	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B	
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(1)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Naren Yesith Pérez Rangel Jesús Libardo Maurello Vaca		
FACULTAD	Facultad de Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Especialización gestión de mantenimiento industrial		
DIRECTOR	Eder Norberto Flórez Solano		
TÍTULO DE LA TESIS	Diseño de un dispositivo mecánico para disminuir las fallas por tornillos partidos de la cuchilla frontal inferior de la máquina eco shear de la empresa Duramos SAS		
TITULO EN INGLES	Design of a mechanical device to reduce faults by split screws from the lower front blade of the company's eco shear machine Duramos SAS		
RESUMEN (70 palabras)			
En este proyecto se presenta el diseño de un dispositivo mecánico que permitió mitigar la falla presentada en la cuchilla frontal de maquina eco shear de la empresa Duramos SAS, todo con la implementación de un análisis causa raíz, ensayos de laboratorio y simulación de esfuerzos en el software solidworks, logrando así la determinación de la concentración de esfuerzo en los tornillos de la cuchilla y desarrollando una alternativa de solución que busca la eficiencia y eficacia de los procesos productivos de la empresa.			
RESUMEN EN INGLES			
This project presents the design of a mechanical device that allowed to mitigate the failure presented in the front blade of eco shear machine of the company Duramos SAS, all with the implementation of a root cause analysis, laboratory testing and stress simulation in solidworks software, achieving thus the determination of the concentration of effort in the screws of the blade and developing an alternative solution that seeks the efficiency and effectiveness of the production processes of the company.			
PALABRAS CLAVES	Llantas OTR, Análisis Causa Raíz, Simulación, Diseño, Mantenimiento Preventivo.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	OTR Rims, Root Cause Analysis, Simulation, Design, Preventive Maintenance.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 85	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



Diseño de un dispositivo mecánico para disminuir las fallas por tornillos partidos de la cuchilla frontal inferior de la máquina ECO Shear de la empresa DURAMOS SAS

Naren Yesith Pérez Rangel

Jesús Libardo Maurello Vaca

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander - Ocaña

Especialización Gestión De Mantenimiento Industrial

Msc. Eder Norberto Flórez Solano

30 de septiembre 2022

Índice

Capítulo 1. Diseño de un dispositivo mecánico para disminuir las fallas por tornillos partidos de la cuchilla frontal inferior de la máquina ECO Shear de la empresa DURAMOS SAS.....	8
1.1. Planteamiento del problema	8
1.2. Formulación del problema.....	10
1.3. Objetivos.....	10
<i>1.3.1. General</i>	10
<i>1.3.2. Específicos</i>	10
1.4. Justificación	11
1.5. Delimitaciones	11
Capítulo 2. Marco referencial	13
2.1. Marco Histórico.....	13
2.2 Marco Conceptual.....	15
2.3 Marco Teórico	30
2.4. Marco Legal.....	40
Capítulo 3. Metodología.....	42
3.1. Tipo de investigación	42
3.2. Etapas del proyecto.....	42
3.3. Cronograma	44
Capítulo 4. Funcionamiento de la maquina ECO SHEAR.....	46
4.1 Manual de operación de la maquina ECO SHEAR.....	46
<i>4.1.1 Descripción general del Equipo</i>	46
<i>4.1.2 Diagnostico de funcionamiento de la máquina.</i>	49

4.1.3 Análisis de la información recolectada	51
Capítulo 5. Mantenimiento preventivo RCA (Análisis Causa Raíz) en la maquina ECO Shear	52
5.1 Análisis Causa Raíz en la ECO Shear	52
5.2 Análisis de esfuerzos en la cuchilla de máquina ECO SHEAR	53
5.3 Ensayos de laboratorio.....	59
5.3.1 Inspección visual	59
5.3.2 Ensayo de Dureza	62
5.3.3 Ensayo de metalografía y análisis en microscopio electrónico de barrido (SEM).	66
5.4 alternativa de solución	70
Capítulo 6: Alternativa Mecánica.....	71
6.1 Diseño alternativa mecánica.....	71
6.2 Estudio de mercado para evaluar costo de fabricación del pisador metálico.	75
Capítulo 7: Pruebas de campo en la máquina y evaluación de desempeño.....	77
7.1 Construcción e instalación de la alternativa mecánica	77
7.2 evaluación del desempeño de trabajo.	78
Conclusiones.....	81
Referencias	83

Lista de Figuras

Figura 1 Mordaza maquina ECO Shear.....	9
Figura 2 Extracción de tornillos en ECO Shear.	9
Figura 3 Microscopio electrónico de barrido SEM	30
Figura 4 Maquina ECO Shear	46
Figura 5 Joystick de control	47
Figura 6 Sistema hidráulico de la ECO Shear	48
Figura 7 Brazo y cizallada de corte de la ECO Shear	48
Figura 8 Mordazas con cuchillas	49
Figura 9 ECO Shear vista frontal con dimensiones.....	50
Figura 10 ECO Shear vista posterior con dimensiones.	51
Figura 11 Tornillo de sujeción de las cuchillas fracturado.....	53
Figura 12 Sistema completo de la cizalla articulado	54
Figura 13 Pieza superior de la mordaza de cizalla.	54
Figura 14 Esfuerzos de tensión en la mordaza superior de la ECO Shear	55
Figura 15 Esfuerzos de tensión en la mordaza superior de la ECO Shear.	55
Figura 16 Deformación en la mordaza superior de la ECO Shear	56
Figura 17 Factor de Seguridad de la mordaza superior de la ECO Shear	57
Figura 18 Porcentaje de falla en la mordaza superior de la ECO Shear.....	57
Figura 19 Vida total en la mordaza superior de la ECO Shear.....	58
Figura 20 Deformación plástica de los tornillos de sujeción de la cuchilla	59
Figura 21 Tornillo Fracturado	60
Figura 22 Tornillo deformado	60

Figura 23 Tornillo con deformación en el comienzo de la rosca	61
Figura 24 Método de extracción de tornillos mediante la aplicación de soldadura.	61
Figura 25 Ensayo de dureza en Durómetro Mitutoyo	62
Figura 26 Tornillo patrón sin uso	63
Figura 27 Tornillos deformados plásticamente.	64
Figura 28 Tornillo Fracturado.	65
Figura 29 Muestra en cortadora metalográfica de precisión con disco de polvo de Diamante.	66
Figura 30 Montaje en resina fenólica del tornillo sin uso.	67
Figura 31 Montaje en resina fenólica del tornillo deformado plásticamente	67
Figura 32 Montaje en resina fenólica de tornillo fracturado	68
Figura 33 Micrografías en Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).....	69
Figura 34 Dibujo de la pieza alternativa mecánica (Pisador).....	71
Figura 35 Montaje en SolidWorks del pisador metálico sobre la mordaza superior de la ECO Shear	72
Figura 36 Esfuerzos de tensión en la mordaza superior con pisador de la ECO Shear.....	73
Figura 37 Deformación en la mordaza superior con pisador de la ECO Shear.....	73
Figura 38 Factor de Seguridad de la mordaza superior con pisador metálico de la ECO Shear.	74
Figura 39 Porcentaje de falla en la mordaza superior de la ECO Shear.....	74
Figura 40 Vida total en la mordaza superior con pisador metálico de la ECO Shear	75
Figura 41 Montaje in-situ en la maquina ECO Shear de la empresa Duramos SAS.....	77
Figura 42 Representación gráfica del total llantas procesadas años 2021 y 2022.....	78

Figura 43 Representación gráfica del promedio de llantas por día en la empresa Duramos

SAS..... 79

Lista de Tablas

Tabla 1. Cronograma	45
Tabla 2 Tornillo sin uso.....	63
Tabla 3 Tornillo deformado.....	64
Tabla 4 Tornillo fracturado.....	65
Tabla 5 Costo de fabricación del pisador	76

Capítulo 1. Diseño de un dispositivo mecánico para disminuir las fallas por tornillos partidos de la cuchilla frontal inferior de la máquina ECO Shear de la empresa DURAMOS SAS

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad la empresa DURAMOS SAS se encarga de hacer disposición final de llantas gigantes OTR del corredor minero del Cesar a través de nuevas tecnologías para que todos los pasivos ambientales de residuos especiales en este caso las llantas vuelvan a la cadena productiva y no se conviertan en focos de contaminación o generación de vectores; para seccionar la llanta en trozos de 18 a 24 kilogramos se usa la máquina ECO Shear, que es el primer diseño en el mundo de este tipo de tecnología.

El impacto ambiental estará dado en que miles de kilogramos de acero y caucho que mensualmente retornarán a la cadena productiva a convertirse en combustible alternativo, pisos de gimnasios, canchas sintéticas, bujes, reductores de velocidad, caucho de jardinería, acero estructural; entre otros. De cada llanta se recuperan aproximadamente 1000 Kilogramos (Kg) de caucho Premium 99% libre de metal, 1900 kg de caucho con 90% libre de acero, 300 Kg de acero en viruta y 300 kg en aceros pesados.

La ECO Shear a través de una mordaza que combina el filo de cuchillas y presión hidráulica, logra cortar la llanta y los 4 cinturones metálicos trenzados; esta máquina está diseñada para cortar 10 llantas de 3,5 toneladas por día. En este momento solo se está cortado entre 5 a 7 llantas por día, debido a que la cuchilla frontal presenta daños en su tornillería de sujeción M12x1.75x40mm (Ver Figura 1), y para extraerlos se requiere proceso de soldadura o en ocasiones de maquinado en torno portátil, que está demorando

entre 20 a 35 minutos por tornillo, imposibilitando cumplir con el rendimiento esperado de la máquina ECO Shear (Ver Figura 2).

Figura 1

Mordaza maquina ECO Shear. a) Mordaza de corte completa; b) Mordaza de corte con tornillos partidos.



a)

b)

Figura 2

Extracción de tornillos en ECO Shear.



1.2. Formulación del problema

¿Qué tipo de dispositivo mecánico puede ayudar a disminuir los tiempos de extracción de tornillos partidos de la cuchilla frontal inferior de la máquina ECO Shear de la empresa DURAMOS SAS?

1.3. Objetivos

1.3.1. General.

Diseñar un dispositivo mecánico para disminuir las fallas por tornillos partidos de la cuchilla frontal inferior de la máquina ECO Shear, para alcanzar la producción actual presupuestada por la empresa DURAMOS SAS.

1.3.2. Específicos

- Describir el funcionamiento de la maquina ECO Shear de la empresa DURAMOS SAS.
- Realizar mantenimiento preventivo RCA (Análisis Causa Raíz) en la maquina ECO SHEAR, teniendo en cuenta las fallas recurrentes generadas por esfuerzos en los tornillos de la cuchilla frontal al realizar el proceso de corte de llantas con la mordaza.
- Diseñar una alternativa mecánica que ayude a contrarrestar los esfuerzos que se generan en los tornillos de la cuchilla, con el planteamiento de un sistema de reemplazo rápido de alojamientos de tornillos, que sea desmontable y no requiera de procesos adicionales como soldadura o servicio de mecanizado en torno portátil.
- Realizar prueba de campo en la máquina y evaluar su desempeño, para observar el comportamiento del dispositivo frente a la problemática existente.

1.4. Justificación

Con este proyecto se pretende ofrecer a la empresa DURAMOS SAS el diseño de un dispositivo mecánico para disminuir los tiempos de extracción de tornillos partidos de la cuchilla frontal inferior de la máquina ECO SHEAR, de tal manera se satisfagan las condiciones que se dan de trabajo y se optimicen los procesos productivos establecidos por la empresa.

Para solventar la situación por la cual está pasando la línea de producción, sería conveniente describir el funcionamiento de la maquina ECO SHEAR, de igual manera a realizar un análisis de los esfuerzos que se generan en los tornillos de la cuchilla frontal al realizar el proceso de corte de llantas con la mordaza, que permita realizar el diseño de una alternativa mecánica que ayude a contrarrestar los esfuerzos que se generan en los tornillos de la cuchilla, con el planteamiento de un sistema de reemplazo rápido de alojamientos de tornillos, que sea desmontable y no requiera de procesos adicionales como soldadura o servicio de mecanizado en torno portátil; por ultimo para validar el diseño planteado realizar pruebas de campo en la máquina y evaluar su desempeño, para observar el comportamiento del dispositivo frente a la problemática existente.

Diseñando un dispositivo mecánico que pretende ayudar en la disminución de los tiempos de extracción de tornillos partidos de la cuchilla frontal inferior de la máquina ECO SHEAR, para buscar la eficiencia y eficacia en los procesos productivos de la empresa DURAMOS SAS.

1.5. Delimitaciones

1.5.1. Geográfica.

El proyecto se realizará en la planta de disposición de llantas usadas de DURAMOS SAS ubicada en el kilómetro 8 + 150 metros vía la Loma Cesar a La Jagua de Ibirico. La empresa se encuentra ubicada en el corregimiento de la loma jurisdicción del municipio del Paso Cesar, Colombia.

1.5.2. Conceptual.

La temática de este proyecto abarca 3 vertientes: Resistencia de materiales, Diseño Mecánico y Materiales Metálicos de Ingeniería.

1.5.3. Operativa.

Se dará un desarrollo basándose en las pautas que desea la empresa DURAMOS SAS, diseño del fabricante de la máquina ECO Green Equipment, asesoría del departamento de ingeniería mecánica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña; con una asesoría del director del proyecto, teniendo como cimientos la información ofrecida por parte del área de mantenimiento de la empresa con el fin de consolidar los objetivos del proyecto.

1.5.4. Temporal.

En la investigación se tomará un lapso de tiempo de 8 a 12 semanas comprendidas entre los meses de julio y agosto del año 2022 con lo cual se realizará el diseño de un dispositivo mecánico para disminuir los tiempos de extracción de tornillos partidos de la cuchilla frontal inferior de la máquina ECO SHEAR en la empresa DURAMOS SAS.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1. Marco Histórico

La empresa DURAMOS SAS, se consolidó en la Cartagena, Colombia; para el año de 1996, con base a una necesidad y las ganas de una asociación familiar de tres hermanos quienes poseían destrezas en el área de transportes en diversas modalidades en el ámbito nacional; por ellos se conformó y nombró la empresa como DURAMOS (Durán – Mosquera).

