	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	Luis Eduardo Ortiz Coronel Jorge Eliecer Ortiz Trejo		
FACULTAD	Facultad de ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Especialización Gestión de Mantenimiento Industrial		
DIRECTOR	Msc. Eder Norberto Flórez Solano		
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis de falla a la base que asegura y sujeta la Eco Shear al soporte de concreto de la empresa Duramos S.A.		
TITULO EN INGLES	Failure analysis to the base that secures and holds Eco Shear to the concrete support of the company Duramos S.A.		
RESUMEN			
El análisis de este estudio se basa estrictamente en la investigación, pruebas de laboratorio realizadas, simulación y ejecución de la metodología causa raíz, para detectar la principal razón de las fallas presentadas, en el material con el cual está hecha la base de sujeción de la Eco Shear y así dar las respectivas recomendaciones para prevenir y reducir los mantenimientos correctivos que se generan frecuentemente en la empresa Duramos S.A			
RESUMEN EN INGLES			
The analysis of this study is based strictly on research, laboratory tests performed, simulation and execution of the root cause methodology, to detect the main reason for the reported failures, in the material with which the base of fastening of the Eco Shear is made and thus give the respective recommendations to prevent and reduce the corrective maintenance that is generated frequently in the company Duramos S.A			
PALABRAS CLAVES	Análisis de fallas, Causa raíz, Falla, Mantenimiento		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Failure Analysis, Root Cause, Failure, Maintenance		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 88	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 61	CD-ROM:



**Análisis de falla a la base que asegura y sujeta la Eco Shear al soporte de concreto de la
empresa Duramos S.A.**

Luis Eduardo Ortiz Coronel

Jorge Eliecer Ortiz Trejo

Facultad de ingenierías, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña

Especialización Gestión de Mantenimiento Industrial

Msc. Eder Norberto Flórez Solano

23 de enero de 2023

Índice

Capítulo 1. Análisis de falla y determinación de la causa raíz en la base que asegura y sujeta la Eco Shear a la base de concreto de la empresa Duramos S.A	9
1.1. Planteamiento del problema	9
1.2. Formulación del problema	11
1.2.1. Descripción del problema	11
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo general.....	13
1.3.2. Objetivos específicos	13
1.4. Justificación.....	13
1.5. Limitaciones	14
1.6. Delimitaciones.....	14
1.6.1. Geográfica.....	14
1.6.2. Conceptual	14
1.6.3. Operativa.....	15
1.6.4. Temporal	15
Capítulo 2. Marco Referencial	16
2.1. Marco histórico.....	16
2.2. Marco conceptual	17
2.2.1. Análisis de falla	17
2.2.2. Causa raíz.....	17
2.2.3. Confiabilidad	17
2.2.4. Disponibilidad.....	17

2.2.5. Duramos S.A.....	17
2.2.6. Eco Shear.	18
2.2.7. Equipo.....	19
2.2.8. Efectos y consecuencias de la falla.....	19
2.2.9. Falla	20
2.2.10. Gestión del mantenimiento.	20
2.2.11. Llantas OTR.....	20
2.2.12. Mantenimiento.....	21
2.2.13. Mantenimiento industrial.....	21
2.2.14. Minería.....	22
2.2.15. Residuos peligrosos	22
2.3. Marco teórico.....	22
2.3.1. Análisis de falla en las organizaciones de manufactura.....	23
2.3.2. Aprovechamiento.....	24
2.3.3. Como realizar un efectivo análisis de fallas	25
2.3.4. Almacenamiento	25
2.3.5. Materiales metálicos y sus propiedades.....	26
2.3.6. Propiedades físicas y mecánicas de los materiales	32
2.4. Marco legal.....	35
2.4.1. Constitución política de Colombia	35
2.4.2. ISO 14224	35
2.4.3. ISO 55001	35
2.4.4. Ley 9 de 1979	35

2.4.5. Ley 99 de 1993, Ley nacional ambiental	36
2.4.6. Ley 253 de 1996	36
2.4.7. Política para gestión integral de residuos sólidos	36
2.4.8. SAE JA1012	36
Capítulo 3. Metodología	37
3.1. Tipo de investigación.....	37
3.1.1. Etapas del proyecto.....	37
Capítulo 4. Descripción y desarrollo.....	41
4.1. Fase I.: Descripción de la falla presentada en la base de sujeción.....	41
4.2. Fase II.: Análisis de la causa raíz de falla presentada en la base de sujeción.....	44
4.2.1. Análisis de causa raíz.....	44
4.3. Fase III.: Evaluar las propiedades mecánicas del material de sujeción, teniendo en cuenta los esfuerzos producidos en el momento de operación de la Eco Shear.	49
4.4. Fase IV.: Elaboración del informe donde se presenta una alternativa.....	82
Conclusiones	85
Referencias bibliográficas.....	¡Error! Marcador no definido.

Lista de Figuras

Figura 1 Base de sujeción ECO Shear	10
Figura 2 Eco Shear.....	10
Figura 3 Instalaciones Duramos.....	18
Figura 4 Eco Shear.....	19
Figura 5 Llantas OTR de la empresa Duramos S.A.....	21
Figura 6 Visita a Duramos S.A	42
Figura 7 Locación de Duramos S.A.....	42
Figura 8 Fractura, tras instalar mordazas con características diferentes a las de diseño.....	45
Figura 9 Simbología utilizada en árbol de fallas.....	47
Figura 10 Árbol lógico de fallas (FTA) para maquina ECO SHEAR.....	47
Figura 11 Partes de un perno	50
Figura 12 Representación de perno N1 y N2.....	51
Figura 13 Perno N2.....	51
Figura 14 Perno F2.....	52
Figura 15 Perno F1.....	52
Figura 16 Corte/preparación para muestras ensayo dureza.....	53
Figura 17 Seccionamiento de muestras, ensayo de dureza	53
Figura 18 Ejecución de ensayo para una de las muestras	54
Figura 19 Muestras después de ensayo de dureza.....	54
Figura 20 Curva de templado para perno N1.....	57
Figura 21 Curva de revenido perno N1.....	57
Figura 22. Preparación de N1 para realizar Prueba de tensión.	58

Figura 23. Ensayo de tensión en perno N1, tras tratamiento térmico.	58
Figura 24. Ensayo de tensión en perno N1 con tratamiento térmico.	59
Figura 25. Muestras con tratamiento térmico para ensayo de impacto 1.....	60
Figura 26. Muestra sin tratamiento térmico para ensayo de impacto 2.	60
Figura 27. Valor registrado para acero con tratamiento térmico. (10 JULES)	61
Figura 28. Valor registrado para acero sin tratamiento térmico. (180 JULES)	61
Figura 29. Resultado prueba de impacto muestra con tratamiento térmico 1	62
Figura 30. Resultado prueba de impacto muestra con tratamiento térmico 2.....	62
Figura 31. Resultado prueba de impacto muestra sin tratamiento térmico 1.....	63
Figura 32. Resultado prueba de impacto muestra sin tratamiento térmico 2.....	63
Figura 33. Preparación de equipo7 nuestra para ensayo de metalografía.....	64
Figura 34. Preparación de muestra para ensayo de metalografía.....	65
Figura 35. Metalografía de la microestructura del perno N1: a) 50X, b) 100X, c) 400x y d) 600X.	65
Figura 36. Diseño de la Eco Shear.....	67
Figura 37. Diseño de la Eco Shear, vista inferior.	68
Figura 38. Esfuerzos en el brazo de la Eco Shear con carga de la mordaza	68
Figura 39. Esfuerzos en el brazo de la Eco Shear con carga de la mordaza	69
Figura 40. Esfuerzos en el brazo de la Eco Shear con carga de la mordaza desde otro perfil	70
Figura 41. Esfuerzos en el brazo de la Eco Shear con carga de la mordaza fuerzas.....	70
Figura 42. Vista superior de esfuerzos en la cabina con carga de la mordaza	71
Figura 43. Factor de seguridad presente en la cabina	71
Figura 44. Vista inferior de esfuerzos en la cabina con carga de la mordaza	72

