Toda acción que afecte la operación, sin duda afectara al desempeño de las llantas, ya que, son ellos el único punto de contacto entre el equipo y el suelo.

Evitar zonas con derrame de material, reduciendo un posible pisado, impacto con la roca y circular con máxima precaución y a las velocidades permitidas. Durante las maniobras de carga y descarga, el retroceso debe ser con máxima precaución ya que existen puntos ciegos peligrosos.

En cuanto a las vías, se deben controlar los radios de giro de las diferentes curvas y señalar su velocidad máxima. En ciertas zonas de la mina, mejorar el trazado de las vías y el ancho de la misma para evitar el tránsito de los camiones cerca a las bermas, ya que esto puede potenciar los cortes al costado y daños en la banda de rodamiento. Las vías en perfecto estado conllevan a un mejor rendimiento de la llanta; es necesario eliminar baches que puedan producir choques provocando daños internos y eliminar pozos de agua que esconden peligros.

Una presión de inflado apropiada es la practica más importante de mantenimiento para asegurar una larga vida del neumático. La baja presión genera exceso de calor interno lo que ocasiona un decremento en la vida útil y el desgaste será más pronunciado debido al contacto irregular de la banda con el suelo. Por el contrario si se transita con sobrepresión, la banda de rodamiento se desgasta en el centro ya que es la única parte que hace contacto con el suelo. Esto dificulta la maniobrabilidad y reduce la respuesta del sistema de dirección.

Regular la variabilidad en la carga. Gracias al análisis estadístico, se logró determinar que este factor es directamente responsable de muchos de los desmontes de las llantas. Si se excede el límite de carga, también se dará un exceso de presión. Esto provocará un arqueado irregular del neumático, resultando también en una pérdida de contacto tracción y adherencia. La llanta se vuelve aún más susceptible a daños por impactos.

El almacenamiento de las llantas, nuevas o reparadas, debe ser apropiado. Conservarlas en un lugar, limpio, seco y cubierto, lejos de sitios impregnados de grasas o aceites. Si debieran almacenarse a la intemperie, es necesario cubrirlas con una lona impermeable.

Rotación o permutación en las llantas. Tratar en lo posible de ser más rigurosos con la rotación en las llantas. El desgaste irregular es una de las causas que se puede ayudar a mitigar con esta medida.

Una vez se verifican todos estos ítems, y se demuestra una mejora en el proceso, es necesario actuar, controlar y darle un seguimiento estricto, el cual nos permita lograr el objetivo de alargar la vida útil de la llanta y escatimar gastos de reparación o en su defecto, la compra de una nueva llanta en un tiempo menor al esperado.

5. ALTERNATIVAS PARA LLANTAS DESECHADAS.

En la empresa Cerrejon, una vez la llanta no tiene ningun uso, ya sea por que ha cumplido su vida util o por que no hay soluciones en un proceso de reparacion, la medida que se toma es darle de baja y almacenarla o recopilarla en el llamado "cementerio de llantas". En las fotografia xxx que se observaran a continuacion se puede identificar el impacto visual que esta cantidad de llantas acumuladas genera, no solo la que esta en estudio en este proyecto (53/80 R 63), sino de todos los tipos de llantas que se manejan en la empresa. Para esto caso, se opto por prononer algunas alternativas para la reutilizacion de dichas llantas y disminuir el impacto visual.

Foto No. 24 Cementerio de llantas



Fuente: datos de estudio.

Componente de carreteras (asfalto). Ventajas de este tipo de asfalto: es economico. Una capa de 50mm de espesor como reparador de superficie puede ahorrar unos 20000 dolares por milla y por carril sobre el asfalto convencional. Es bueno medioambientalmente. Unas capas de 50mm de espesor, emplea unos 2000 neumaticos por milla y por carril. Aumenta la duracion del contraste del color en las marcas sobre el pavimento.

Recuperacion de energia-incineracion. Proceso por el que se produce la combustion de los materiales organicos del neumatico a altas temperaturas. En Estados Unidos se utilizan neumaticos en produccion de energia en centrales termicas.

GNR Technologies. Otra alternativa de Cerrejón, para darle una solución al problema de las llantas desechadas, sería contactando a la empresa GNR, una empresa líder en el mercado de fabricación de soluciones de seguridad para estacionamientos con neumático reciclado. GNR manufactura una amplia variedad de soluciones con la misión enfocada de promover la seguridad en los estacionamientos de todo el mundo. Los productos GNR enfatizan la calidad de su producción, un diseño innovador y un precio competitivo. Todos los productos de GNR están hechos 100% de llantas de camión usadas. (Ver foto 25).