Dieron pie al inicio con la cantidad de 5 vehículos los cuales fueron puestos a disposición por parte de los socios prestadores de quienes serían sus primeros clientes Willbros Group (multinacional que realizó el proyecto de construcción de Cerrejón), los cuales transportaban agua, combustible y carga seca.

Siendo el año 2001, se dio con una necesidad de alianza que sirviera como estrategia debido a las demandas de EXXONMOBIL de Colombia las cuales exigían el contar con un transportador profesional encargado de proveer los requerimientos de la Multinacional Drummond LTD. De tal forma se consolida, entonces, Consorcio DIA con el acuerdo que firman tres compañías reconocidas a nivel nacional, DURAMOS, TRANSPORTES INOXIDABLES (actualmente Coordinadora de Tanques) y TRANSPORTES AROCA. En el mismo año se reconstruye la flota.

Pasado el tiempo y llegado el año 2010 se decide el traslado a una nueva ciudad, la cual sería Santa Marta con un total de 17 vehículos con capacidad de carga de 11.000 galones.

Los años de labor de DURAMOS Transportes superan los 20 años de trabajo en las carreteras del territorio nacional, acompañados de un criterio de servicio, orden en su proceder y puntualidad de entrega.

En la actualidad se realizan mayores procesos referentes a lo que es la gestión administrativa, la coordinación operativa, coordinación HSEQ y gestión contable, en donde se posee una flota de 48 tractocamiones con cisterna de capacidades de 11000 galones cada uno, manteniendo estos vehículos en un estado adecuado con la finalidad de obtener resultados garantizados.

DURAMOS S.A.S. Es una empresa que se encarga de la prestación de servicios de transporte de carga en la Región Caribe Colombiana, el cual cuenta con un valioso equipo de trabajo y recursos tecnológicos, que certifican el cumplimiento de los estándares de calidad en el servicio, seguridad para la carga y la rentabilidad de la organización.

Desde hace más de 16 años, se transporta hidrocarburos a nivel nacional, con especialidad en el transporte de residuos oleosos para Drummond LTD.

Aun que se cuenta con 48 vehículos es preciso afirmar que gracias a asociados se tienen 60 vehículos para carga con capacidades de 35 Toneladas, modelos actuales, todos dotados de acuerdo a las exigencias de los clientes y de acuerdo a los niveles de riesgos de las operaciones que realizan. Todos los vehículos cuentan con rastreo satelital que permiten hacer seguimiento y brindar información constantemente sobre el estado de la carga a los clientes. (DURAMOS SAS, 2022)

A finales del año 2020 nació la planta de trituración de llantas de DURAMOS SAS siendo la primera en Suramérica, ubicada en el corredor vial que comunica al corregimiento

de la loma con el municipio de la Jagua de Ibirico en el departamento del Cesar, esta planta hace parte de la división ambiental y se complementa con la aplicación de lo que se llama economía circular o naranja, su principal trabajo recibir las llantas OTR que hacen parte de un pasivo ambiental y darle una disposición final con fines de reutilización de las mismas.

Dentro de la planta se hacen 5 subprocesos entre los cuales se tiene: 1) raspado de la llanta, donde se le quita aproximadamente 1 tonelada de peso de caucho. 2) extracción de las venas de acero en los extremos centrales de la llanta con un peso que oscila entre los 250 a 280 kg de peso de acero. 3) con la maquina ECO Shear que tiene una mordaza en forma de caimán, corta la llanta en trozo de aproximadamente 20 kg. 4) se realiza la primera trituración de caucho de 12 cm de diámetro. 5) por último se pasa por una máquina que funciona con el principio de un rayador donde entrega tamaño de grano de una pulgada y subproductos que según granulometría están clasificados en 4 tipos de cauchos utilizados comercialmente en diversos sectores, teniendo en cuenta que estos cauchos vienen 99 % libres de acero.

2.2 Marco Conceptual

Llanta

Es un objeto mecánico hecho principalmente de caucho, acero y otros materiales, posee una estructura metálica en el interior llamada rin y es llenada con un fluido compresible por lo general es aire; es capaz de soportar cargas y transferir fuerzas de tracción. (Nyaaba et al., 2019)

Las llantas son muy utilizadas en medios de transporte terrestre, como por ejemplo en automóviles, camiones de carga liviana y pesada y en maquinaria de grandes dimensiones utilizadas en minería.(Nyaaba et al., 2019)

Caucho

el caucho es un polímero elástico que se extrae como una emulsión lechosa de grandes plantaciones, deliberadamente empleado para la fabricación de neumáticos, en donde se emplean elementos añadidos diversos, bajo alternaciones genéticas en la cual se mejora la elaboración de látex; pero que también puede ser producido sintéticamente.

Otros autores han afirmado lo siguiente:

En 1839, por accidente, un inventor de Boston, Charles Goodyear dejó caer una mezcla de caucho y de azufre sobre una estufa caliente. Fue el principio de la vulcanización, el proceso que hizo el caucho inmune a los elementos, transformándolo de rareza en producto esencial de la era industrial.(Pascual et al., 2019)

Para 1925 se abarató el proceso usando butadieno, que a su vez se obtenía del butano y butileno, subproductos del petróleo que se convirtió en la principal materia prima para la obtención del caucho. Posteriormente se descubrieron otras clases de cauchos sintéticos. A partir de 1945 la producción de caucho sintético supera la de caucho natural, el cual sin embargo ha permanecido en el mercado, logrando importancia en épocas de precios altos del petróleo.(Zhai et al., 2022)

Dentro de sus aplicaciones se tiene la realización industrial de los neumáticos como también aquellos aislantes o los impermeables, los cuales tienen las características de repeler agua, aislar la temperatura e incluso la electricidad.

Al caucho natural comúnmente se le realiza un proceso de vulcanización donde se le eleva su temperatura y junto a esto se añaden elementos que bien pueden ser azufre o selenio, en este suceso se da el resultado de enlace de las cadenas de elastómeros, mejorando así su resistencia a los cambios de temperatura y elasticidad.

Se ha afirmado que:

El proceso de vulcanización fue descubierto casualmente en 1839 por Charles Goodyear, quien mejoró enormemente la durabilidad y la utilidad del caucho. La vulcanización en frío, desarrollada en 1846 por Alexander Parkes, consiste en sumergir el caucho en una solución de monocloruro de azufre (Cl_2S_2). Actualmente más de la mitad del caucho usado hoy en día es sintético, pero aún se producen varios millones de toneladas de caucho natural anualmente. (Ren et al., 2022)

Existen diversas técnicas de moldeo del caucho, entre las más utilizadas se tiene:

Por compresión

Es un método en donde la materia prima que se encuentra en polvo es alojada en un recipiente que hace las veces de molde el cual recibe temperatura entre $140\text{ }^\circ\text{C}$ a $160\text{ }^\circ\text{C}$, y sujeta a una presión elevada. Después de haber mantenido la materia prima bajo sensación térmica alta y la magnitud física de presión sobre este y conforme al grosor de la pieza

deseada se puede concluir una plastificación al igual que el curado en el mismo molde, dejando solo así el desmante.

Por transferencia

Este método tiene similitud con el anterior, variando en que antes de entrar al molde la materia prima se le realiza un precalentamiento y su forma de alojamiento en el molde es hidráulicamente; empleado para la fabricación de piezas que presentan movimientos o que tengan orificios, añadidos, entre otros.

Por inyección

En este método se realiza la introducción mediante el aprovechamiento de la gravedad en una tolva, que con un tornillo que presenta calor en sus paredes permite inyectar a presión al molde, esta presión es distinta y varía conforme el material que se emplee. Pasado un lapso corto se desmonta la pieza, siendo una técnica con un tiempo de realización muy corto permitiendo una producción de grandes proporciones.

Proceso de des humificación

La des humificación es un procedimiento en donde se emplea un sistema automatizado que toma la materia prima a un nivel de humedad que se aspire y que todo material con características higroscópicas debe someterse a esta técnica.

Atemperadores de molde

Los atemperadores son aquellos que facilitan la presencia de temperatura en el molde, ya sea aumentando o disminuyendo la misma; todo esto dependiendo de las

necesidades de temperatura que presente la materia prima que se emplee en el proceso.

(Sun et al., 2022)

Llanta OTR

OTR son las siglas para Off The Road, que en inglés significa “fuera del camino”, o bien, como coloquialmente lo conocemos: todo terreno. Las llantas OTR están construidas expresamente para desempeñarse en terrenos anómalo y en condiciones inflexibles fuera de las calzadas. (Nishi et al., 2022)

Se pueden encontrar llantas OTR convencionales, diagonales o radiales, todo de acuerdo a la necesidad del terreno donde se va a operar la máquina, estas llantas están constituidas de la siguiente manera: Banda de rodadura que hace contacto con el suelo, cinturones (estabilizador), carcasa, paredes, sellante, ceja o talón, etcétera.

Estos contienen una codificación que permite conocer el aforo de carga de un neumático. Teniendo en cuenta que la apropiada presión en el llenado es vital para poseer un rendimiento optimo, ya que las características de flotación, resistencia y tracción solo se consiguen con el correcto inflado, teniendo en cuenta el aspecto de revisión cada semana del aire. De esta forma si se considera un inflado deficiente o uno excesivo la vida útil del neumático se vería afectado; por otro lado, un aspecto relevante también es la sobre carga en los neumáticos, los cual puede provocar fallas tempranas concluyendo en seguir las recomendaciones de capacidad de carga de los fabricantes. (Zhuang et al., 2022)

Dentro de las condiciones de operación de la llanta se tiene que tener en cuenta las instrucciones conforme a la velocidad que el neumático puede mantener, adecuado al índice de carga conforme a condiciones específicas de servicio. Obrar en un exceso de velocidad

puede crear una condición de temperatura elevada en estos neumáticos lo cual puede crear una falla temprana, de tal forma es mejor consultar la ficha técnica.(Wei, Zhu, et al., 2022)

Para el cambio de llantas siempre se debe valer del manual del vehículo, siguiendo las instrucciones que este brinda. Viendo así esto el mal manejo de cambio de llanta del vehículo puede deteriorar la misma; por ello se deben escoger las originales, e instalarlas con un personal experimentado en esta área, teniendo en cuenta los aspectos de presión, carga máxima y la correcta conducción, evadiendo movimientos bruscos y repentinos. (Kang et al., 2021)

Las llantas se emplean con el fin de trabajar por millones de kilómetros ofreciendo un servicio excelente. Esto se obtiene cuando el mantenimiento de esta es óptimo, con la finalidad de evitar daños; sus condiciones decentes de funcionamiento de la llanta conforme transcurren el tiempo, depende del trato de almacenamiento y las condiciones de servicio a los cuales se somete.(Wei, Xie, et al., 2022)

Reciclaje de llantas

El reciclaje de llantas “es una iniciativa que busca darle uso a las llantas viejas y sin uso, para convertirlas en productos hogareños o industriales haciendo uso de la materia prima de la llanta, así es como pasa de convertirse en un elemento contaminador, a un elemento decorativo o incluso productivo”, según informa el portal web Ecología Hoy.(Martínez et al., 2021)

Las llantas es uno de los mejores productos de los cuales se pueden reciclar ya que se pueden convertir en una variedad amplia de productos, por ejemplo, una llanta

desinflada podría quemarse como combustible, convertirse en equipo de juegos o incluso usarse para hacer césped artificial.

Las llantas pueden ser recicladas, permitiendo dar vida a nuevos neumáticos y otros servicios. El caucho puede emplearse para: Impermeabilizar techos y paredes hoyos o perforaciones, sellar productos con grietas, adoquines, la creación de tejas losetas y materiales para la construcción, balones, entre otros.

Las llantas tienen un problema al momento de desecharlas y esto se debe a la quema por la cual debe pasar la misma ya que por este proceso se crean gases que pueden ser altamente tóxicos e incluso pueden terminar siendo cancerígenos por ello el reutilizarlos resulta lo más sano para el hombre y el planeta. (Gumede et al., 2022)

Las llantas Firestone cuando son recicladas se les puede dar un uso tecnológico, ya que poseen una serie de recursos diversos como, por ejemplo: el caucho sintético y natural, fibras textiles como nylon, poliéster, carbón, así como metales como el alambre y acero.

En el reciclaje de llantas hay dos alternativas: pirolisis y trituración.

Pirolisis

Es un procedimiento donde se queman las llantas con la inexistencia de oxígeno lo que resulta en una recuperación completa de los materiales que conforman la llanta. Estos componentes “salvados” se reutilizan en la industria variada o pueden retornar a la fabricación de nuevas llantas.

Trituración

Es un procedimiento basado en machacar las llantas con el fin de conseguir diversos tamaños que se pueden emplear en variados fines; haciendo su separación de fibras y acero con la ayuda de un electroimán.

Otro proceso de reciclaje, se basa en realizar la congelación de llanta a una temperatura de $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ para posteriormente ser golpeada para dividirla en partes más pequeñas.

Se ha conocido que:

En asociación con Bridgestone, se lanzó el “Llantatón”, el programa que tiene como objetivo recuperar y reciclar las llantas que hayan finalizado su vida útil, contribuyendo así al medio ambiente. Gracias a esta iniciativa se han logrado recuperar alrededor de 128 toneladas de llantas. Además, que se ha concientizado a las comunidades sobre la prevención del dengue, zika y Chikunguña, enfermedades que los llamados “cementeros de llantas” pueden atraer. Las llantas Firestone se preocupan por el medio ambiente, es por eso que también ofrecen productos Ecológicos que contaminan menos que otros neumáticos.(Wei, Xie, et al., 2022)

Reutilización del caucho

Los residuos elastoméricos que se encuentran en el caucho, pueden producir un daño en el medio ambiente debido a la lenta degradación, debido a que en su reciclaje no se genera ningún costo adicional si se puede reusar estas llantas que ya no tienen una actividad.