Figura 45. Vista inferior de esfuerzos en la cabina con carga de la mordaza 1.....	72
Figura 46. Vista de esfuerzos en los pernos de sujeción.....	73
Figura 47. Contrapeso 2 toneladas.....	74
Figura 48. Desplazamiento en la base de sujeción.	74
Figura 49. Factor de seguridad con contrapeso.	75
Figura 50. Factor de seguridad.....	75
Figura 51. Contrapeso y reducción de pernos a 33 (7/8 pulg).....	76
Figura 52. Desplazamiento en la base de sujeción.	76
Figura 53. Factor de seguridad con contrapeso y pernos de 7/8”.....	77
Figura 54. Contrapeso y reducción de pernos a 30 de (1 pulg).....	77
Figura 55 Desplazamiento en la base de sujeción.	78
Figura 56. Contrapeso y reducción de pernos a 27 de (1 1/8 pulg).....	78
Figura 57. Desplazamiento en la base de sujeción.	79
Figura 58. Factor de seguridad con contrapeso y pernos de 1 1/8”.....	79
Figura 59. Contrapeso y reducción de pernos a 25 (1 1/4 pulg).....	80
Figura 60. Desplazamiento en la base de sujeción.	81
Figura 61. Factor de seguridad con contrapeso y pernos de 1 1/4”.....	81

Lista de Tablas

Tabla 1 Designación para los aceros según AISI-SAE	27
Tabla 2 Clasificación de los aceros para herramientas según la AISI	30
Tabla 3 Clasificación de las fundiciones de hierro	31
Tabla 4 Presupuesto	39
Tabla 5 Cronograma de actividades.....	40
Tabla 6 Recomendaciones de fabricante VS Situaciones de uso actual	43
Tabla 7 Designación interna para muestras de pernos a utilizar.	50
Tabla 8 Valores de dureza para pernos antes de ser instalados (pernos N2)	55
Tabla 9 Valores de dureza para perno N1.....	55
Tabla 10 Valor de dureza para muestras fracturadas en la maquina Eco Shear.	56
Tabla 11 Composición química del acero AISI 1045.	66
Tabla 12 Composición química de una muestra del perno N1.	66
Tabla 13 Relación de esfuerzos, porcentajes y factores de seguridad de los diferentes sistemas con contrapeso y cambio de pernos	82

Capítulo 1. Análisis de falla y determinación de la causa raíz en la base que asegura y sujeta la Eco Shear a la base de concreto de la empresa Duramos S.A.

1.1. Planteamiento del problema

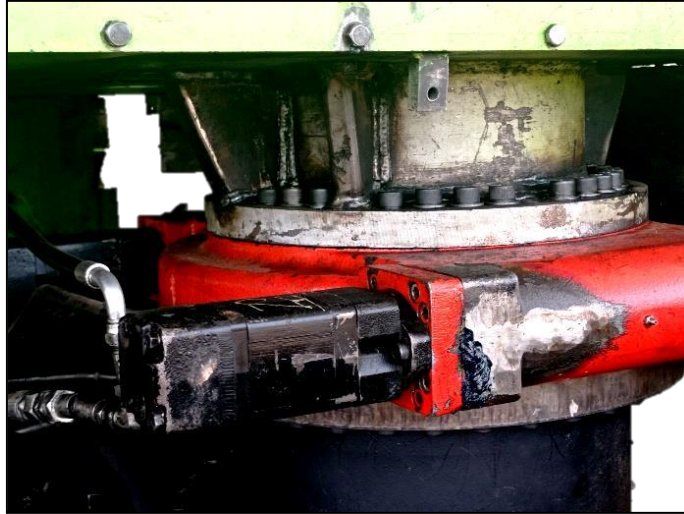
Hoy en día gracias al avance tecnológico en todas las ramas de la industria, se puede observar la implementación de máquinas más sofisticadas, para agilizar la producción y así aumentarla con el fin de generar más ganancias o de emprender una nueva línea de trabajo que pueda transformar material; Este es el caso de Duramos S.A empresa innovadora que se dedica a cuidar el medio ambiente y generar productos con un enfoque social, además de realizar el completo proceso de gestión y reciclaje de llantas OTR de 3,5 toneladas, logrando un adecuado manejo y manipulación del residuo sin impactar al medio ambiente.

Para realizar el proceso de gestión y reciclaje, la empresa adquiere la primera y única maquina en Colombia la ECO Shear (Ver figura 1), que está diseñada para cortar 10 llantas OTR en trozos más pequeños por día, debido a varias fallas que está presentando la máquina se ha reducido en un 30% diario su capacidad de funcionamiento.

Una de estas fallas que perjudica la producción se ubica en la base de sujeción de la máquina (Ver figura 2), a causa de un incremento de peso en la mordaza utilizada para el corte de las llantas OTR, este aumento de peso compromete directamente este punto de la máquina ejerciendo una gran tensión en el material de la pieza de sujeción, tendiendo a la fractura, comprometida la pieza por el peso de la mordaza se ve afectado el trabajo de corte llegando a la parada total de producción en la empresa.

Figura 1

Base de sujeción ECO Shear

**Figura 2**

Eco Shear



La destrucción del medio ambiente ha aumentado a gran escala, debido al crecimiento poblacional, la pérdida desmesurada de áreas verdes y en alguna medida al aumento desproporcional del parque automotor minero, que si bien es necesario para el transporte de los

productos y desechos de la minería, los propietarios de estos vehículos hacen caso omiso por desconocimiento o simplemente por no acatar a las normas que protegen el medio ambiente como la resolución 1326 de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) que prohíbe el abandono de llantas usadas y desechan este tipo de residuos de sus automotores en vías, parqueaderos, sin medir consecuencia alguna de la contaminación que estas llantas acarrearán en su entorno.

Es preciso decir que la contaminación generada por este tipo de residuo es a gran escala ya que uno de sus principales materiales con los cuales son creadas las llantas OTR es el caucho, que podría llegar a los 1000 (Quintero et al., 2016) años en degradarse constituyendo un atentado ecológico, no solo por su tardía degradación, si no, por ser un foco de plagas, enfermedades e infecciones debido al empozamiento de aguas en su interior.

1.2. Formulación del problema

Teniendo en cuenta el incremento de peso en la mordaza de la máquina, ¿Cómo evitar y corregir la tensión que tiende a la fractura de la pieza de sujeción, en la base de la Eco Shear de la empresa Duramos S.A?

1.2.1. Descripción del problema

Desde que los vehículos fueron inventados con el fin de transportar personas y todo tipo de materiales, se creó una problemática, la disposición final de las llantas usadas. El abandono indiscriminado, enterramiento e incineración de estas, está ocasionando un impacto ambiental de costos muy altos. Esta contaminación es un verdadero atentado ecológico a largo plazo, no solo por la mala disposición de estos residuos, si no, por los amplios tiempos de degradación de los

materiales de los cuales está compuesta la llanta, uno de ellos es el caucho que podría durar 1000 años(Quintero et al., 2016) de acuerdo al lugar donde haya sido dispuesto.

En 2016 solamente Icollantas logró vender 117.641 llantas para vehículos pesados (García Méndez, 2018), es por esto que el gran tamaño del parque automotor minero en Colombia está generando altos volúmenes de llantas, causando una problemática que se puede salir de control cuando no se hace el debido tratamiento a estos residuos, dando como resultado una alta contaminación que afecta el suelo, fuentes hídricas y por ende al ser humano.

Cuando son desechadas las llantas que han cumplido con su vida útil, al no hacer el debido tratamiento de disposición se crea una problemática. Este residuo al no ser tratado adecuadamente se presume pueden ser de gran daño para el medio ambiente y la salud, en Colombia en su gran mayoría las llantas luego de su uso, son depositadas en almacenes clandestinos, cubiertas o espacios públicos (lagos, quebradas, calles y zonas verdes), que en términos ambientales generan problemáticas sanitarias y económicas

Hasta el momento la empresa Duramos S.A ubicada en la Loma Cesar ha recibido 989 llantas OTR de las cuales el 70% se han logrado procesar separando sus materiales. Gracias a las alianzas que tiene la empresa, la disposición final de estos materiales para generar una mayor cantidad de residuos aprovechables que son empleados y reutilizados para diferentes productos, como son: combustible derivado de neumáticos (TDF), fábricas de bujes o soportes de caucho y material para fabricación de pisos y mantenimiento para canchas sintéticas a nivel nacional.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Proponer una metodología para el análisis causa raíz de problemas operacionales en el funcionamiento de la ECO Shear, para evitar paradas de operación en la empresa Duramos S.A.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Definir la falla presentada en la base que asegura y sujeta la Eco Shear al soporte de concreto con base a las posibles causas.
- Indagar respecto a la causa del origen de la falla, a través de pruebas de ensayos de metalografía, tensión y dureza la resistencia y las propiedades mecánicas del material que presenta la falla.
- Proponer una solución a la causa-raíz de la falla, a través de una metodología de análisis de falla que establezca el origen de la misma.