Foto No. 25 Topes de estacionamiento y reductor de velocidad



Fuente: Catalogo GMR

CONCLUSIONES

En el desarrollo y finalización de este proyecto se logró llevar a cabo la aplicación de la metodología del Six Sigma con el objetivo de buscar soluciones en lo referente a la ampliación de la vida útil de la llanta 53/80 R 63 del Cerrejón.

Mediante un diagnóstico, se dio a conocer la situación actual de la llanta en mención, para tener un punto de referencia y continuar con el estudio.

Durante un periodo de 8 meses se llevó a cabo un seguimiento a la llanta 53/80 R 63 del Cerrejón, para conocer causas, daños y factores que influyen en la disminución de su vida útil.

Satisfactoriamente se logró realizar un análisis estadístico mediante diagramas de Pareto, cartas de control, diagramas de correlación y el programa Minitab 15 y determinar las causas y daños predominantes que se presentan en la llanta.

A raíz de los resultados obtenidos por el análisis estadístico, se determinaron soluciones que pueden aportar valiosa ayuda para los distintos problemas y daños que está presentando la llanta.

Para el problema de la disposición final de las llantas desechadas, se propusieron varias alternativas para la empresa con el fin de reducir el impacto visual y ambiental que estas generan.

RECOMENDACIONES

Dictar charlas de concientización a los operadores de los camiones, para disminuir el índice de malas prácticas operacionales que inciden directamente en el desgaste prematuro de las llantas.

Inculcarle al operador sentido de pertenencia, para que trate en lo posible de cuidar el camión y las llantas.

En el momento en que en la zona de carga no hayan camiones en espera, el operador de carga debe realizar limpieza, para que cuando el camión realice el proceso de acuatamiento, no someta las llantas al pisado de rocas.

En el proceso de carga de material estéril, se recomienda el apoyo de tanqueros para que rieguen el frente de trabajo y minimicen la emisión de polvo, generando una buena visibilidad a los operadores.

Importante que la llanta esté correctamente inflada y los encargados de mantenimiento o el conductor, deben dar aviso cuando detecten que hay pérdida de presión, de esta manera evitaremos calentamiento y riesgos de deterioro de la llanta.

El aceite y las grasas, acortan la vida útil de las llantas. En este sentido, se recomienda no almacenar juntos ninguno de estos productos, ni tener mucho contacto con las llantas.

Se recomienda al operador de la pala, distribuir bien la carga sobre la tolva del camión, evitando sobrecargas que ocasionan derrames afectando las llantas del mismo o de otro camión.

Realizar una constante limpieza en las vías de acarreo para evitar que los camiones pisen las rocas presentes, producto de derrames en camiones sobrecargados.

En épocas de invierno, se recomienda que la motoniveladora remueva el material lodoso en las rampas de vías de acceso a los botaderos o en vías con pendientes pronunciadas para evitar el patinamiento de las llantas.

El operador del camión debe respetar la velocidad permitida, haciéndola compatible con el radio de giro en la curva, evitando sobrecarga sobre un conjunto de llantas, impactos con rocas, derrames y cortes.

BIBLIOGRAFIA

CENTRO DE INFORMACION TECNICA DE CERREJON.

Colombia, la Guajira. Cerrejon.2013. Cerrejón al día: las llantas gigantes del cerrajón. Ed 72.Barranquilla: consejo editorial cerrejón; p. 7.

EUCLID-HITACHI HEAVY EQUIPMENT. Manual de equipo pesado. Febrero de 2004. 1-6 p.

HITACHI CONSTRURING TRUCK MANUFACTURING LTD. Bob Mlachak.

<http://www.cerrejoncoal.com/producción.html>

<http://www.brigestone.com.mx/index.asp>

<http://www.michelin.co.uk/why-michelin/fuel-saving>

<http://www.supermotor.com/revista/actualidad/270643/por-que-es-tan-importante-presion-neumaticos.html>

MANUAL DE MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. Publicación del departamento de apoyo a la seguridad e Ingeniería ambiental. Coordinación editorial de la división de comunicaciones. Cerrejón, septiembre de 2004. 10-11 p.

PUBLICACIÓN CONFIABILIDAD PLAN 2008. Publicación del departamento de planeación corporativa coordinación editorial Dpto. de asuntos públicos. Cerrejón 2008.

REVISTA SESENTA DIAS. Publicación bimestral del departamento de asuntos públicos de Carbones del Cerrejón LLC. Julio-Agosto de 2006, Edición N° 63. p. 5 y 17.

SEIS-SIGMA. Metodología y técnicas. Escalante Vázquez Edgardo. Limusa, Noriega Editores.