De esta manera se genera una solución y es la reutilización de este caucho para diversas aplicaciones, al reciclarse el caucho se puede ver otro uso como la confección de alfombras de alfombras, bolsos, carteras, asfalto de vías y carreteras, sistemas de absorción de vibraciones para estructuras ferroviarias, modificación de las propiedades del hormigón, relleno para césped artificial de campos de fútbol, pistas de Atletismo o Ciclismo, reductor de velocidad vial.(Mohamad Aini et al., 2022)

Tribología

Se dice que:

La tribología (del griego τρίβω trībō, "frotar o rozar") es la ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación que tienen lugar durante el contacto entre superficies sólidas en movimiento. El término es usado universalmente desde finales del siglo XX. La tribología se define como la ciencia y tecnología de la interacción entre superficies en movimiento relativo e involucra el estudio de la fricción, el desgaste y lubricación.(Moinian & Ameli, 2020)

Fatiga

La fatiga es una falla que se genera paulatinamente mediante cargas repetitivas y cíclicas que al ser sometida a estas presenta fracturas a nivel de esfuerzo menor que a lo que se puede causar cuando la falla es baja a unas condiciones estáticas. La falla puede visualizarse con facilidad ya que esta es superficial. (Nyaaba et al., 2019)

Esfuerzo Cortante

Es el resultado de someterse a unas tensiones paralelas a la sección transversal de una pieza.

Como definición:

Podemos decir que se llama esfuerzo cortante en una barra a la fuerza que es paralela a una sección recta de la misma. Siguiendo con las sollicitaciones o esfuerzos en las estructuras de barras, nos ocuparemos ahora del cortante. El esfuerzo normal es el esfuerzo que soporta una estructura bajo carga axial, es decir, cuando la carga se encuentra a lo largo de su eje principal, y el esfuerzo cortante es el esfuerzo que soporta una estructura en el sentido perpendicular a su eje principal. (Ai et al., 2020)

Presión

Podemos describir la presión como una magnitud en donde se ve inmiscuida una fuerza, tal fuerza actúa sobre un área de superficie. Cuando sobre una superficie plana de área A se aplica una fuerza normal F de manera uniforme, la presión P viene dada de la siguiente forma:

$$P = \frac{F}{A},$$

Donde:

P = es presión;

F = es fuerza que actúa sobre la superficie y

A = es área de la superficie plana normal a la fuerza aplicada de manera uniforme

Concluyendo la formula se ha afirmado que:

La presión (símbolo: p o P) es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea. (Martínez et al., 2021)

En el Sistema Internacional de Unidades la presión se mide en una unidad derivada que se denomina pascal (Pa), que es equivalente a una fuerza total de un newton (N) actuando uniformemente sobre un área de un metro cuadrado (m²).

$$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m * s^2}$$

La presión se clasificada en los siguientes tipos:

Absoluta. Es la presión que actúa sobre la materia mediante de la aplicación de otro cuerpo, incluyendo la presión de la atmosférica (todos cuerpos se ven influenciados por la presión atmosférica).

Atmosférica. En esta presión se ve inmiscuido los gases de la atmosfera sobre la superficie terrestre y todo lo que repose en ella. En cuanto se eleve con respecto al nivel del mar esta presión disminuye debido a que se presenta menor masa en las inmediaciones del cielo.

Manométrica. Es la presión existente sobre lo que es el valor de la atmosférica. De igual forma se le conoce como la presión relativa y su unidad de valor se da por una diferencia entre lo que es la presión absoluta y la presión de la atmosfera. Esta puede medirse con un instrumento de medición llamado manómetro, ciertamente ampliamente usado en el día a día.

Hidrostática o hidrodinámica. Es la presión que experimentan los fluidos, en donde el peso del fluido que se encuentre en reposo como también aquel que este en un indeterminado lapso de movimiento.

Se podría decir que en la realización de actividades del día a día podremos presenciar algunos ejemplos de presión como pueden ser:

Las ollas de presión. Con la función de ablandar alimentos en tiempos cortos, funcionan aprovechando un interior completamente sellado con un aumento gradual de temperatura en donde la presión al interior genera el ablande de los alimentos.

Refrigeración. Estos dispositivos con la tarea de congelar o refrigerar operan bajo la circulación de un líquido o gas a presión por ductos gracias a estos aumentan o disminuyen las presiones, al igual que las temperaturas consiguiendo así la refrigeración.

Frenos hidráulicos. Creados para evitar volcamientos en los vehículos, funcionan gracias a que se conserva la presión del fluido de freno alta o baja según se requiera en el momento, así se suaviza la acción de frenado y se minimiza el riesgo de derrapamiento y volcada.

La inmersión. En el momento que se realiza buceo, se puede percatar de una sensación de peso del agua sobre el cuerpo, como una forma más intensa de presión. Esto puede acarrear daños físicos cuando se está a kilómetros por debajo de la superficie.

La presión y la temperatura están íntimamente conectadas. Cuando una sustancia compresible (como un líquido o, mejor aún, un gas) se somete a grandes presiones que obligan a sus partículas (ordinariamente dispersas) a aproximarse las unas a las otras y a vibrar con mayor velocidad, se produce una acumulación de energía que se suele liberar como calor. En efecto, a mayor velocidad de las partículas, mayor temperatura. (Martínez et al., 2021)

Esta relación está descrita por la Ley de Gay-Lussac, que establece una proporción directa entre la presión de un volumen fijo de un gas ideal y su temperatura, según la fórmula:

$$k = \frac{P}{T},$$

donde:

k = es una constante;

P = es presión;

T = es temperatura.

Mantenimiento

Se define como todas las actividades que se realizan con la finalidad de conservar un objeto en buen estado o restaurarlo a su estado más funcional y óptimo. Todo con el

aprovechamiento de técnicas en donde se lleva a cabo un proceso buscando siempre mantener en funcionamiento variado utensilio. En otras palabras, el mantenimiento trata de realizar reparaciones, actualizaciones u otras acciones donde se conserve en excelente estado el bien. (Wang et al., 2021)

Falla mecánica

Las fallas son todo aquel estado de un objeto no deseado, el cual puede referirse a un estado funcional o estructural deplorable; en otras palabras, es cualquier error del equipo que interfiere en las actividades productivas de la máquina. (Kimera & Nangolo, 2020)

Dureza

Se le conoce a la dureza como aquel grado de resistencia a la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes. La dureza es una condición de la superficie del material y no representa ninguna propiedad fundamental de la materia. Se evalúa convencionalmente por dos procedimientos.

El ensayo de dureza es simple, de alto rendimiento ya que no destruye la muestra y particularmente útil para evaluar propiedades de los diferentes componentes microestructurales del material.

Los métodos existentes para la medición de la dureza se distinguen básicamente por la forma de la herramienta empleada (penetrador), por las condiciones de aplicación de la carga y por la propia forma de calcular (definir) la dureza. La elección del método para determinar la dureza depende de factores tales como tipo, dimensiones de la muestra y espesor de la misma (Pereira, 2015).

Metalografía

La metalografía es una disciplina de la ciencia que se encarga de examinar y determinar los componentes en una muestra de metal, haciendo uso de Varios niveles de magnificación que pueden ir desde 20x hasta 1'000.000x (ASM International , 2004). También se conoce como el proceso entre la preparación de una muestra de metal y la evaluación de su microestructura (Askeland & Phulé, 2004).

El estudio de metalografía comprende en gran parte la observación de granos, la dirección, el tamaño y la composición de los mismos; estas microestructuras pueden ser observadas en un rango entre 10^{-8} m y 10^{-2} m. El estudio de metalografía puede integrarse en dos subdivisiones: Análisis macroscópico y Análisis microscópico.

Microscopía Electrónica de Barrido (Scanning Electron Microscope, SEM)

El microscopio electrónico de barrido, conocido por sus siglas inglesas SEM, utiliza electrones en lugar de luz para formar una imagen. Para lograrlo, el equipo cuenta con un dispositivo termoiónico (filamento) que genera un haz de electrones para iluminar la muestra y con diferentes detectores se recogen después los electrones generados de la interacción con la superficie de la misma para crear una imagen que refleja las características superficiales de la misma, pudiendo proporcionar información de las formas, texturas y composición química de sus constituyentes.(Espinel-Blanco et al., 2019)

Figura 3

Microscopio electrónico de barrido.

**2.3 Marco Teórico****2.3.1. Tribología.**

La palabra Tribología, es proveniente del griego (τριβος) y hace referencia a lo que conocemos como fricción o rozamiento y (λογος) que se resume en estudio. Que en el conocimiento de la individualidad de la palabra se traduce como estudio de los fenómenos de fricción o rozamiento. Este juicio se dio a conocer por primera vez por Peter Jost en la fecha del 09 de marzo de 1966 en un documento realizado para la Comisión del Ministerio de Educación y Ciencia de la Gran Bretaña, y la determino así: “La ciencia y la tecnología que estudia las superficies que están en contacto y movimiento relativo, así como los fenómenos que de ello se derivan” (Tribology in Machine Design, 1983). Por consiguiente,

la fricción, la lubricación y el desgaste se centrarían como la base a estudiar de esta ciencia. (Zhang & Yang, 2021)

La fricción se ve inmiscuida eventualmente con la ingeniería mecánica y la física; en donde lo que refiere al desgaste se entrelaza con la ciencia de materiales y física; y la lubricación vendría a tener relación con la química. Siendo todo así un conjunto con el entorno y material, dando el nombre de tribosistema (Tribology in Machine Design, 1983).

Para la comprensión de la tribología es necesario tener una base de saber con lo que respecta a física, química y tecnología de los materiales. Lo que respecta a un experto en tribología es llegar a disminuir la fricción y desgastes valiéndose de la lubricación de zonas de contacto preservando y reduciendo la energía, consiguiendo así movimientos fluidos, concisos, facilitando las producciones industriales y evitando los detenimientos de labores por mantenimientos correctivos.

“La tribología se define como la ciencia y tecnología de la interacción entre superficies en movimiento relativo e involucra el estudio de la fricción, el desgaste y lubricación”.(Zhang & Yang, 2021)

Precedentemente de la existencia de la tribología como una ciencia, se hacía referencia a términos como “lubricación”. Ya que no era estandarizado la reducción de fricción y del desgaste con un fin de acciones de mantenimiento básica y común. Con esta ciencia se realizan estudios de lo que es la fricción y sus efectos coligados, bien sea el desgaste, intentando prevenirlos mejorando en ambientes como prácticas de lubricación y diseños. Toma en cuenta, entre otros aspectos de la maquinaria industrial, los siguientes:

- El diseño

- Los materiales de las superficies en contacto
- El sistema de aplicación del lubricante
- El medio circundante
- Las condiciones de operación

La tribología está presente prácticamente en todas las piezas en movimiento tales

como:

- Rodamientos
- Chumaceras
- Sellos
- Anillos de pistones
- Embragues
- Frenos
- Engranajes

La tribología ayuda a resolver problemas en maquinaria, equipos y procesos

industriales tales como:

- Motores eléctricos y de combustión (componentes y funcionamiento)
- Compresores
- Extrusión

- Laminación o rolado
- Fundición
- Forja
- Procesos de corte (herramientas y fluidos)
- Elementos de almacenamiento magnético
- Prótesis articulares (cuerpo humano)

La tribología se centra en el estudio de tres fenómenos:

- La fricción entre dos cuerpos en movimiento
- El desgaste como efecto natural de este fenómeno
- La lubricación como un medio para reducir el desgaste.

Fricción. Se conceptúa como una resistencia que se da al movimiento bien sea por medio de rodamiento o un desplazamiento simple de un cuerpo que se encuentra en contacto con otro cuerpo. La resistencia presente varía conforme a las superficies que se encuentren en contacto, es decir, que la fricción depende en gran medida de la adhesión a superficies y la interacción mecánica que hacen estos cuerpos que se tocan.

La fricción puede expresarse como una fuerza que actúa resistiendo el movimiento en dirección opuesta a este. Existen dos formas de fricción: fricción estática y fricción dinámica.

Podemos encontrar tres leyes de la fricción:

- La fuerza de fricción es proporcional a la carga normal.
- La fuerza de fricción es independiente de la aparente área de contacto entre las superficies deslizantes.
- La fuerza de fricción es independiente a la velocidad de deslizamiento.

Desgaste. Este es el deterioro de un área por eliminación de material o debido a un movimiento relativo de dos superficies en contacto. Es una transformación de un sólido cuando sus capas superficiales se desgastan y desprenden de su lugar. Este no es solamente una propiedad del material, es una respuesta integral del sistema.

Se ha afirmado que:

Los análisis de los sistemas han demostrado que 75 % de las fallas mecánicas se deben al desgaste de las superficies en rozamiento. Se deduce fácilmente que para aumentar la vida útil de un equipo se debe disminuir el desgaste al mínimo posible.(Moinian & Ameli, 2020)

Desgaste por fatiga. Se da debido a la concentración de una tensión mayor que la puede llegar a resistir el material. Incluye las dislocaciones, formación de cavidades y grietas.

Desgaste abrasivo. Es el deterioro debido a fracciones sólidas presentes en la zona de contacto.

Desgaste por erosión. Se da gracias a una corriente de partículas sólidas abrasivas que se encuentra comúnmente en turbinas de gas, tubos de escape y de motores.

Desgaste por corrosión. Generado por la influencia del entorno, en gran medida lo que respecta a la humedad. Ocasionado por la acción del oxígeno.

Desgaste por frotación. Mezclándose otras cuatro formas de desgaste; aquí los elementos en movimiento tienen una oscilación de una amplitud menor de 100 μm . Muy comunes en ensambles.

Desgaste por deslizamiento. También nombrado como desgaste por adhesión, es el suceso en donde parte de material se ve transferido a otro de forma superficial como resultado de soldadura en frío.

Desgaste Fretting. Se produce debido a las vibraciones inducidas por un fluido a su paso por una conducción.

Desgaste de impacto. Distorsiones de un cuerpo a causa de golpes y que producen una erosión en este.

Lubricación. La lubricación se basa en la adherencia de un manta en el medio de dos superficies, este material intermedio permite la reducción de la fricción y del desgaste. El término lubricante es muy general, y su presentación se puede dar en diversos estados de la materia: líquido, sólido, gaseoso e incluso semisólido o pastoso.

La tribología tiene una aplicación principal con los componentes rodantes o deslizantes de un equipo, como los rodamientos, cojinetes planos, engranajes, levas, frenos y sellos (Kimera & Nangolo, 2020).

La Tribología se encarga de aminorar las deformaciones causadas por el desgaste, ocupándose de igual forma de la disminución o aumento de la fricción según se necesite.

Partiendo de esto, uno de los campos de la tribología permite un avance conforme a materiales avanzados, de modificación de superficies los cuales restan el consumo de energía en la industria contribuyendo a la reducción de emisiones de gases en el medio ambiente.