1.4. Justificación.

Teniendo en cuenta la importancia del funcionamiento de la Eco Shear en la empresa Duramos S.A., se puede decir que es la máquina principal que inicia el proceso de corte de las llantas OTR, por lo tanto si se detiene la máquina, el sistema de trituración se suspende, generando un paro en cadena sin tener salida del material triturado, es necesario saber porque se están presentando frecuentemente estas fallas, que como resultado interrumpe la producción de la planta, para esto se requiere un análisis de funcionamiento de la Eco Shear.

El análisis se basa en investigación, pruebas de laboratorio y ejecución de la metodología causa raíz, para detectar la principal razón de los fallos del material con el cual está hecha la base

de sujeción de la Eco Shear y dar recomendaciones para prevenir los mantenimientos correctivos que se generan frecuentemente.

1.5. Limitaciones.

Entre las limitaciones del proyecto nos encontramos la poca información de llantas a nivel minero a las cuales se les pueda dar una buena disposición final, escasos recursos financieros para la recolección de esta información en el territorio nacional y especialmente por el hecho de que la Eco Shear es la única en Colombia, recolectar información sobre fallas en su infraestructura es nula. La literatura e información referente al tema de mantenimiento en la maquina es muy limitada, las caracterizaciones para las pruebas de laboratorio en el tipo de acero tienen que ser realizadas en otra ciudad debido a que en Ocaña son escasos los equipos disponibles para esta caracterización lo cual nos dificulta esa parte del proyecto.

1.6. Delimitaciones.

1.6.1. Geográfica.

Este proyecto se realizará en la planta de disposición de llantas usadas de Duramos S.A. 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.

1.6.2. Conceptual.

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

1.6.3. Operativa.

Este proyecto será desarrollado mediante los parámetros entregados por la empresa Duramos S.A., asesoría del departamento de ingeniería mecánica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y la asesoría del director del proyecto, diseño del fabricante de la máquina Eco Green Equipment, además de la información brindada por parte del área de mantenimiento de la empresa Duramos para poder realizar los objetivos del proyecto.

1.6.4. Temporal.

La investigación se tomará un lapso de tiempo de 8 a 12 semanas, comprendidas entre los meses de agosto, septiembre y octubre del año 2022, con lo cual se realizarán los laboratorios para determinar las partículas micro estructurales, de la base de sujeción de la Eco Shear de la empresa Duramos SAS.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1. Marco histórico

En Colombia se ha venido desarrollando con arduo trabajo la concientización del reciclaje de residuos sólidos a los cuales se les debe tratar de manera especial, de acuerdo a sus características ya que son catalogados como peligrosos o porque pueden ser aprovechables como nuevos insumos, desde el año 2012 (El Tiempo, 2016) gracias a diferentes programas se pueden recolectar productos de uso cotidiano, entre los cuales están las llantas que por sus materiales de fabricación pueden ser reutilizados y aprovechados en programas de posconsumo.

Duramos S.A instala a finales del 2020 en la Loma Cesar la primera planta de reciclaje de llantas OTR, lo que la hace empresa pionera en el reciclaje de llantas, especializándose principalmente con las usadas por maquinaria pesada que es utilizada en minería, estas llantas OTR por su gran tamaño y peso son de difícil disposición, para ello Duramos S.A decide utilizar maquinaria de la empresa norte americana Eco Green, empresa que construye maquinaria entre las cuales están las diseñadas para el corte y trituración de este tipo de llantas.

Es por esto que Duramos S.A adquiere la Eco Shear, primera y única máquina en Colombia de este tipo, esta máquina es capaz de triturar 10 llantas OTR por día, en pequeños trozos de 15 Kg, es de aclarar que antes de terminar en estos pequeños trozos, la llanta primero es pasada por un proceso de raspado para disminuir su tamaño, después de esto se extrae la vena de acero que está en su interior, luego es cortada por la Eco Shear para finalmente ser cortada en trozos cada vez más pequeños, óptimos para crear nuevos productos a base de caucho.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Análisis de falla.

Es la compilación del análisis, la revisión y clasificación de todas las fallas de un sistema, con el fin de determinar e identificar el rendimiento como tal, como actividad está destinada a descubrir y eliminar la causa raíz siguiendo metodologías para lograr determinar el cómo ocurrió la falla.

2.2.2. Causa raíz.

Es la definición de un proceso sistemático para la identificación de un evento o problema, generando por medio de una metodología, la solución a través un plan de respuesta.

2.2.3. Confiabilidad

Es la capacidad de una máquina, equipo o sistema para realizar una función definida o requerida dentro de un tiempo o periodo proporcionado y bajo condiciones de operación dadas.

2.2.4. Disponibilidad.

Característica que permite calcular en porcentaje, el tiempo disponible de la máquina funcionando en su totalidad tal y como fue diseñada y fabricada. No significa necesariamente que esté operando o funcionando, solo que está en óptimas condiciones de funcionamiento.

2.2.5. Duramos S.A.

Duramos es la última empresa colombiana en adquirir poderosas máquinas ECO Green para evitar que los neumáticos OTR se acumulen y causen un impacto ambiental negativo. La empresa tiene su sede en la región minera colombiana la Loma Cesar, Duramos es la primera planta de reciclaje de llantas de su tipo en el país. Gracias a su adquisición de máquinas ECO

Razor y ECO Extractor, están preparados para reciclar las llantas más grandes del planeta usadas para la minería. Dado que las llantas OTR no se pueden procesar en una sola pieza debido a su tamaño, Duramos confió en la capacidad del equipo ECO Green para mecanizar llantas OTR en piezas de 30 libras antes de procesarlos en un producto utilizable (Duramos, 2021).

Figura 3

Instalaciones Duramos



2.2.6. Eco Shear.

La ECO Shear está diseñada para levantar con facilidad y cortar en pequeños trozos las llantas OTR, está hecha principalmente de acero, material necesario para el corte de este material por su gran peso y dimensión. Se requiere aceite para que este sistema funcione, este se considera material peligroso y debe eliminarse de manera adecuada. El sistema puede tener paneles de control eléctrico que deben desecharse de forma adecuada si es necesario el cambio. Elementos que deben desecharse bajo los requerimientos locales, regionales o nacionales.

La ECO Shear se considera un gran dispositivo industrial estacionario en el siguiente sentido:

Categoría 6 del Anexo 1A de la Directiva Europea de Residuos de equipos eléctricos y electrónicos (EU-WEEE) 2012/19/EU. A partir de 2014, esta política no se aplica a este tipo de dispositivos, pero está sujeta a cambios. Los componentes de terceros están incluidos en el sistema ECO Shear y la eliminación se describen en los manuales técnicos de los dispositivos individuales, está documentado en el manual de ECO Shear (Lake, n.d.).

Figura 4

Eco Shear



2.2.7. Equipo.

Conjunto total de máquinas que son necesarias para cumplir un objetivo o tarea.

2.2.8. Efectos y consecuencias de la falla.

El efecto de una falla se considera cómo la forma de manifestarse la falla, es decir, cómo se interrumpe el sistema debido a una falla del equipo o de los activos, ya sea local o de otra parte del sistema. Estos signos son: Subida/bajada de niveles, subida/bajada de temperaturas, activación de señales, alarmas o dispositivos de seguridad, etc. También se tienen en cuenta síntomas como el aumento de las perturbaciones, el ruido y las vibraciones. En el caso de los

resultados, estos corresponden a efectos derivados de deterioros de los distintos receptores de interés. Se considera la seguridad de las personas, el medio ambiente y el impacto en la producción.

2.2.9. Falla.

Es 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.

2.2.10. Gestión del mantenimiento.

La gestión del mantenimiento se define como el proceso de mantenimiento de los activos y recursos de la organización. Su finalidad principal es controlar costes, tiempos y recursos y asegurar el cumplimiento normativo. La gestión del mantenimiento como parámetro de referencia para evaluar a través de la supervisión, el objetivo fundamental de varios actores es mejorar la disponibilidad de los SP (activos) y su propósito fundamental es partir de la ejecución, mediante mejoras incrementales a bajo costo para ser más competitivos y trabajar de manera eficiente y confiable en un contexto operativo. (Pérez, 2017)

2.2.11. Llantas OTR.

OTR significa Off The Road, coloquialmente conocido como All Terrain. Las llantas OTR están diseñadas para su uso en terrenos inusuales y condiciones todoterreno difíciles, por estas características normalmente son usadas en equipos para la minería.

Figura 5

Llantas OTR de la empresa Duramos S.A

**2.2.12. Mantenimiento.**

Conjunto de acciones que realiza el responsable de este departamento o área para asegurar que los equipos, máquinas, componentes y plantas que intervienen en un proceso industrial se encuentran en las condiciones de operación requeridas cuando son diseñados, construidos, instalados y puestos en servicio para la toda la operación. Este conjunto de actividades incluye una combinación holística de conocimientos, experiencia, habilidades y trabajo en equipo y otras dependencias de la organización para garantizar una buena gestión y desempeño operativo y para ser aplicado por cada organización, respetando su tema de desempeño o métricas de gestión.

2.2.13. Mantenimiento industrial.

El mantenimiento suele definirse como un conjunto de prácticas encaminadas a mantener los equipos e instalaciones en funcionamiento el mayor tiempo posible, con la mayor

disponibilidad y el máximo rendimiento. El mantenimiento industrial incluye tecnologías y sistemas que permiten la predicción de fallas, el control, la lubricación y la ejecución efectiva de reparaciones, brindando a los operadores y usuarios de máquinas una línea base de funcionamiento adecuado y beneficiando a la empresa. Esta es una organización de investigación que busca las cosas más útiles para las máquinas y trata de extender su vida útil de manera que sea beneficiosa para los usuarios.

2.2.14. Minería.

Todos los días, en casa y en el trabajo, cuando cocinamos, preparamos nuestra tierra y nos movemos de un lugar a otro, siempre estamos usando cosas hechas de minerales, extraídos de la tierra los minerales necesarios para crear estos objetos. Esta actividad se practica en Colombia desde la colonización. Nuestros antepasados extrajeron minerales y fabricaron artículos cotidianos como anteojos, cuchillos y joyas.

2.2.15. Residuos peligrosos.

Los desechos peligrosos son desechos que representan un peligro para la salud humana y el medio ambiente, como productos farmacéuticos, baterías y aceites usados, que causan daños incontrolables, contaminan y contienen altas tasas de aditivos cuando se vierten en la tierra o en las fuentes de agua. daños irreparables por objetos. El resultado final son partículas dañinas. Para evitar que esto suceda, debe almacenarse para el proceso de reciclaje o eliminación segura para evitar esta contaminación. (Ministerio del Medio Ambiente, 1998).

2.3. Marco teórico

Un pilar fundamental en la elaboración de este proyecto es encontrar alternativas para mitigar el daño ambiental y ecológico que ocasiona la disposición inadecuada de llantas

utilizadas en equipos mineros colombianos (ETHEL SILVA DE OLIVEIRA, 2017). Gracias al apoyo de la empresa Duramos S.A. para reducir los residuos, mediante la trituración de estos materiales con su maquinaria única en Colombia, con poco seguimiento y desconocimiento del mantenimiento de estos equipos, se prevé como alternativa de investigación en el área de mantenimiento y contribución al reciclaje y protección del medio ambiente.

2.3.1. Análisis de falla en las organizaciones de manufactura.

En este tipo de organización, el análisis de fallas a menudo se enfoca en el desarrollo de un producto específico. En otras palabras, saber por qué el producto no cumple con los estándares establecidos. En estos casos, es posible guardar otra propuesta que no cumpla con los requisitos.

Es común encontrar barreras al momento de implementar el análisis de fallas en las organizaciones, ya que los sistemas sociales son precisamente quienes tienden a desalentar este análisis por los motivos siguientes:

Primero. Normalmente los individuos tienen emociones negativas al momento de examinar las fallas propias, ya que se ve afectada la autoestima y autoconfianza. Es por esto que en su gran mayoría las personas prefieren dejar en el olvido los errores cometidos, que enfrentarlos, examinarlos o disgregarlos para lograr un mayor entendimiento y encontrar la forma de corregirlos.

Segundo. La falta de revisión de la gestión requiere que los empleados dividan el trabajo, examinen y determinen qué es importante y cómo deben realizarse otras partes del trabajo. El trabajo debe dividirse en partes redundantes de aprendizaje para que la información importante pueda difundirse y comunicarse de manera efectiva. El enfoque de instrucción para el

aprendizaje también se conoce como el método de los cuatro pasos(Liker & Meier, 2007). Cuatro pasos: preparación del alumno, presentación del desempeño, evaluación del desempeño y seguimiento. Este es el corazón de la transferencia efectiva de conocimiento.

No obstante, en su gran mayoría a los gerentes se le reconoce y premia por su capacidad de decisión, eficiencia y acción, más que por una reflexión profunda y un análisis que pueda resultar doloroso.

Tercero. Los psicólogos, por décadas, han documentado prejuicios psicológicos, así como los errores que reducen la exactitud de la percepción de los humanos, el sentido de las cosas, la estimación y el dar crédito. Esto puede afectar la capacidad de uno para medir el fracaso con precisión. La gente a menudo se siente libre de comprobar la evidencia hacer que creen lo que quieren creer negando la culpa y que el problema es causado por otros o por "el sistema". Preferimos ir por algo divertido o cómodo.

2.3.2. Aprovechamiento

2.3.2.1. Beneficios del análisis de fallas en las organizaciones. Aparte de los beneficios técnicos de un análisis sistemático, el discutir fallas tiene importantes beneficios sociales y organizacionales, tales como:

- La discusión ofrece la oportunidad de que otros aprendan, sobre todo si no estuvieron involucrados en la falla.
- Estas personas pueden contribuir con diferentes perspectivas y puntos de vista para hacer un análisis más profundo, que ayude a contrarrestar los prejuicios y subjetividades de aquellos que estuvieron involucrados en la falla. Después de haber experimentado una

falla, las personas generalmente atribuyen mucho de la culpa a otra gente y a fuerzas más allá de su control. Si esta tendencia no se cuestiona, se reduce la capacidad de la organización para identificar el aprendizaje clave que se podría obtener de la experiencia.

- Al analizar y discutir errores simples, que generalmente son subestimados, se puede rescatar un aprendizaje.

2.3.3. Como realizar un efectivo análisis de fallas

Un riguroso análisis de fallas requiere que las personas, por lo menos temporalmente, hagan a un lado todos sus complejos y prejuicios para explorar las no tan cómodas verdades y asumir la responsabilidad personal.

Para asegurar un análisis efectivo y contar con diversos puntos de vista, se requiere de foros o procesos formales para discutir, analizar y aplicar las lecciones aprendidas en otras áreas. Estos grupos son más efectivos cuando las personas tienen habilidades técnicas, experiencia en análisis y diversos puntos de vista, permitiendo una lluvia de ideas y explorar diferentes interpretaciones de razones por las que ocurrió la falla, así como de sus consecuencias.

Si no se cuenta con una estructura de análisis riguroso y de cuestionamiento profundo, los individuos tienden a saltar a conclusiones prematuras sin fundamento y a no entender problemas complejos.

2.3.4. Almacenamiento

Este se da por disposición del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005 el cual regula las disposiciones de almacenamiento en lugares o sitios autorizados por una cierta capacidad de tiempo para luego llegar a su disposición final (Técnico et al., 2014).

2.3.5. Materiales metálicos y sus propiedades

Es importante aclarar que básicamente nosotros como ingenieros y dependiendo de la industria en la que estemos desempeñando, interactuaremos con dos grandes grupos de materiales y en concordancia con lo expuesto por (Felipe, 2008) Primeramente tenemos los metálicos (Aleaciones ferrosas y no ferrosas) en segunda parte, pero no menos importantes los no metálicos (Plásticos, Cerámicos y los denominados materiales compuestos).