La definición formal de tribología es: "la ciencia y tecnología de las superficies interactuando en movimiento relativo y de los temas y prácticas relacionadas".

2.3.2. Mantenimiento.

El desarrollo de mantenimientos es fundamental para toda industria, este exige un constante requerimiento de recursos económicos. El mantenimiento es vital para prever fallos en procesos productivos que al final podrían generar más gastos que lo que puede producir los gastos de mantenimiento, por ende, es común que se monitoree constantemente equipos con el fin de conservar o evitar desperfectos en las maquinarias (Zonta et al., 2020).

Mantenimiento de conservación. Trata sobre restituir el desgaste y se puede encontrar algunas ramificaciones de este como por ejemplo:

Correctivo. Consiste en arreglar un desperfecto y tenemos dos variaciones.

Inmediato. En este se hace el mantenimiento al momento de hallar un desperfecto.

Diferido. Se da en el momento que se pausan las actividades del equipo para el posterior mantenimiento de la misma.

Preventivo. Pretende adelantarse a los hechos en donde se realiza el mantenimiento con antelación para evitar una falla repentina. Podemos encontrar, en este mantenimiento existen algunas variaciones como:

- Programado. El mantenimiento es realizado de manera automática.
- Predictivo. Es periódico conforme se revisa el equipo.
- De oportunidad. Es el mantenimiento que se realiza valiéndose de que el equipo no está siendo empleado, así mismo, se evita costos por detener la maquinaria de producción.

Mantenimiento de actualización. Se basa en optimizar los equipos para que se adecuen a las nuevas tecnologías presentes en la industria. Para más claridad podría referirse a una instalación de algún software que mejore o potencie algún ordenador.

El mantenimiento se puede catalogar como una serie de actividades que permiten evitar el daño ya sea por uso o por factores externos a este. Los departamentos de mantenimiento, tratan de realizar una serie de objetivos: disponibilidad, fiabilidad, vida útil y coste.

2.3.3. Falla mecánica.

Las fallas son una condición no deseada que hace que el elemento estructural no desempeñe una función para la cual existe; es decir, es todo lo que detiene la operación de una máquina. Se busca que en cualquier anomalía se elimine completamente su causa. (Kimera & Nangolo, 2020)

Una falla es el corte de continuidad expresado de otra forma es una fractura. El movimiento causante de esta puede tener diversas direcciones: vertical, horizontal o una combinación de ambas.

Clasificación de las fallas

Fallas tempranas. Se dan al comienzo de la vida útil.

Fallas adultas. Son las fallas que presentan mayor frecuencia durante la vida útil.

Fallas tardías. Ocurren cuando no se realiza bien los mantenimientos.

Entre tanto los analistas de cables de transmisión mecánica, cuentan con los siguientes modos de falla:

- Fractura Subida.
- Fractura por fatiga.
- Desgaste adhesivo.
- Desgaste abrasivo.
- Corrosión generalizada y por picadura.
- Descarga eléctrica.
- Indentación (presión sobre el cable de un cuerpo extraño)
- Doblado.

2.3.4. Fractura por fatiga.

Es un fenómeno que conlleva a la rotura de una pieza mecánica. Se diagnostica con sencillas ya que es evidente al ojo. En cualquier momento esta rotura se puede producir con pequeños esfuerzos.(Zonta et al., 2020)

La falla se forma en la capa superficial del cuerpo. La fatiga de los materiales es una fase de deterioro donde este se ve sometido a cargas diversas, incluso aunque estas sean varias veces inferiores a las que producirían la rotura ante una carga constante.(Nyaaba et al., 2019)

Se puede ver que los materiales que se ven sujetos a cargas variables suelen fallar en donde las tensiones son menores a la resistencia a fluencia del material que se obtiene cuando se hace ensayo estático a tracción. Además, el fallo es muy común en situaciones sin deformación previa aparente. Conocidos como rotura por fatiga.

La forma de evitar fallos por fatiga es eludir las irregularidades estructurales, retirando cambios repentinos en el contorno que conduzcan a cantos vivos, llevará a una resistencia a la fatiga superior. Las dimensiones de la pieza también influyen, aumentando su tamaño obtenemos una reducción en el límite de fatiga.

La rotura por fatiga mecánica puede suceder si se dan las siguientes razones:

- Hay una percepción de anomalías o alguna discontinuidad de tipo interna.
- Anomalías que se originan en momento del propio procedimiento de mecanizado.

- La geometría de la pieza ya que puede verse relacionada con un aumento del tamaño de una grieta.
- La influencia del medio: fatiga térmica y fatiga por corrosión.

La existencia de pequeñas fisuras puede conducir paulatinamente a una fatiga prematura. Los extremos de esta fisura pueden llegar a generar tensiones amplificando el efecto de cargas de tipo cíclicas o variables. Las cargas cíclicas generan un estado tensional interior lo que haría aumentar a la grieta por sus extremos, ya que en esos puntos es donde se origina una mayor concentración de tensiones. A su vez, esa grieta aumentará progresivamente hasta que se produzca su rotura repentina.(Ai et al., 2020)

Aun con esto, no es obligatorio que se vea influenciado una tensión elevada para que se dé una rotura por fatiga, en ocasiones simplemente llegan a ser menores que el límite de fluencia del material.

2.4. Marco Legal

SAE JA1012 “Se especifican los modos y las causas de falla; se define el modo de falla como un evento único que causa una falla funcional (causa primaria de falla) y lo diferencia de la causa-raíz (causa fundamental)”.(Piechnicki et al., 2017)

ISO 14224 La Norma Internacional ISO 14224 es una guía para promover y asegurar la calidad de la recolección de datos para un determinado mantenimiento, y esta ordenación del conocimiento destaca las acciones que se deben tomar antes de que comience el proceso de recolección de datos. (Selvik & Bellamy, 2020)

ISO 55001 La ISO 55001 especifica los requisitos para un sistema de gestión de activos. La gestión de activos coordina actividades financieras, operacionales, de mantenimiento, de riesgos y otras actividades relacionadas con los activos de una organización para obtener el mayor rendimiento de los mismos. Se en la gestión de activos principalmente físicos.(Hey, 2017)

Capítulo 3. Metodología

3.1. Tipo de investigación

Este proyecto será enfocado en una investigación descriptiva-experimental, donde la primera fase será desarrollada a través de ensayos y pruebas de laboratorio para dar paso a la fase descriptiva, cuyo fin es describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular de falla. Dicha investigación es apta para determinar las causas que provocan la falla en las cuchillas de la maquina ECO Shear de la empresa DURAMOS SAS.

3.2. Etapas del proyecto

Este proyecto se desarrollará en las etapas que sigue el cumplimiento de los objetivos:

3.2.1. Etapa 1. Describir el funcionamiento de la maquina ECO SHEAR de la empresa DURAMOS SAS.

En primera instancia se pretende conocer el funcionamiento de la maquina ECO SHEAR, por medio de las siguientes actividades:

3.2.1.1. Actividad 1. Recopilar información proporcionada por el fabricante.

3.2.1.2. Actividad 2. Realizar un diagnóstico del funcionamiento de la máquina.

3.2.1.3. Actividad 3. Analizar la información recolectada.

3.2.2. Etapa 2. Realizar mantenimiento preventivo RCA (Análisis Causa Raíz) en la maquina ECO SHEAR, teniendo en cuenta las fallas recurrentes generadas por esfuerzos en los tornillos de la cuchilla frontal al realizar el proceso de corte de llantas con la mordaza.

Se realizará un análisis causa raíz (RCA), para determinar la causa que produce la falla en las cuchillas de corte de la mordaza, según las siguientes actividades:

3.2.2.1. Actividad 1. Realizar un análisis causa raíz en las cuchillas de la mordaza de la maquina ECO SHEAR.

3.2.2.2. Actividad 2. Realizar un análisis de esfuerzo en las cuchillas de la mordaza de la ECO SHEAR con el apoyo del software SolidWorks en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

3.2.2.3. Actividad 3. Realizar la prueba de inspección visual, Dureza, metalografía y la Microscopia Electrónica de Barrido a los tornillos que sostienen las cuchillas en los Laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

3.2.2.4. Actividad 4. Proponer una alternativa solución.

3.2.3. Etapa 3. Diseñar una alternativa mecánica que ayude a contrarrestar los esfuerzos que se generan en los tornillos de la cuchilla, con el planteamiento de un sistema de reemplazo rápido de alojamientos de tornillos, que sea desmontable y no requiera de procesos adicionales como soldadura o servicio de mecanizado en torno portátil.

De acuerdo a la información obtenida se propondrá el diseño de una alternativa mecánica que cumpla con las condiciones de trabajo establecidas basado en el precio, posibilidad de adquisición y fabricación, entre otros.

3.2.3.1. Actividad 1. Determinar el diseño de la alternativa mecánica solución a proponer con base a la información obtenida anteriormente.

3.2.3.2. Actividad 2. Estudiar el mercado local y nacional con el fin de determinar los costos de la alternativa solución.

3.2.3. Etapa 4. Realizar prueba de campo en la máquina y evaluar su desempeño, para observar el comportamiento del dispositivo frente a la problemática existente.

De acuerdo a la propuesta solución, construir y colocarla a prueba en la maquina ECO SHEAR la alternativa mecánica diseñada y evaluar su comportamiento por un lapso de un mes, para evaluar el resultado y mejoramiento de la falla en la máquina.

3.2.3.1. Actividad 1. Construir la alternativa mecánica y realizar la instalación en la mordaza de la maquina ECO SHEAR.

3.2.3.2. Actividad 2. Evaluar el resultado de trabajo en un lapso de 15 días y determinar la mitigación de la falla abordada inicialmente con una evaluación de desempeño.

3.3. Cronograma

Capítulo 4. Funcionamiento de la maquina ECO SHEAR

4.1 Manual de operación de la maquina ECO SHEAR

4.1.1 Descripción general del Equipo

La ECO Shear (Ver figura 4) es un equipo electrohidráulico diseñado para cortar las llantas OTR en trozos más pequeños, capaz de mover la llanta permitiendo que el operador pueda orientar de la mejor manera el corte haciéndolo más eficiente, el operador está ubicado a un costado del brazo que contiene la cizalla, lo que permite que tenga una gran visibilidad sobre el área de trabajo, el brazo se controla con dos joysticks (ver figura 5; a),b)) ubicados en ambos lados del asiento que controlan los movimientos de la máquina y el corte de manera hidráulica, las cuchillas de corte son removibles de múltiples filos de corte que permite el mejor aprovechamiento antes de su reemplazo.

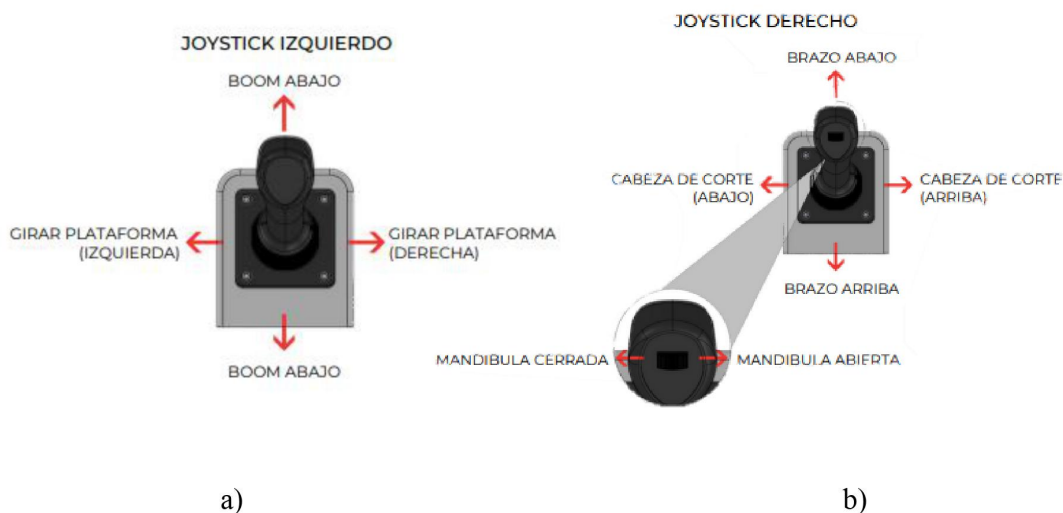
Figura 4

Maquina ECO Shear de la empresa Ecogreen equipment LLC.



Figura 5

Joystick de control; a) Mando izquierdo; b) Mando derecho.



La ECO SHEAR tiene un consumo de energía estimado en 56 KWH (75HP), con el requerimiento de voltaje que oscila entre los 380 y 460 Voltios, con un peso total de un aproximado de 10325 kg; tiene un sistema hidráulico (Ver Figura 6) con una bomba de 94 KW (125HP) que posee un tanque de almacenamiento de aceite de 570 L (150 gal) de aceite hidráulico y un enfriador de aceite de 4 KW (5HP).

Las llantas OTR que corta la ECO SHEAR tienen un diámetro que oscila entre los 635 mm y los 1600 mm, para ser cortada primero debe ser retirada la vena que tiene en el centro la llanta.

El sistema hidráulico utiliza aceite ISO 46 y es controlado por un PLC autónomo, para su funcionamiento se utilizan varios cilindros hidráulicos que permiten maniobrar el brazo y operar la cizalla (ver figura 7) que consta de 2 mordazas que se mueven al tiempo por la acción de un cilindro que posee una presión de trabajo hacia abajo para corte de

aproximadamente 4000 Psi de presión y 2000 Psi cuando se retroceso que permite la apertura de las muelas donde están las cuchillas de corte.