El acero es una aleación a base de hierro con contenido de carbono desde 0.02 hasta 2 %, los cuales son denominados aceros al carbono, también existen otros grados de acero con otros elementos de aleación en diferentes concentraciones que le confieren propiedades mecánicas específicas. Propiedades como la durabilidad y la resistencia. (Determinados por elementos como el manganeso y es fosforo).

2.3.5.1. Tipos de acero. Existe una gran variedad y tipos de aceros, cada uno de ellos con diferentes composiciones, las cuales son seleccionadas según las necesidades del mercado. Por lo general los aceros se producen de dos formas: Reciclando toda la chatarra de acero y refinando mineral de hierro.

Para entender y comprender qué tipo de acero debemos de usar, es importante conocer sobre la estructura química del acero. Básicamente se pueden dividir en cuatro grupos o tipos. Como ya dijimos anteriormente uno de los principales compuestos de los aceros es el carbono, a mayor concentración de dicho elemento el acero presenta mayor resistencia a la tracción, pero va perdiendo maleabilidad y se va volviendo más frágil.

En vista de que son varios los aceros, la AISI y la ASME decidieron unificar criterios en cuanto a una codificación que nos diera indicios del acero en cuestión. Esta nomenclatura se verá reflejada en la siguiente tabla.

Tabla 1

Designación para los aceros según AISI-SAE

Familia	Elemento principal de aleación.
1XXX	Carbono
2XXX	Níquel
3XXX	Níquel-Cromo
4XXX	Cromo-Molibdeno
5XXX	Cromo-Vanadio
8XXX	Cromo-Níquel-Molibdeno
9XXX	Cromo-Silicio

Nota: El primer dígito indica cual es el principal de aleación (carbono en este caso); el segundo dígito, la modificación del acero original y los dos últimos dígitos hace referencia al porcentaje de carbono en centésimas de punto. *Adaptado de* (Felipe, 2008).

2.3.5.2. Aceros al carbono. Tiene un aspecto un poco opaco, son aceros realmente fuertes, utilizados con alta frecuencia en la industria, constituyen alrededor de un 80% al 90% de toda la industria este tipo de aceros son bastantes sensibles a la corrosión. Este grupo de aceros tiende a ser comercial debido a su valor de adquisición que tiende a ser mucho menor en comparación con los otros grupos. Sus usos pueden verse reflejados en elementos de maquinaria, herramienta manual, resortes y tornillería de uso general o comercial. Los llamados aceros al carbono los podemos subdividir en tres grupos:

Aceros con bajo carbono (0.02% a 0.03% de carbono). Este tipo de aceros presentan buena ductilidad, permiten soldarse, procesos de maquinado, valores de resistencia moderadas. Una de las ventajas es que no permiten tratamientos térmicos para mejorar propiedades mecánicas.

Aceros al medio carbono (0.03% a 0.065% de carbono). A diferencia del grupo anterior este tipo de aceros permiten procesos para mejorar sus propiedades mecánicas (Permiten temple y el conocido revenido) y como ya sabemos, al poseer más carbono posee mayor resistencia mecánica que los anteriores, pero una moderada maleabilidad.

Aceros de altos carbono. (Carbono superior al 0.8%). Este tipo de aceros presentan mayores valores de dureza por lo tanto tienden a ser más frágiles, difíciles para procesos relacionados con la soldadura y con poca tenacidad.

Aceros aleados. A este tipo de aceros se le añaden de manera intencional algunos elementos con el objetivo de aumentar algunas propiedades. Debido a esos elementos externos tienden a hacer un poco más resistentes a la corrosión, mejoran propiedades mecánicas, templabilidad y oxidación. En base a lo expuesto por (Felipe, 2008) los elementos por lo general añadidos son: cromo, molibdeno, níquel, tungsteno, vanadio, silicio, manganeso, etc. Debiendo ser la suma de todos los elementos antes mencionados menor o igual al 5 %.

Aceros para herramientas. Este tipo de aceros son reconocidos porque son resistente al calor y duros. Y como su nombre lo indica son principalmente utilizados en las industrias de las herramientas (Generalmente las de impacto). Sus elementos principales son: Molibdeno, tungsteno, manganeso, vanadio, níquel, cobalto y carbono como es de suponerse. Quizá está demás nombrar algunas de las propiedades que presenta esta categoría de aceros, pero para

dejar por sentada la idea, nombraremos las siguientes: Alta dureza y resistencia al desgaste, deben mantener su dureza cuando son sometidos a altas temperaturas, no deben permitir alteraciones de sus propiedades cuando son sometidos a tratamientos térmicos y excelente templabilidad.

Si este tipo de aceros no presentan algunas de las propiedades mencionadas anteriormente, sucederá que se registrará un corto periodo de vida útil para la herramienta en cuestión. Como sabemos estas herramientas son utilizadas en situaciones agresivas, donde son utilizadas para la conformación o de otros elementos o dispositivos industriales que demandan grandes esfuerzos y fenómenos físicos (Temperaturas, fricción, etc.).

A continuación, se presentará una clasificación/designación que se la ha dado a este tipo de aceros según su campo de aplicación y de acuerdo con (Felipe, 2008) esta clasificación fue dada por AISI.

Tabla 2

Clasificación de los aceros para herramientas según la AISI

Aplicación	Subcategoría	Identificación
Aceros para trabajo en frío.	Aceros templables en agua.	W
	Aceros templables en aceite.	O
	Aceros templables al aire.	A
	Los aceros de alto cromo- alto carbono que se utilizan para la fabricación de troqueles	D
Aceros resistentes al impacto.	N/A	S
Aceros para trabajo en caliente.	N/A	H
Aceros rapidos o aceros de alta velocidad	Cuando son de tungsteno.	W
	Cuando son de molibdeno	M
Aceros para moldes	N/A	P
Aceros de propósito general.	N/A	L y F.

Nota: Seis tipos diferentes de adaptación de aceros en trabajos *Adaptado de* (Felipe, 2008)

Aceros inoxidables. Como su nombre lo indica son aquellos que presentan buenas condiciones frente a la oxidación, en sectores como la medicina, alimentos, construcciones civiles, industria aeronáutica automotriz, Algunos ejemplos pueden ser: Tuberías - Recipientes de proceso - Válvulas - Cuchillería - Resortes - Artículos de ornato y demás donde se requiera mantener excelentes condiciones higiénicas y muchas veces también de estética. Sus principales elementos de aleación son el cromo y el níquel. Según la literatura expone que estos aceros deben contener un mínimo de 10% de cromo para ser considerados aceros inoxidables y

obviamente bajos contenidos de carbono. Son aceros que presentan una fácil manipulación, son flexibles y de muy buena calidad.

Fundiciones de hierro. Al igual que las anteriores estos materiales son aleaciones de hierro y carbono, el contenido de carbono para estas fundiciones varía de 2 a 6.7% de carbono, teniendo adicionalmente elementos como el silicio y el manganeso. Estos difieren de todos los anteriores debido a que pueden tratarse mediante deformaciones plásticas o elásticas ya sea en caliente o frío.

Pero como todo material tiene algunas ventajas, algunas de ellas son: Presentan muy buena resistencia a la compresión, disipan muy bien las altas vibraciones, son materiales que permiten ser maquinados con facilidad, se caracterizan por ser metales que funcionan muy bien a cargas dinámicas o también denominadas cargas variables y tienen bajo costo.

Este tipo de aceros básicamente son clasificados en la en la forma en cómo podemos encontrar el carbono.

Tabla 3

Clasificación de las fundiciones de hierro.

Tipo de hierro	Distribución del carbono	Aplicaciones
Hierros fundidos blancos.	Encuentra en forma de carburo de hierro.	
Hierros fundidos grises.	Se encuentra en forma de hojuelas.	Marcos para herramientas, carcasas para bombas, carcasas para motores eléctricos, transmisiones, engranes, bloques de motores, volantes, discos de frenos, entre otros.
Hierros fundidos nodulares o dúctiles.	El carbono se encuentra en forma de rosetas de grafito.	

Nota: Distribución del carbón conforme al tipo de hierro *Adaptado de* (Felipe, 2008)

2.3.6. Propiedades físicas y mecánicas de los materiales

Sabemos que al momento de seleccionar un material debemos conocer muy bien la composición, ventajas y desventajas que tenemos al utilizarlo. Esta selección no es para nada fácil, pues para ello es importante una serie de profundización teórica a la cual siempre valdrá la pena dedicarle una buena parte de tiempo del proyecto, esta profundización de criterios nos ahorrará muchos inconvenientes al momento de ejecutar la idea o poner a funcionar cierto equipo o lo que se esté llevando a la práctica.

En párrafos anteriores hemos resumido algunos aspectos sobre los aceros, su clasificación, campos de aplicación y también hemos mencionado algunas de sus propiedades, las cuales trataremos de sintetizar sustanciosamente en las siguientes líneas. No está demás decir que cada una de estas propiedades son cuantificada mediante diferentes ensayos.

Ensayos destructivos (ED). En este tipo de ensayos es importante tener claridad que la pieza que a ser analizada quedara completa o parcialmente afectada. Algunos de estos ensayos son (Impacto, flexión, Torsión, fatiga, tracción y dureza)

Ensayos no destructivos (END). En estos la integridad de las muestras no se ve comprometida. Algunos de los tantos que podemos encontrar son los siguientes: Rayos X, ultrasonido, micro dureza, tintas penetrantes entre otros).

Resistencia a la tensión y deformación. Se hace referencia a la máxima fuerza a tensión a la que se puede someter un elemento antes de su ruptura. Para estimar el valor de la variación de la muestra o probeta, se utiliza un equipo llamado extensómetro. Y el ensayo se conoce como ensayo de tensión.

Elasticidad. En esta propiedad consideramos la capacidad que tiene el material para soportar deformaciones las cuales desaparecen cuando anulamos las fuerzas externas,

Plasticidad. Esta propiedad está ligada a la anterior, llegado el caso al material no se le anulan las fuerzas externas, pasaremos a tener un material con unas condiciones de tamaño diferentes a las iniciales. En otras palabras, se dice que es la capacidad de mantener la forma que adquirió mientras fue sometido a un esfuerzo externo.

Ductilidad. Los materiales con esta propiedad permiten deformaciones plásticas permanentes donde no se verán afectados (es decir, sin romperse). Un ejemplo claro donde podemos comprender esta propiedad es en los alambres que conforman un cable de acero. Son arrollados entre sí para conformar cables de aceros de diferente diámetro.

Tenacidad y resiliencia. Se hace referencia a la capacidad que tienen los materiales para absorber cierta energía y deformarse antes de romperse cuando son impactados por otros cuerpos. Existe un ensayo de impacto conocido como resiliencia, donde se utiliza un péndulo (Brazo giratorio) que al liberarlo choca con la probeta seleccionada y de esta manera se podrá determinar la tenacidad del material.

Dureza. Se entiende por dureza aquella resistencia que ofrecen los materiales a cierta deformación plástica superficial, este tipo de deformación se puede presentar por rayado o penetración. Existe una serie de procedimientos para determinar la dureza de los materiales, en estos básicamente se tienen en cuenta dos aspectos, la huella que deja el indentador, el cual es el que entra en contacto con el material a cuál se le va a comprobar el valor de dureza y la fuerza de aplicación sobre la misma pieza. Debemos tener en cuenta que la dureza es una propiedad en la capa superficial del material, más no una propiedad del material. Es decir, el valor de dureza de un material en la capa no será el mismo en la raíz o eje central del mismo.

Fatiga. Por esta propiedad entendemos la capacidad que tienen los equipos para soportar esfuerzos durante cargas cíclicas o dinámicas. Desde un punto de vista muy particular lo entendemos como aquellas cargas que son cambiantes.

2.4. Marco legal

Como referente para afrontar esta investigación se toman normas y leyes que constituyen la aplicación técnica y ambiental que rige el país.

2.4.1. Constitución política de Colombia

Art.79 en lo que se muestra que “Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”(Asamblea Nacional Constituyente, 1991).

2.4.2. 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)

2.4.3. ISO 55001

Esta norma 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)

2.4.4. Ley 9 de 1979

Se da la regulación de la descarga de residuos y materiales que afectan las condiciones del medio ambiente y el funcionamiento de las descargas en las distintas fuentes hídricas y vertederos de las ciudades y municipios del país(Congreso De La República de Colombia, 2008).

2.4.5. Ley 99 de 1993, Ley nacional ambiental

Se presentan las normativas y leyes establecidas para el cuidado del medio ambiente, la investigación científica, esto para la incorporación y uso de los aceites usados es posible coordinar esto entre el ministerio de medio ambiente, ministerio de minas y energía y vivienda y desarrollo(Congreso De La República de Colombia, 2008).

2.4.6. Ley 253 de 1996

En donde se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación(Congreso De La República de Colombia, 1996).

2.4.7. Política para gestión integral de residuos sólidos.

Esta política intenta reglamentar y mitigar los efectos contaminantes y dañinos producidos por los residuos peligrosos, los cuales son recolectados por las empresas de aseo en las diferentes ciudades y municipios del país(Ministerio del Medio Ambiente, 1998).

2.4.8. 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)

Capítulo 3. Metodología

3.1. Tipo de investigación

Este proyecto se desarrollará de acuerdo a la investigación mixta, donde la primera parte se resolverá mediante el diagnóstico y las pruebas de laboratorio para dar paso a la parte descriptiva, con la finalidad de explicar cómo o por qué se presenta la falla. Este estudio es adecuado para encontrar las causas de falla en la base de sujeción de la Eco Shear.

3.1.1. Etapas del proyecto.

El proyecto será desarrollado por fases de acuerdo a los objetivos planteados.

Fase I, Descripción de la falla presentada en la base de sujeción de la Eco Shear. Es necesario conocer el funcionamiento y operación de la Eco Shear, para esto se requiere cumplir con las siguientes actividades:

- a. Solicitar información de operación de la maquina Eco Shear a Duramos S.A.
- b. Recolección de la información de mantenimiento e instalación de parte del fabricante.
- c. Analizar la información recopilada.

Fase II, Análisis de la causa raíz de falla presentada en la base de sujeción de la Eco Shear. Esta fase se desarrollará bajo la metodología del análisis causa raíz (RCA), para encontrar las posibles causas de la falla, mediante las siguientes actividades:

- a. Elaborar un árbol lógico de fallas.
- b. Analizar las causas posibles de la falla presentada en la base de sujeción de la Eco Shear
- c. Validar los datos encontrados en el análisis de falla.

Fase III, Evaluar las propiedades mecánicas del material de sujeción, teniendo en cuenta los esfuerzos producidos en el momento de operación de la Eco Shear. Teniendo en cuenta las continuas fallas presentadas en la base de la Eco Shear, se hace necesario conocer las propiedades mecánicas y esfuerzos generados, en el material de sujeción por medio de las siguientes actividades:

- a. Realizar pruebas de espectrometría de arco y chispa, dureza, metalografía, tensión e impacto en los laboratorios de la Universidad Francisco de Pula Santander Ocaña.
- b. Simular el proceso de esfuerzo en el software Solid Word y obtener un análisis de fuerzas.

Fase IV, Elaboración del informe donde se presenta una alternativa de solución y resultados. Presentar la alternativa que pueda solucionar las condiciones de trabajo, ajustadas al precio, adquisición o fabricación.

- a. Mostrar una alternativa de solución de acuerdo al análisis realizado.
- b. Redacción del informe.
- c. Presupuesto

Tabla 4*Presupuesto*

Rubro	Fuente de financiación	Contrapartida		Total
	Efectivo	Efectivo	Especie	
Equipos-herramientas ¹			X	-
Licencias de software			X	-
Reactivos y material de laboratorio			X	400.000
Materiales e insumos			X	200.000
Papelería y útiles de escritorio ²			X	100.000
Salidas de campo			X	400.000
Servicios técnicos ³			X	-
Documentación y bibliografía ⁴			X	-
Análisis y pruebas de laboratorio			X	2.500.000
Gastos de viaje ⁵			X	300.000
Imprevistos			X	150.000
Total				3.450.000

¹ Materiales de laboratorio.