Figura 6

Sistema hidráulico de la ECO Shear

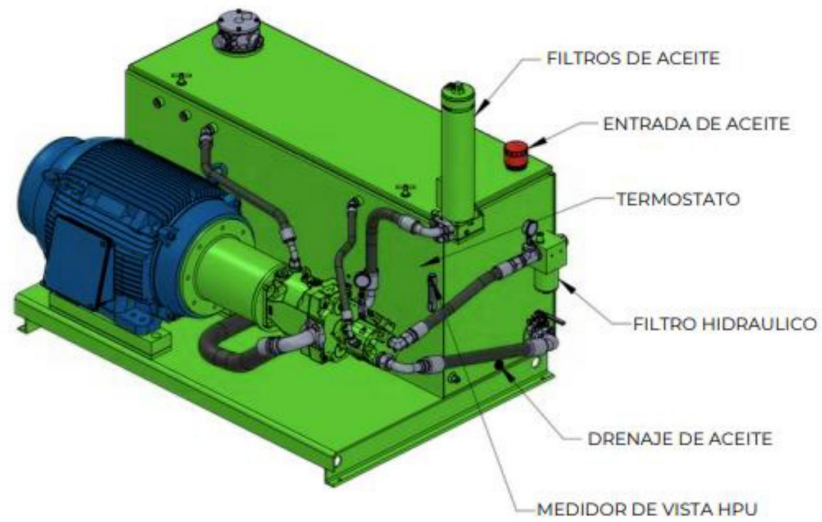
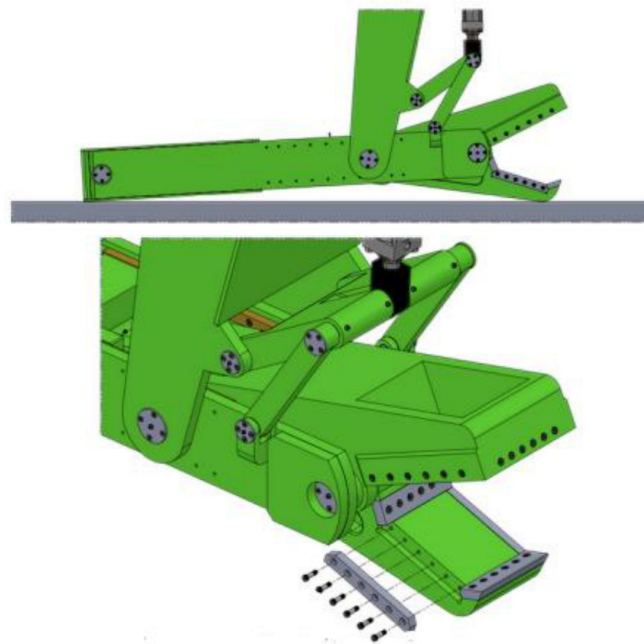


Figura 7

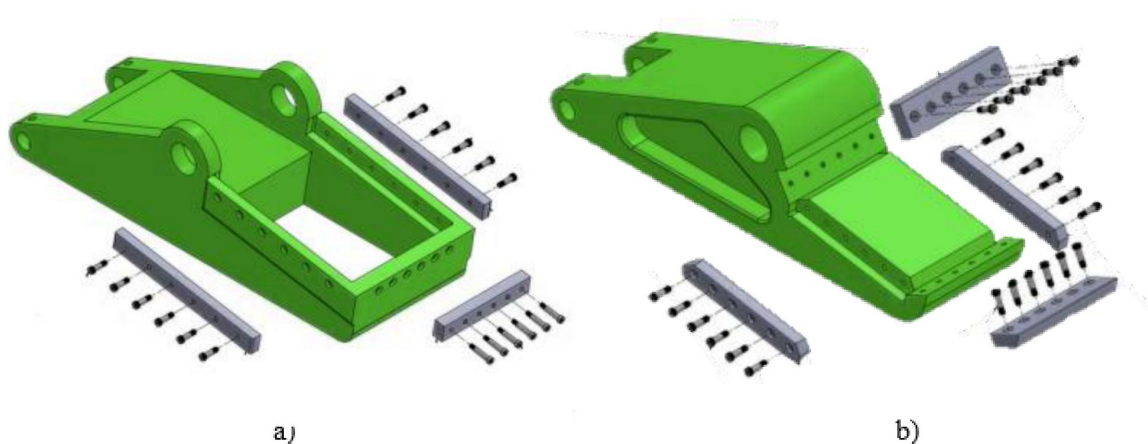
Brazo y cizallada de corte de la ECO Shear



La encargada de realizar el corte en efecto cizalla son las dos mandíbulas (ver figura 8; a), b)) que poseen las cuchillas desmontables permitiendo el cambio una vez cumplan su ciclo de vida.

Figura 8

Mordazas con cuchillas, a) Mordaza Inferior, b) Mordaza Superior



4.1.2 Diagnostico de funcionamiento de la máquina.

La ECO SHEAR es una máquina que no detiene su operación, trabajando 24 horas diarias los 7 días de la semana, en un clima seco con temperaturas que oscilan entre los 30 y 35 °C aproximadamente, en repetidas ocasiones se ve afectada la operación de la misma debido a fallas por ruptura total de los tornillos que sujetan las cuchillas frontales de una de las mordazas (figura 8, b), lo que hace que no se cumpla con la meta diaria de producción generando retrasos masivos en la planta de procesamiento de llantas OTR Duramos SAS.

La reparación de la falla puede tardar entre 2 y 4 horas, requiriendo un total de 2 operarios para realizarla, así como equipo de soldadura y demás equipos para lograr solucionar de manera temporal la falla.

Para maniobrar el equipo solo basta con manipular dos joysticks que están a los lados de asiento del operario permitiendo de esta manera el control total de la máquina, los operarios tienen que contar con la destreza y el conocimiento de operación de equipos de maquinaria pesada.

Las dimensiones de la maquina son aproximadamente 2.30 metros de ancho y de 5.7 metros de altura máxima (Ver figura 9, 10) que requiere mucho cuidado y de buena habilidad del operario para tener cortes eficientes y lograr avanzar en el trabajo diario logrando cumplir a cabalidad con la meta propuesta para su turno de trabajo y siendo eficaz en su trabajo.

Figura 9

ECO Shear vista frontal con dimensiones.

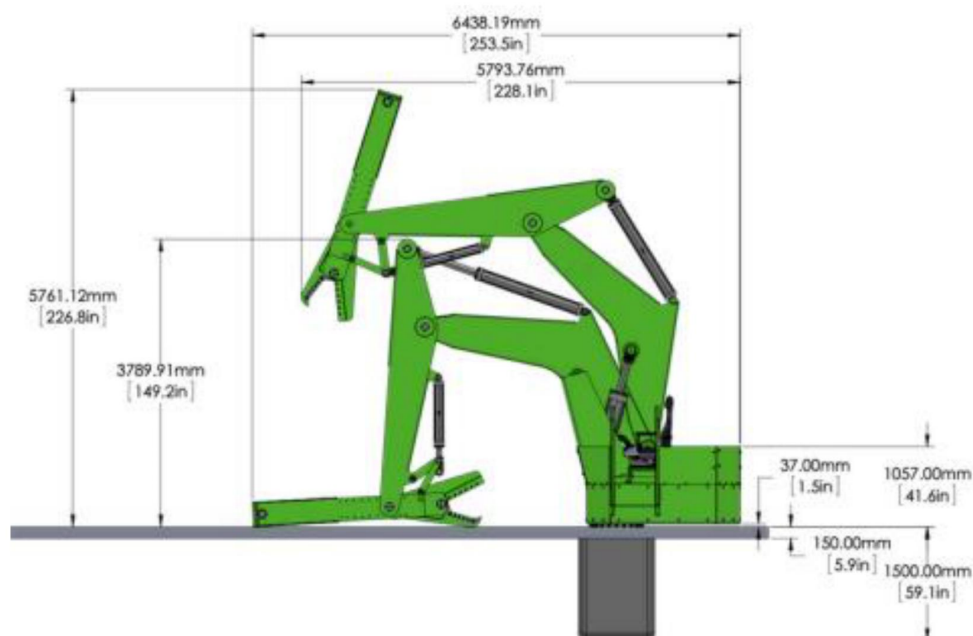
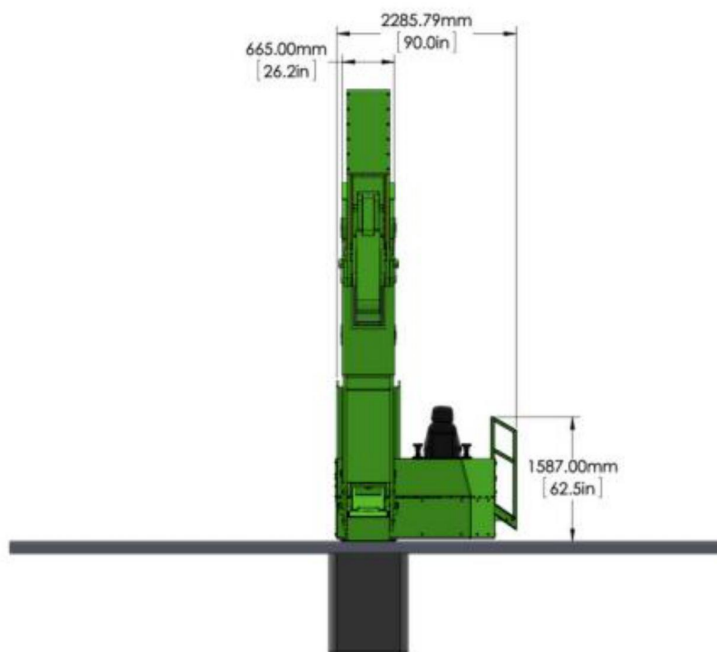


Figura 10

ECO SHEAR vista posterior con dimensiones.



Actualmente el equipo se encuentra trabajando 20 horas de seguido hasta que se parten los tornillos y entra en parada la máquina para la corrección de la falla, esto se evidencia en sucesos con periodicidades similares

4.1.3 Análisis de la información recolectada

Luego de tener claridad del funcionamiento de la maquina ECO SHEAR, y teniendo en cuenta las paradas frecuentes que se están presentando en el equipo, que ocasionan la detención de la cadena productiva y retrasos que no permiten el cumplimiento de las metas propuestas por la empresa, se ve la necesidad de poder solicitar un análisis causa raíz que permita evidenciar lo que está produciendo la falla y mitigar el impacto de la misma, de tal manera que se logre dar solución a la falla presentada con frecuencia.

Capítulo 5. Mantenimiento preventivo RCA (Análisis Causa Raíz) en la maquina ECO Shear.

5.1 Análisis Causa Raíz en la ECO Shear

Partiendo de que se viene presentando frecuente y reiterativamente una falla en las cuchillas de corte de la una mordaza que componen el sistema de cizalla se ve la urgencia de entrar a buscar el problema que está originando la falla.

La máquina entra a mantenimiento correctivo cada 20 horas y dura un promedio de 2 a 4 horas en su reparación, el sistema de sujeción de cuchilla del equipo no está soportando los esfuerzos que se presentan entre la mordaza y la cuchilla de corte; luego de detallar los informes de mantenimiento se reporta una baja productividad y la presencia de la falla de manera frecuente, afectando de manera directa la producción diaria necesaria para que la empresa funcione y sea sostenible en el tiempo.

Se empieza una búsqueda minuciosa que permita determinar el origen de la falla de lo cual un posible error de diseño es una de las hipótesis de mayor peso, para lo cual se ve la necesidad de poder realizar una serie de ensayos tanto de laboratorio como de apoyo a través de un software CAD (Diseño Asistido por Computador) que permita evidenciar cualquier falla que provenga del diseño de la máquina.

La falla presentada es la ruptura de los tornillos (Ver figura 11) que sujetan la cuchilla con la mordaza, lo que provoca una parada total de la máquina para intervenirla de manera inmediata con la finalidad de corregir la falla, estos procesos se han vuelto cíclicos lo que derivan en que cada 20 horas de trabajo tenga que haber una intervención inmediata.

Figura 11

Tornillo de sujeción de las cuchillas fracturado.



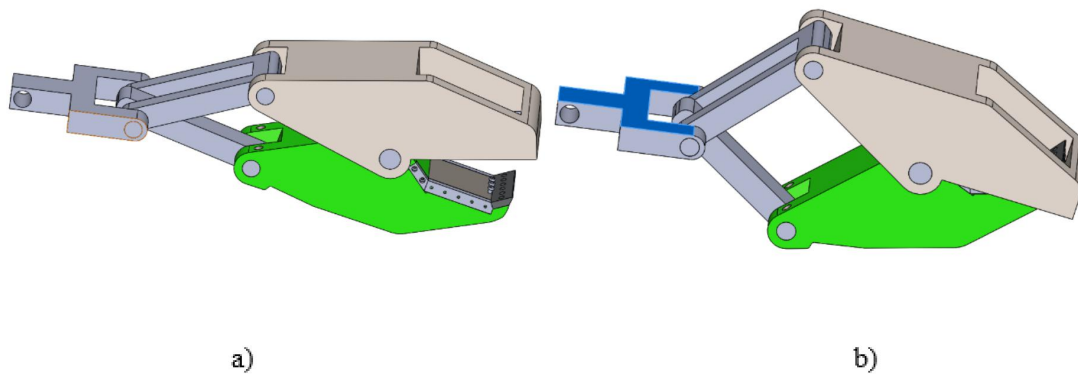
Se procede a realizar utilizar el software de SolidWorks para poder hacer un estudio de esfuerzos en las mordazas y cuchillas del sistema de corte.

5.2 Análisis de esfuerzos en la cuchilla de máquina ECO SHEAR

Primeramente, se diseñó en el programa CAD SolidWorks de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña el sistema cizalla (Ver figura 12; a b)) para entrar hacer un análisis detallado en la pieza donde se evidencia la falla, este diseño está a escala real para simular lo que realmente puede estar sucediendo en la realidad, el sistema funciona con la acción de un cilindro hidráulico de alta presión, por alrededor de los 4000 Psi cuando se está cortando, este cilindro tiene un movimiento lineal deslizándose por unos rieles fijos que permite un movimiento unidireccional, las articulaciones se fijaron mediante bujes que permiten la transmisión del esfuerzo para cumplir con el objetivo que es cortar, la carga se distribuye de igual manera en ambas mordazas siendo los acoples en medidas simétricos para que ocurra esta distribución uniforme de la presión de trabajo.

Figura 12

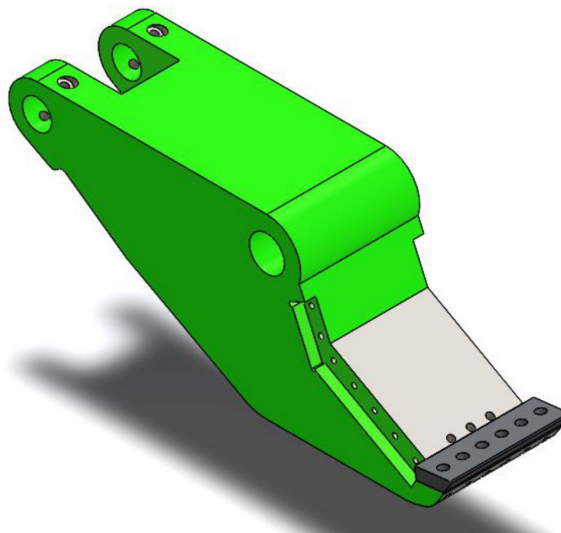
Sistema completo de la cizalla articulado, a) Mordazas abiertas, b) Mordazas cerradas.



Se seleccionó la pieza donde se está presentando la falla (Ver figura 13)

Figura 13

Pieza superior de la mordaza de cizalla.



A esta pieza se le realizaron ensayo de esfuerzo utilizando una presión en el vértice superior de 2000 Psi, teniendo en cuenta la presión entregada por el cilindro hidráulico, para observar la concentración de esfuerzos, en donde se obtuvo los siguientes resultados (ver figura 14, 15, y 16; a, b))

Figura 14

Esfuerzos de tensión en la mordaza superior de la ECO Shear

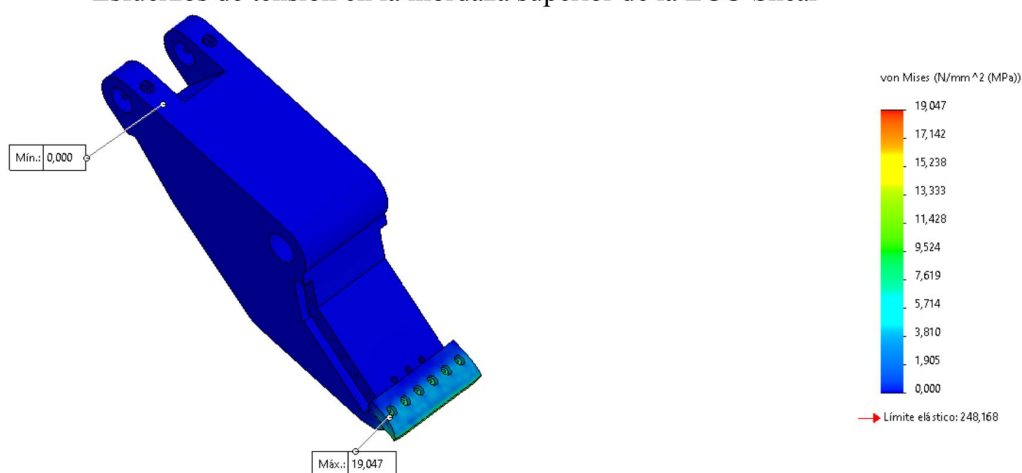


Figura 15

Esfuerzos de tensión en la mordaza superior de la ECO Shear.

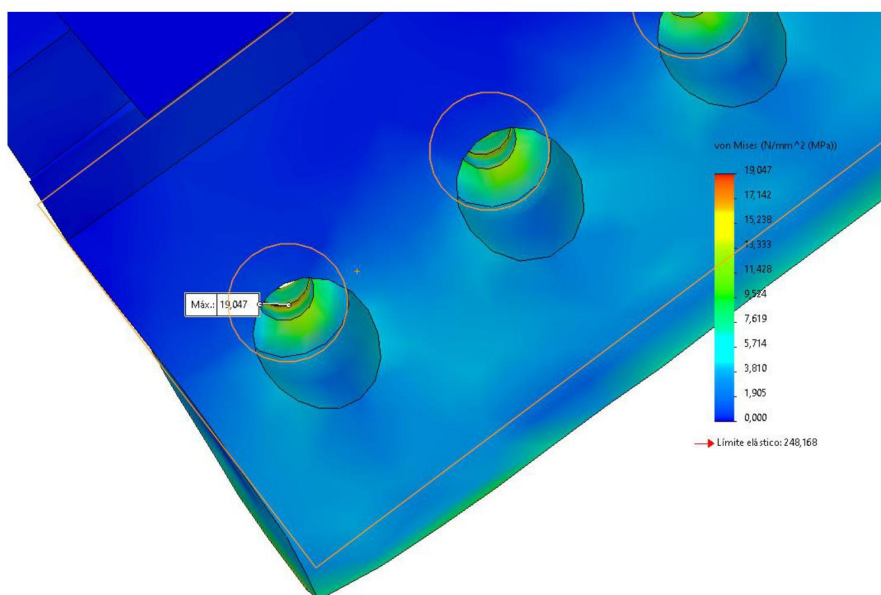


Figura 16

Deformación en la mordaza superior de la ECO Shear.



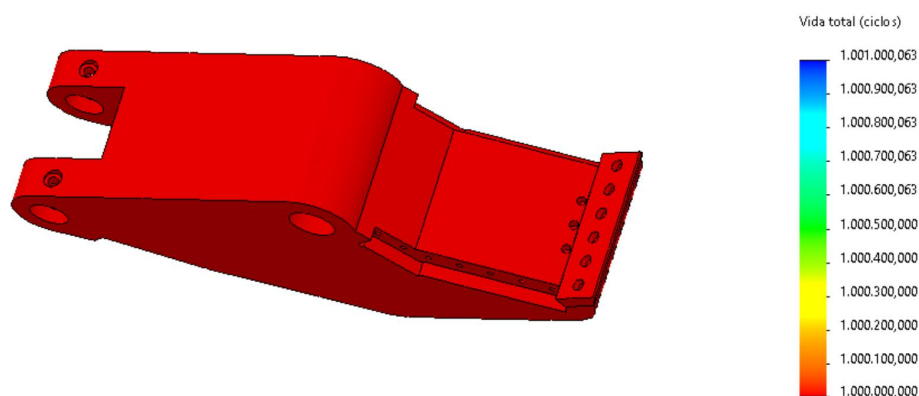
Se logra evidenciar una concentración de esfuerzos en la unión entre la cuchilla y la mordaza (Ver figura 16; a), b)) siendo el máximo en el estudio estático de deformaciones utilizando el método de Von Mises, lo que permite que haya en el transcurso del trabajo una deformación plástica del sistema de sujeción que en este caso son los tornillos utilizados para llevar unir estas dos piezas.

En figura 17 se realizó un estudio para determinar el factor de seguridad de la mordaza donde se evidencia un valor minio en la cuchilla y mayor en la mordaza, que representan que el diseño estructural para mordaza y cuchillas es funcional y seguro.

Partiendo del porcentaje de daño ocurrido en la pieza que es casi nulo, se calcula el ciclo de vida total en la figura 19, teniendo en cuenta que ninguna de estas dos piezas ha entrado en falla sino el sistema de sujeción de las mismas.

Figura 19

Vida total en la mordaza superior de la ECO Shear.



Se puede afirmar que se está presentando una concentración de esfuerzo que se está generando un sobre esfuerzo en los tornillos de sujeción de la cuchilla, lo que provoca que ocurra una deformación plástica superando los límites elásticos del material que luego de procesos repetitivos hacen que ocurra una fractura y producto de esto una falla en el sistema de sujeción de las cuchillas.

Se recurren a otros ensayos de laboratorio que permitirán describir y soportar lo ocurrido en esta falla, todo con el fin de determinar la condición que desencadene esta situación reiterativa en la línea de producción.

5.3 Ensayos de laboratorio

5.3.1 Inspección visual

Se hizo una inspección visual a la falla presentada en la mordaza del equipo, donde se tomaron como muestra los tornillos que tenía la cuchilla, en la figura 20 se observan las deformaciones plásticas severas que están ocurriendo en los tornillos de sujeción, se parte de la idea de saber qué tipo de material están fabricado los tornillos, se presume que es un acero estructural con tratamiento térmico, se conoce que los tornillos son M12*1.75*45 grado 8.8 los cuales tiene una resistencia de 800 N/mm^2 y un límite de rotura de 640 N/mm^2 .

Figura 20

Deformación plástica de los tornillos de sujeción de la cuchilla



La figura 21 muestra una fractura que resulto de una sobrecarga reiterativa que produjo un desplazamiento en el material, ocasionando una falla por fatiga en el tornillo.

Figura 21

Tornillo Fracturado



En la Figura 22 se puede observar una deformación evidente del tornillo haciendo que su diámetro inicial disminuya siendo propenso a una falla por fatiga.

Figura 22

Tornillo deformado



En la figura 23 se puede observar un desgaste en la parte inferior del tornillo que es producto del deslizamiento de las cuchillas lo que resulta en una falla a futuro

Figura 23

Tornillo con deformación en el comienzo de la rosca



Cuando los tornillos se deforman o se parten dentro del agujero de la mordaza del equipo, hay que recurrir a técnicas como la soldadura que permita sacar la fracción del tornillo o su totalidad, la forma en como se hace se puede observar en la figura 24

Figura 24

Método de extracción de tornillos mediante la aplicación de soldadura.



5.3.2 Ensayo de Dureza

El ensayo de dureza se realizó en el laboratorio metales y aleaciones de la universidad francisco de paula Santander Ocaña, con un durómetro Mitutoyo, serie HR-300 (ver figura 25), donde se calcula la dureza en la escala rockwell, para la dureza HRC se utiliza una precarga de 150 y un indentador cónico de diamante y para las HRB una precarga de 100 y un indentador de bola de carburo de silicio.

Las medidas se tomaron en 5 puntos distintos, para determinar un promedio de las durezas (figuras 26, 27, 28).

Figura 25

Ensayo de dureza en Durómetro Mitutoyo



Figura 26

Tornillo patrón sin uso

**Tabla 2***Tornillo sin uso*

Puntos	Dureza (HRC) superior	Dureza (HRC) Inferior
1	39.2	40.3
2	40.4	41
3	40.1	40.7
4	40.5	40.7
5	39.7	41.3
Promedio	39.98	40.8

Figura 27

Tornillos deformados plásticamente.

**Tabla 3**

Tornillo deformado.

Puntos	Dureza (HRC) superior	Dureza (HRB) Inferior
1	25,2	95,4
2	24,2	96,3
3	25	93,2
4	24,8	95,9
5	25,1	93,4
Promedio	24,86	94,84

Figura 28

Tornillo Fracturado.

**Tabla 4***Tornillo fracturado.*

Puntos	Dureza (HRC) superior
1	23,9
2	24
3	24,1
4	21
5	23,3
Promedio	23,26

De acuerdo al ensayo realizado de dureza se puede decir que a medida que se va deformando el tornillo va teniendo una variación considerable en la dureza, eso indica que cuando se produce la deformación en el tornillo se va disminuyendo el diámetro lo que va

haciendo que la temperatura aumente y disminuya las propiedades mecánicas de dureza del tornillo,

5.3.3 Ensayo de metalografía y análisis en microscopio electrónico de barrido (SEM).

el ensayo de metalografía se realizó en la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y en apoyo con la Universidad Pontificia Bolivariana, la preparación de la muestra consistió en realiza el corte y el montaje metalográfico en resina fenólica, realización del pulido hasta dejar un acabado espejo (ver figura 29, 30, 31, 32).

Figura 29

Muestra en cortadora metalográfica de precisión con disco de polvo de Diamante.



Figura 30

Montaje en resina fenólica del tornillo sin uso.

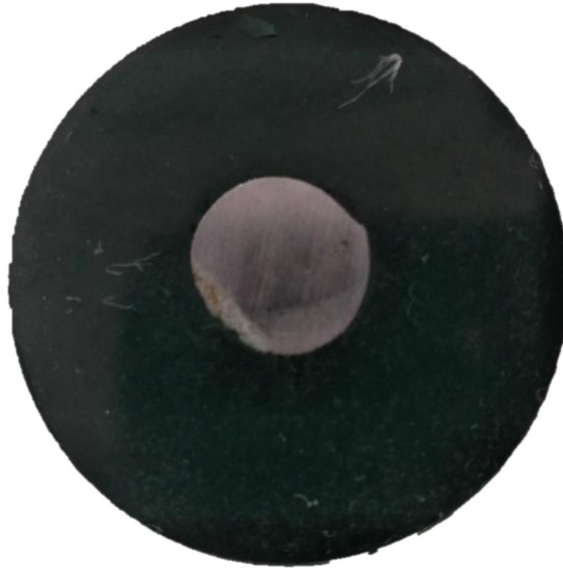
**Figura 31**

Montaje en resina fenólica del tornillo deformado plásticamente



Figura 32

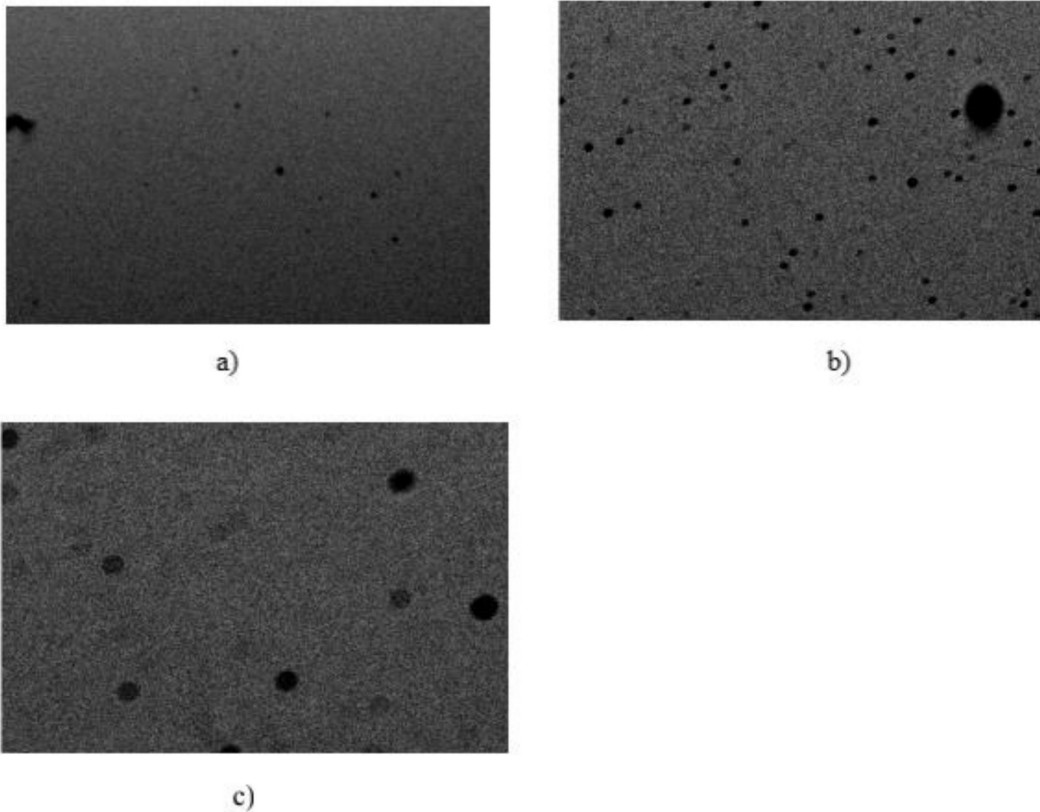
Montaje en resina fenólica de tornillo fracturado



Luego de preparar la muestra se enviaron a la ciudad de Medellín, con el apoyo de la doctora Lina Marcela Hoyos Palacio, se pudieron obtener las micrografías SEM realizadas en el microscopio electrónico de barrido JEOL (ver figura 33), todo esto se realizó en la universidad pontificia bolivariana (UPB) y poder determinar si el acero es de alto o bajo carbono.