² Computador, calculadora, 1/2

³ No utilizado

⁴ Plataforma Scopus

⁵ Laboratorio UFPSO

Capítulo 4. Descripción y desarrollo

En este capítulo se expone la metodología propuesta para analizar problemas operacionales que será validada con la información recopilada de la empresa y la realización de diferentes laboratorios para analizar el material que presenta falla. Para realizar el análisis de causa raíz se toma como base la información suministrada por los ejecutores del mantenimiento y operadores de la máquina. Para este análisis es necesario el desarrollo de las siguientes fases.

4.1. Fase I.: Descripción de la falla presentada en la base de sujeción de la Eco Shear.

Es necesario conocer el funcionamiento y operación de la Eco Shear, para esto se requiere cumplir con las siguientes actividades:

a. Solicitar información de operación de la maquina Eco Shear a Duramos S.A.

Para este caso se hace necesario una vista a las instalaciones donde de manera muy general se pudo rescatar la mayor parte de información sobre la máquina y los demás equipos que componen toda esta línea de operación. Se logra obtener algunos documentos donde se indican algunas recomendaciones tanto para la instalación, operación y algunas rutinas básicas de mantenimiento. Se indaga con el personal que tiene más contacto con la máquina y que nos indique si existieron algunas modificaciones en cuanto al uso o instalación de la máquina.

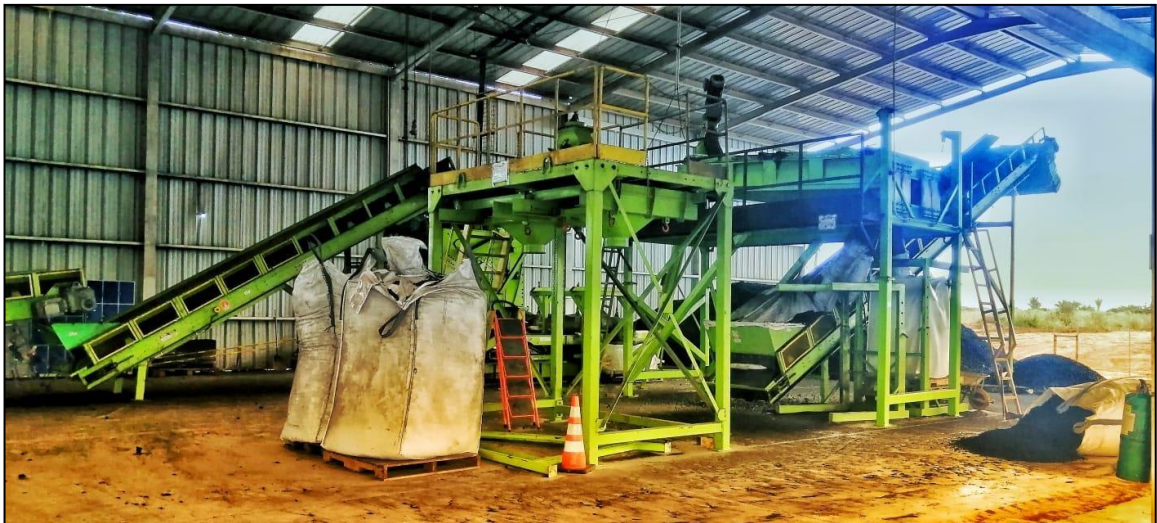
Figura 6

Visita a Duramos S.A.



Figura 7

Locación de Duramos S.A.



b. Recolección de la información de mantenimiento e instalación de parte del fabricante.

En cuanto a la información relacionada con las labores de mantenimiento e instalación, se puede decir que no existen variaciones en cuanto a las recomendaciones que da el proveedor y lo que se ejecuta, ya que la empresa se rige mayormente a lo recomendado en el manual de la maquina (ver anexos), existe un cronograma para los cambios de aceite y demás rutinas preventivas.

c. Analizar la información recopilada.

En base a lo recolectado con el personal, documentos anexados y la validación en sitio, se evidencia que la falla está asociada a especificaciones de uso, los documentos suministrados por la entidad indican las siguientes recomendaciones en cuanto al corte de las llantas.

Tabla 6

Recomendaciones de fabricante VS situaciones de uso actual.

Recomendaciones de fabricante	¿Se cumple?	Observaciones
Llantas sin materiales extraños (Rocas, piezas de acero u otros)	Si	NA
La vena de se debe retirar antes cortar.	Si	
Especificaciones de las llantas.	Si	40.00R57; Equivalente a unos 3500-3600 mm de diámetro exterior.

4.2. Fase II.: Análisis de la causa raíz de falla presentada en la base de sujeción de la Eco Shear.

Esta fase se desarrollará bajo la metodología del análisis causa raíz (RCA), para encontrar las posibles causas de la falla, mediante las siguientes actividades:

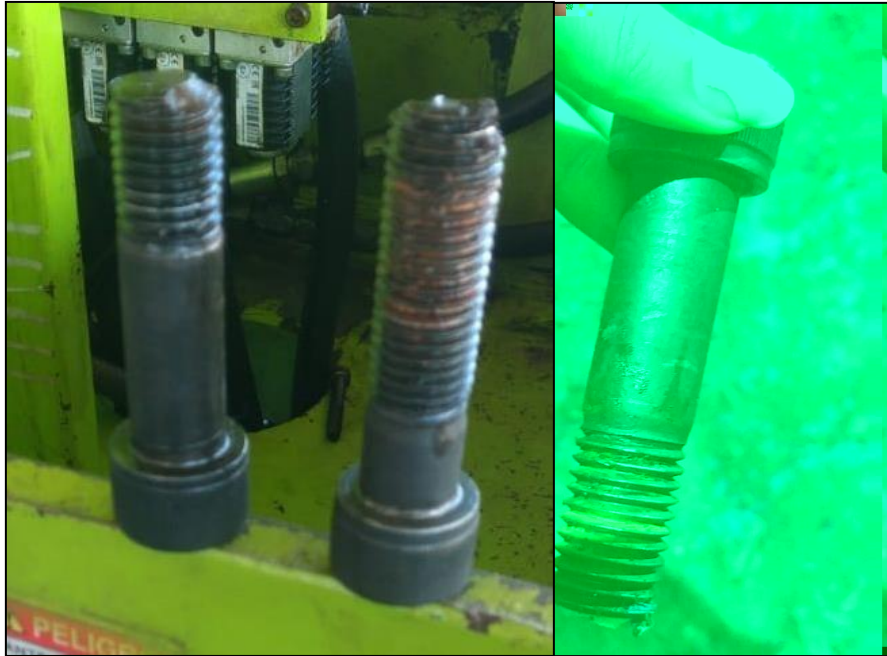
4.2.1. Análisis de causa raíz.

Evento. En el presente año, en la empresa Duramos SAS, la maquina ECO SHEAR habiendo transcurrido alrededor de 6 meses de operación, se evidencia que las cuchillas de la mordaza, empiezan a presentar falla de manera muy repetitiva, la corrección de esta falla conlleva a otros sucesos, ruptura de los pernos que sujetan la base de la Eco Shear.

Causa Inmediata (Acción). La empresa Duramos SAS, con la intención de mantener los índices de producción y garantizar mayor rendimiento en la mordaza, decide modificar las características de la misma, se evidencia que la mordaza opera y no se vuelven a presentar fallas en esa zona de la máquina, de acuerdo a la modificación realizada a la mordaza, empieza a producirse una ruptura de tornillos en la base de sujeción, esta falla se asocia al peso incrementado por la modificación en la mordaza de la Eco Shear, los pernos de sujeción se empiezan a fracturar de manera frecuente, alrededor de los 22 días de trabajo de la máquina, esta falla conlleva a que la Eco Shear sea parada por tres días para realizar el respectivo cambio de los pernos.

Figura 8

Fractura, tras instalar mordazas con características diferentes a las de diseño.



Causa base.

- Selección de componentes en la fase de diseño con propiedades mecánicas inadecuadas.
- Procedimientos inadecuados en la manipulación de la máquina.
- Baja percepción de riesgo en cuanto a la instalación de elementos mecánicos ajenos a los del diseño original.
- Procedimientos inadecuados para rediseño de elementos mecánicos.