Figura 33

Micrografías en Microscopio Electrónico de Barrido (SEM): a) micrográfica a 100 X, b) micrografía a 500 X y c) micrografía a 1000 X.



Observando las micrografías SEM se puede afirmar que el material del tornillo es de acero de bajo carbono, con precipitaciones circulares de carbono sobre una matriz de hierro, pero teniendo en cuenta el valor de la dureza registrada que este alrededor de los 40 HRC, se afirma que se le realizó un proceso térmico de templado que permite elevar las propiedades mecánicas del tornillo.

5.4 alternativa de solución

Evaluando y analizando cada uno de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio se puede pensar en hacer una pieza que ayude a mitigar la concentración de esfuerzos en los tornillos, interviniendo en el diseño y realizando la adición de un complemento que permita la mitigación total del problema inicial y de esta manera mejorar las condiciones productivas de la empresa.

Capítulo 6: Alternativa Mecánica.

6.1 Diseño alternativa mecánica

Partiendo del hecho que hay una concentración de esfuerzo entre la cuchilla y la mordaza que tiende a generar un esfuerzo flector en la cuchilla, que trata de deformar los tornillos hasta que los fatiga y se genera la fractura, se plantea la idea de contrarrestar estos esfuerzos con la adición de un pisador metálico como alternativa mecánica que ayude a contrarrestar el momento flector que se produce que cuando la cuchilla realiza el corte, esta tienda a levantarse en la parte posterior, en base a esto se plantea el siguiente diseño que debe ser verificado y corroborado con análisis de esfuerzo en el software SolidWorks.

En la figura 34, se detalla las especificaciones y dimensiones del pisador metálico, y en la figura 35 se observa como que queda instalado en el SolidWorks el pisador metálico.

Figura 34

Dibujo de la pieza alternativa mecánica (Pisador)

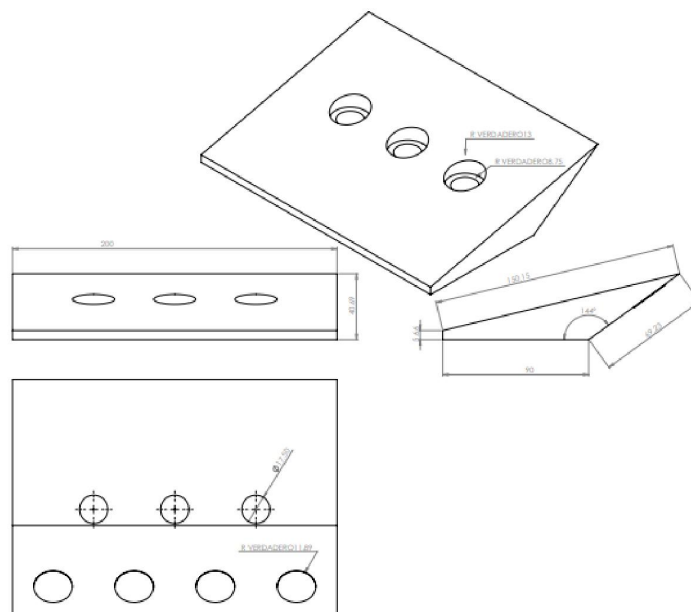
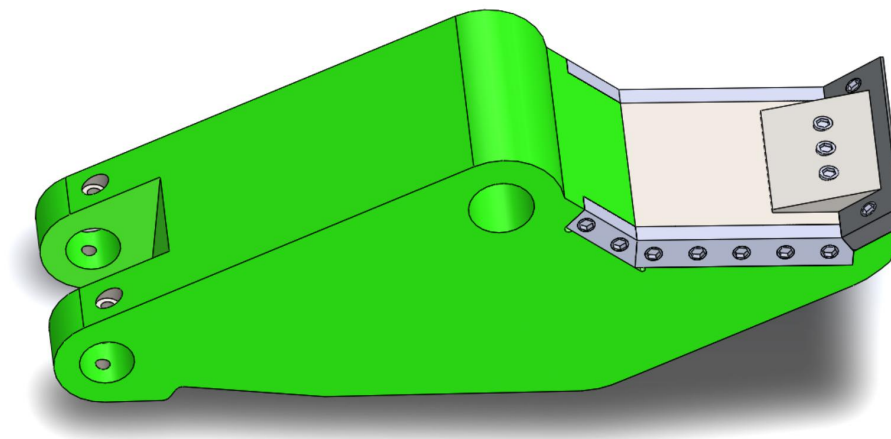


Figura 35

Montaje en SolidWorks del pisador metálico sobre la mordaza superior de la ECO Shear.



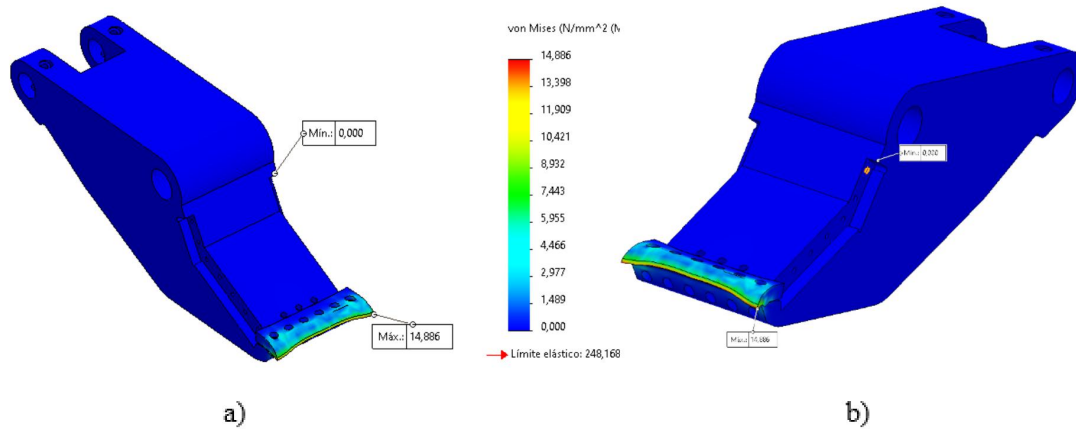
Se le repiten los análisis de esfuerzo para verificar que la solución planteada cumple los requerimientos logrando de esta manera una mejora sustancial en el proceso productivo.

En la figura 36 se observa el estudio de esfuerzo realizado en SolidWorks, en donde se puede apreciar que hay una disminución de la concentración de esfuerzos entre la cuchilla y la mordaza, todo esto al efecto de contrarrestar las fuerzas con la implementación de un pisador metálico como alternativa mecánica, la concentración máxima de esfuerzo se dirige a la área del filo de la cuchilla, que con los estudios dinámicos siguientes se demuestra que no sufren daños aparentes que sea alarma o que coloque en riesgo el eficiente trabajo que realizan las cuchillas de corte.

Se puede asegurar que existe un porcentaje de mejora que oscila entre 45 - 53%, lo que evidencia que el pisador es funcional y cumple con la propuesta inicial que es evitar la sobre carga en los tornillos y de esta manera que se fracturen y entre a fallo el equipo.

Figura 36

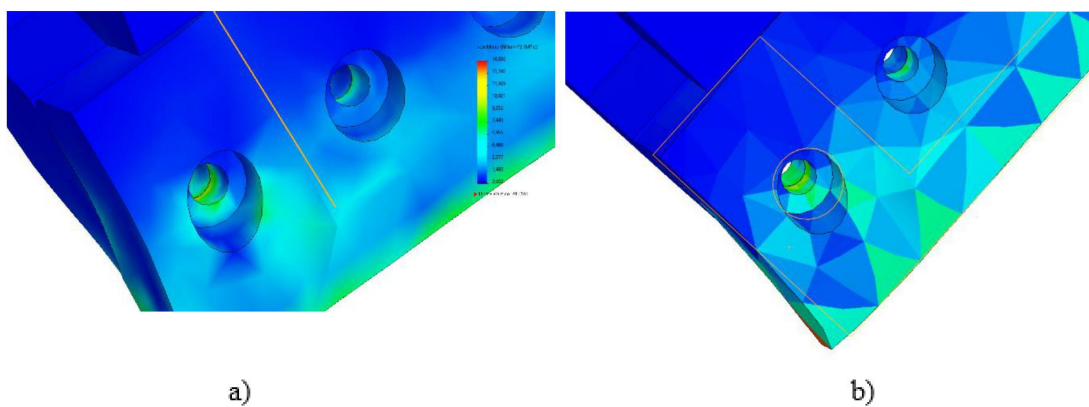
Esfuerzos de tensión en la mordaza superior con pisador de la ECO Shear



Se puede observar en la figura 37, como hay un cambio en la escala de colores de rojo a verde claro lo que evidencia una sustancial disminución de los esfuerzos en ese punto que es donde va ubicados los tornillos de sujeción, cabe resaltar que en el estudio inicial era el punto más crítico y se convirtió en uno de nivel medio.

Figura 37

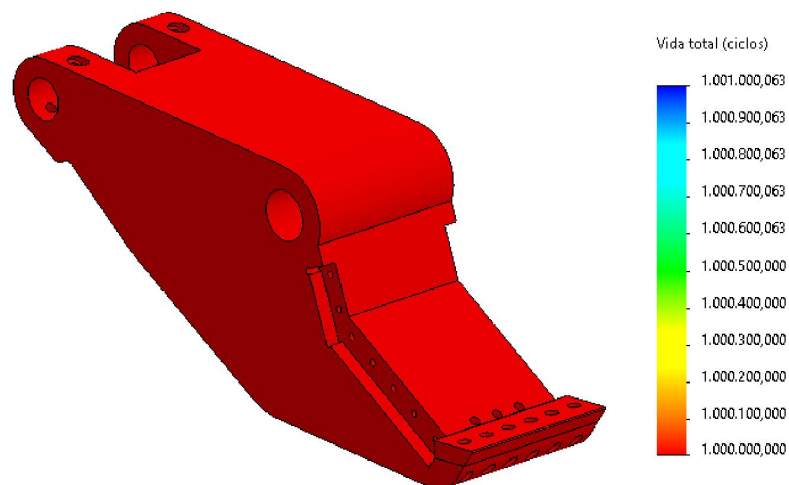
Deformación en la mordaza superior con pisador de la ECO Shear.



En la figura 40 se mantiene la vida total de las piezas que componen el sistema de cizalla, dando como resulta una mejora sustancial en las condiciones de trabajo de los tornillos y mitigando el impacto producto del esfuerzo concentrado entre cuchilla y mordaza.

Figura 40

Vida total en la mordaza superior con pisador metálico de la ECO Shear



6.2 Estudio de mercado para evaluar costo de fabricación del pisador metálico.

Teniendo en cuenta las condiciones en las cuales va a operar el pisador metálico se fabrica del mismo material de las cuchillas con el fin de que sea un material capaz de resistir y contrarrestar los esfuerzos que se derivan del proceso de corte de la llanta OTR, en la tabla 5 se detalla un balance presupuestal del costo de fabricación total de la pieza, dando como resultado un total de \$1.711.238 pesos colombianos, que si se compara con las perdidas por cambio de tornillo representa una mejora sustancial, viéndose reflejado en una alza en la productividad para la empresa.

El material seleccionado es de fácil adquisición y cumple normativas estándares que permite su fácil maquinado y proceso térmico posterior.

Tabla 5

Costo de fabricación del pisador.

ITEM	PRECIO
Material Acero K353	\$ 781.438
Maquinado y Fabricación	\$ 665.300
Tratamiento Térmico	\$ 264.500
Total	\$ 1.711.238

Capítulo 7: Pruebas de campo en la máquina y evaluación de desempeño.

7.1 Construcción e instalación de la alternativa mecánica

Se construyó un pisador metálico con las medidas propuesta en la alternativa mecánica, se pasó de lo simulado a lo real para comparar su utilidad y funcionamiento, comprobar de manera experimental lo que el software a través de la simulación relaciono dando buenas esperanzas de lo que podría ser una solución eficiente y factible que permite mitigar el impacto por falla constante y mejoramiento de la productividad en la empresa.

En la figura 41 se puede observar cómo quedo el pisador metálico instalado en maquina ECO Shear.

Figura 41

Montaje in-situ en la maquina ECO Shear de la empresa Duramos SAS.

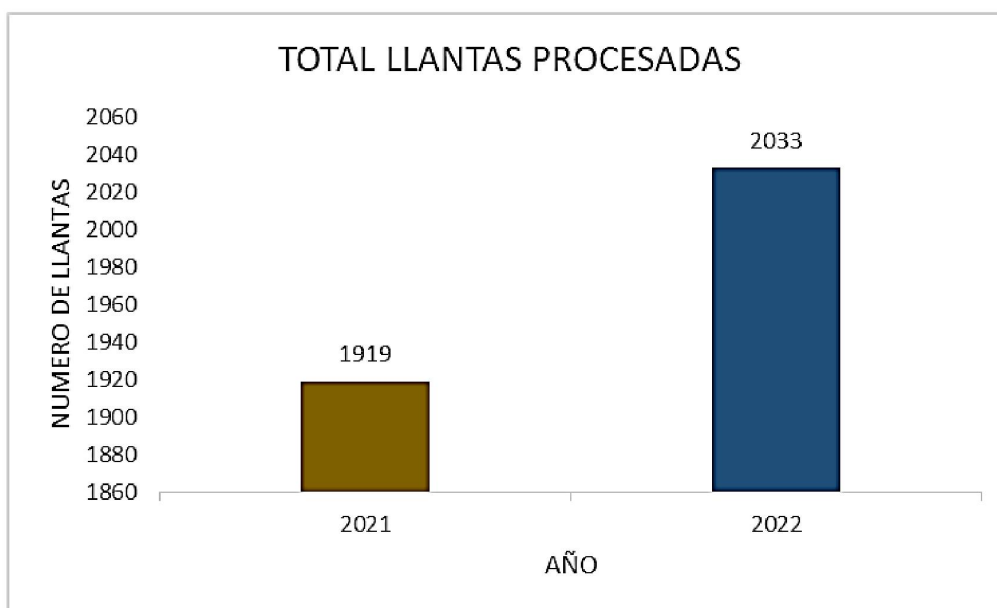


7.2 evaluación del desempeño de trabajo.

Se realizó un estudio para evaluar el desempeño del antes y después del pisador, donde se hace un comparativo por total de llantas procesadas (Ver figura 42) en los años 2021 y lo corrido del año 2022, donde se evidencia que gracias a la alternativa mecánica ha aumentado la productividad de la empresa, pasando de haber procesado en el año 2021 un total de 1919 llantas a 2033 llantas en total en lo que ha corrido del año hasta el mes de agosto.

Figura 42

Representación gráfica del total llantas procesadas años 2021 y 2022.

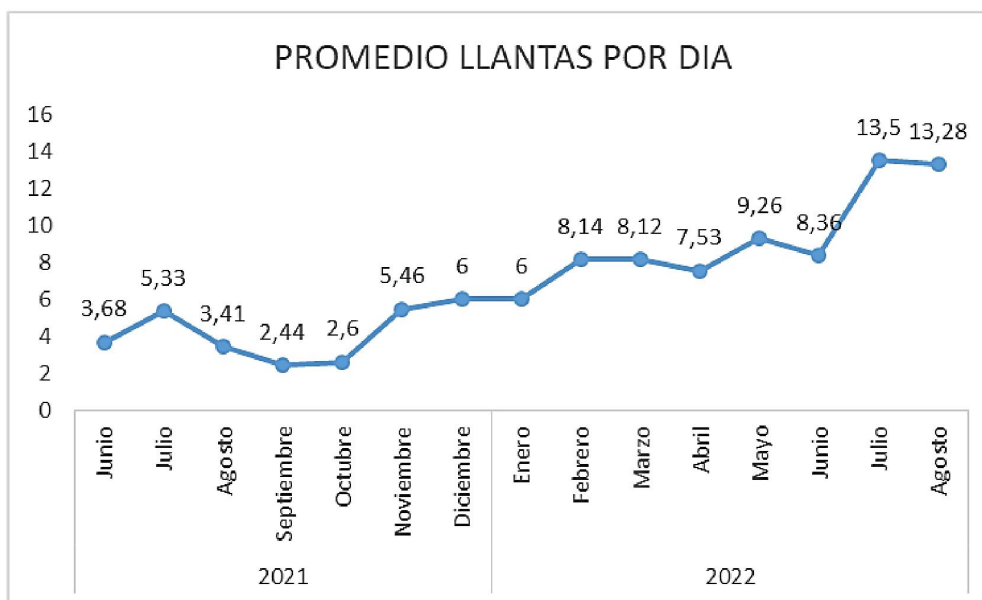


También se hizo un análisis por promedio de llantas cortadas por día, mes a mes (figura 43), en donde se evidencia que en el mes de febrero del año 2022 hay un aumento significativo del promedio diario, sabiendo que en este mes se puso a prueba la alternativa mecánica y ha dado resultados muy buenos a niveles productivos, teniendo en cuenta que

antes de utilizar el pisado se gastaban 167 tornillos mensuales para poder tener la maquina en operación, condición que cambio a 6 tornillos por mes y solo por prevención y evitar paradas repentinas en la ECO Shear.

Figura 43

Representación gráfica del promedio de llantas por día en la empresa Duramos SAS.



Analizando financieramente el aprovechamiento de los recursos y comparando con el precio de fabricación del pisador se tiene lo siguiente, una llanta OTR se le pueden aprovechar 2,5 Toneladas de material reutilizable, en sus inicios solo se obtenían 10 Toneladas de material reutilizable por día, pasando con el pisador a obtener diariamente un promedio de 32,5 toneladas de material reutilizable por día.

Sin el pisador se estaban utilizando mensualmente 167 tornillos por mes, el precio comercial de cada tornillo es de \$3.748,5 pesos colombianos, para un total mensual de

\$625.999,5 pesos colombianos que al año representan \$7.511.994, si se hace un comparativo con respecto al pisador, se tiene que la fabricación tiene un costo de \$1.711.238, se utilizan 6 tornillos mensuales lo cual representan un total de \$22.491 que al año son \$269.892 sumando un total anual de 1.981.130. En comparación cuando no se tenía el pisador, da como resultado una diferencia de \$5.530.864 a favor de la empresa y sumando a esto una ganancia diaria de 22.5 toneladas de material reutilizable de más.

Conclusiones

La empresa Duramos SAS facilitó la recolección de datos requeridos para determinar a través del análisis causa raíz la determinación de la falla presentada en el sistema de sujeción de la cuchilla de corte de la maquina ECO SHEAR, esta información fue importante para determinar la concentración de esfuerzo que generaba la fractura de los tornillos de sujeción.

El estudio de esfuerzos realizado mediante el software SolidWorks permitió determinar la concentración de esfuerzo en los tornillos de sujeción de la cuchilla, que hacían que la maquina fallara frecuentemente y que tuviese una baja producción no cumpliendo con las metas diaria establecidas por la empresa.

Con la realización del ensayo de dureza se pudo evidenciar la disminución de la dureza producto de la deformación plástica en los tornillos de sujeción de la cuchilla de corte, estos tornillos inicialmente tienen una dureza alrededor de los 40 HRC, pero cuando se deforman pueden llegar a disminuir hasta 95 HRB, lo que hace que sean mas blandos y no soporten los esfuerzos para lo cual están diseñados y provoquen una falla en el equipo.

Con la realización del ensayo metalográfico se pudo determinar que el material del que están fabricados los tornillos es un acero de bajo carbono pero que de acuerdo a su dureza se puede constatar que tienen un proceso térmico de templado que permite el mejoramiento de propiedades mecánicas del mismo.

Con base a los ensayos realizados se pudo plantear una alternativa mecánica solución que mejora el rendimiento y la productividad del equipo aumentando la cantidad de llantas cortadas por día; de igual manera se observa una disminución en los esfuerzos

sobre los tornillos, lo que conlleva a menos tiempos de paradas en la maquina y mayor eficiencia en la producción.

Observando la cantidad de llanta procesadas en el año 2021 con respecto al 2022, se superó la cantidad en 114 llantas, en lo corrido del año 2022, lo que indica que ha aumentado la productividad reflejada en una mejora en la cantidad de llantas procesadas diariamente, alcanzando cada vez más las metas propuestas por la empresa.

De acuerdo al seguimiento de la producción mes a mes, se puede evidenciar como aumenta la productividad con la instalación del pisador metálico, lo que disminuye en gran manera las paradas del equipo, permitiendo el reemplazo de los tornillos solo por prevención.

Con la instalación del pisador se aumentó la producción un 220% pasando de producir 10 toneladas de material reutilizable a obtener alrededor de 32 toneladas diariamente.

La fabricación del pisador tiene un costo de \$1.711.238 pesos colombianos, y utiliza 6 tornillos que son removidos mensualmente por prevención sumando un costo anual de \$269.892, para un total de \$1.981.130 que comparados con el gasto por fractura de tornillos mensual ascendía a los 167 tornillos/mes, que anualmente representa un costo de \$7.511.994, obteniendo así una utilidad de \$5.530.864 a favor de la empresa Duramos SAS, sin tener en cuenta el aumento de más de 3 veces la cantidad de llantas cortas diariamente con respecto al año anterior.

Referencias

- Ai, Q., Yuan, Y., Shen, S.-L., Wang, H., & Huang, X. (2020). Investigation on inspection scheduling for the maintenance of tunnel with different degradation modes. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *106*, 103589.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103589>
- Espinel-Blanco, E., Hoyos-Palacios, L. M., Cañizares-Cañizares, F. A., & Pérez-Rangel, N. Y. (2019). Failure analysis of the clay extruder nozzle Souza MSL-320 of Ladrillera Ocaña. *Engineering Failure Analysis*, *105*, 1093–1106.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.07.039>
- Gumede, J. I., Hlangothi, B. G., Mabuto, B., Woolard, C. D., & Hlangothi, S. P. (2022). Devulcanization of natural rubber/styrene-butadiene rubber unfilled blend in supercritical carbon dioxide using *Tulbaghia violacea* crude extract. *Journal of Cleaner Production*, *362*, 132478. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132478>
- Hey, R. B. (2017). Chapter 22 - Physical Assets. In R. B. Hey (Ed.), *Performance Management for the Oil, Gas, and Process Industries* (pp. 339–362). Gulf Professional Publishing.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810446-0.00022-0>
- Kang, C., Huang, S., & Bayat, A. (2021). Compressibility characteristics of TDA from OTR (off-the-road) tires: A numerical approach. *Transportation Geotechnics*, *29*, 100561.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100561>
- Kimera, D., & Nangolo, F. N. (2020). Predictive maintenance for ballast pumps on ship repair yards via machine learning. *Transportation Engineering*, *2*, 100020.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100020>

- Martínez, J. D., Campuzano, F., Agudelo, A. F., Cardona-Uribe, N., & Arenas, C. N. (2021). Chemical recycling of end-of-life tires by intermediate pyrolysis using a twin-auger reactor: Validation in a laboratory environment. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *159*, 105298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105298>
- Mohamad Aini, N. A., Othman, N., Hussin, M. H., Sahakaro, K., & Hayeemasae, N. (2022). Efficiency of interaction between hybrid fillers carbon black/lignin with various rubber-based compatibilizer, epoxidized natural rubber, and liquid butadiene rubber in NR/BR composites: Mechanical, flexibility and dynamical properties. *Industrial Crops and Products*, *185*, 115167. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115167>
- Moinian, F., & Ameli, M.-T. (2020). An ISO-based security constrained generation maintenance coordination considering long-term SCOPF. *Electric Power Systems Research*, *189*, 106538. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106538>
- Nishi, I., Kawakami, T., Sakai, S., Obama, T., Kubota, R., Inoue, K., & Ikarashi, Y. (2022). Characterization of synthetic turf rubber granule infill in Japan: Polyaromatic hydrocarbons and related compounds. *Science of The Total Environment*, *842*, 156684. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156684>
- Nyaaba, W., Frimpong, S., & Anani, A. (2019). Fatigue damage investigation of ultra-large tire components. *International Journal of Fatigue*, *119*, 247–260. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2018.07.009>
- Pascual, R., Román, M., López-Campos, M., Hitch, M., & Rodvalho, E. (2019). Reducing

mining footprint by matching haul fleet demand and route-oriented tire types. *Journal of Cleaner Production*, 227, 645–651.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.069>

Piechnicki, F., Loures, E., & Santos, E. (2017). A Conceptual Framework of Knowledge Conciliation to Decision Making Support in RCM Deployment. *Procedia Manufacturing*, 11, 1135–1144. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.235>

Ren, F., Mo, J., Wang, Q., & Ho, J. C. M. (2022). Crumb rubber as partial replacement for fine aggregate in concrete: An overview. *Construction and Building Materials*, 343, 128049. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128049>

Selvik, J. T., & Bellamy, L. J. (2020). Addressing human error when collecting failure cause information in the oil and gas industry: A review of ISO 14224:2016. *Reliability Engineering & System Safety*, 194, 106418. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.03.025>

Sun, C., Fan, C., Kan, X., Ma, Y., Zhang, X., & Zhao, Y. (2022). Enhanced cross-linking performances and carbon black (CB) dispersion in solution styrene butadiene rubber (SSBR) filled with triazine-based graphdiyne (TGDY). *Composites Science and Technology*, 223, 109438. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2022.109438>

Wang, J., Ge, D., Chen, S., Wang, Z., Guo, D., Xu, Z., Wang, J., & Wang, F. (2021). Maintenance strategy design for nuclear reactors safety systems using a constraint particle swarm evolutionary methodology. *Annals of Nuclear Energy*, 150, 107878. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anucene.2020.107878>

- Wei, Y.-C., Xie, W.-Y., He, M.-F., Zhu, D., Liu, S., Zhang, L., & Liao, S. (2022). The role of non-rubber components acting as endogenous antioxidants on thermal-oxidative aging behavior of natural rubber. *Polymer Testing*, *111*, 107614.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107614>
- Wei, Y.-C., Zhu, D., Xie, W.-Y., Xia, J.-H., He, M.-F., & Liao, S. (2022). In-situ observation of spatial organization of natural rubber latex particles and exploring the relationship between particle size and mechanical properties of natural rubber. *Industrial Crops and Products*, *180*, 114737. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114737>
- Zhai, S., Liu, C., Liu, G., Pang, B., Zhang, L., Liu, Z., Liu, L., & Zhang, Y. (2022). Effect of modified rubber powder on the mechanical properties of cement-based materials. *Journal of Materials Research and Technology*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.06.070>
- Zhang, C., & Yang, T. (2021). Optimal maintenance planning and resource allocation for wind farms based on non-dominated sorting genetic algorithm-II. *Renewable Energy*, *164*, 1540–1549. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.125>
- Zhuang, J., Xu, R., Pan, C., & Li, H. (2022). Dynamic stress–strain relationship of steel fiber-reinforced rubber self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, *344*, 128197. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128197>
- Zonta, T., da Costa, C. A., da Rosa Righi, R., de Lima, M. J., da Trindade, E. S., & Li, G. P. (2020). Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, *150*, 106889.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106889>