Equipos con poca trayectoria en el mercado (equipos en fase de prueba)

Causa raíz.

- Ausencia de metodologías para evaluar los riesgos que pudiesen presentarse cuando se hacen rediseños o modificaciones en la maquinaria.

- Poca comunicación entre al proveedor del equipo y la empresa para la toma de decisiones en conjunto.
- Equipo sometido a condiciones de trabajo variables (diferentes a las recomendadas por el fabricante).

Medidas de control.

- Incluir de manera interna procedimientos organizados para la toma de decisiones para rediseños de nuevos componentes.
- Concientizar a todo el personal para
- Concientizar a las personas que los “pequeños” cambios en la fase de operación pueden desencadenar fallos críticos.

a. Elaborar un árbol lógico de fallas.

Es importante representar de manera muy general algunas de las situaciones que pudiesen llevar a una parada (Sin esclarecer el tiempo que llevaría reparar o reestablecer todo el sistema) de la máquina. Básicamente lo que queremos es identificar algunas de las posibles situaciones o eventos y cuál sería la posible causa para que la máquina deje de operar, para comprender de manera sencilla un árbol de fallas es importante tener en cuenta la siguiente relevancia o significado que tiene cada una de las figuras dentro de la representación gráfica.

Figura 9

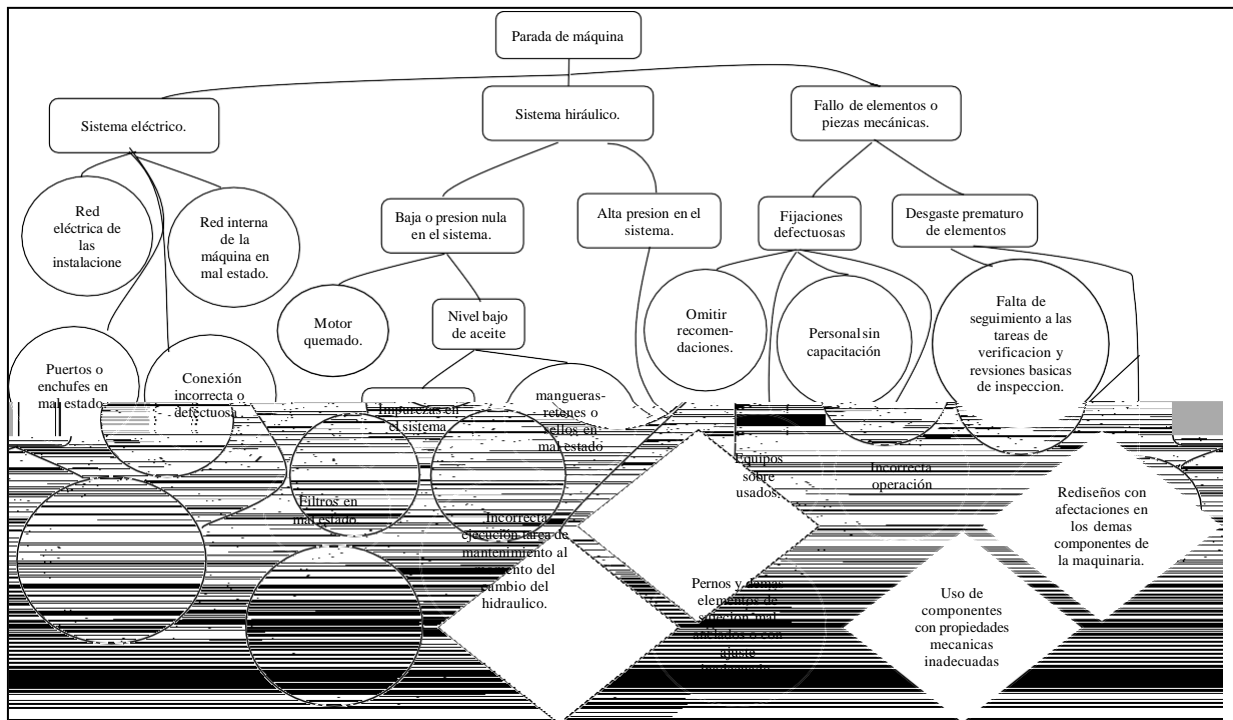
Simbología utilizada en árbol de fallas

Símbolo	Descripción
	Suceso intermedio: Suceso que ocurre debido a que una o más causas antecedentes ha ocurrido, actuando a través de puertas lógicas.
	Puerta AND: Puerta empleada para representar que el suceso en la salida sólo tiene lugar si todos los sucesos de entrada ocurren.
	Puerta OR: Puerta empleada para representar que el suceso en la salida tiene lugar si sólo uno de los sucesos de entrada ocurre.
	Suceso básico: Suceso que no requiere mayor desarrollo al haberse alcanzado el grado de detalle apropiado.
	Transferencia: Un triángulo significa que el árbol se continúa desarrollando en otro punto, identificado con el mismo triángulo.
	Evento no desarrollado: Un diamante se emplea para representar un suceso que no se desarrolla más ya sea porque no tiene suficientes consecuencias o porque no se dispone de información.

Nota: Adaptado de (Electronica virtual, 2019)

Figura 10

Árbol lógico de fallas (FTA) para maquina ECO SHEAR.



b. Analizar las causas posibles de la falla presentada en la base de sujeción de la Eco Shear.

Para entender un poco más la falla presentada en la base de sujeción de la máquina, se debe decir que los tornillos encargados de la sujeción en la base de la Eco Shear, empezaron a fallar desde que se modifica la mordaza de la máquina, esta modificación aumentó considerablemente el peso de la mordaza haciéndola más robusta para cumplir con el tiempo específico de funcionamiento, la modificación se realizó por fallas presentadas en la herramienta de corte ubicada en la mordaza, que generaba paradas de máquina para retirar esta herramienta y piezas de desgaste, perdiendo valioso tiempo en la productividad de la empresa. Al empezar a fallar la base de sujeción aparentemente por la modificación de la mordaza, es necesario determinar y conocer de manera un poco más fundamentada las situaciones que llevan a la fractura de los pernos de manera frecuente, llevando a la parada de máquina y por ende de producción.

c. Validar los datos encontrados en el análisis de falla.

Para no entrar en demasiados detalles, es claro que la falla de los tornillos se presenta por el cambio que se hizo en la mordaza, pero, como ya se mencionó anteriormente lo que se pretende es conocer realmente cual o cuales son las situaciones por la que los pernos fallan.

Siendo así, es necesario respaldar lo validado anteriormente para poder generar un diagnóstico un poco más certero de la situación actual. A continuación se expondrá el desarrollo de la siguiente fase que se considera fundamental para la finalización y ejecución de este trabajo.

4.3. Fase III.: Evaluar las propiedades mecánicas del material de sujeción, teniendo en cuenta los esfuerzos producidos en el momento de operación de la Eco Shear.

Teniendo en cuenta las continuas fallas presentadas en la base de la Eco Shear, se hace necesario conocer las propiedades mecánicas y esfuerzos generados, en el material de sujeción por medio de las siguientes actividades:

a. Realizar pruebas de espectrometría de arco y chispa, dureza, metalografía, tensión e impacto en los laboratorios de la Universidad Francisco de Pula Santander Ocaña.

Para esta actividad fue necesario que la empresa Duramos nos enviara algunas de las muestras ya fracturadas, También que nos suministraran la referencia de los pernos que actualmente se están utilizando, la cual es 3/4" x 3 1/2pulg o 3/4"x4 pulg Grado 8.8

Ya con esta información, se procede a la compra de algunas muestras necesarias para el desarrollo de los laboratorios ya mencionados anteriormente.

Con la finalidad de no confundir y poder diferenciar cada una de las muestras (pernos) de una manera rápida y sencilla, decidimos designarle a cada uno de los pernos una identificación.

Tabla 7

Designación interna para muestras de pernos a utilizar.

Designación	Condiciones	Sección	Dimensiones	Grado	Observaciones.
N1	Nuevo	Completo	20 "x 3 ½" (Long. Aprox)		Se compra este perno con el fin de garantizar la longitud requerida en el ensayo de tensión.
N2	Nuevo	Completo	3/4"x3 1/2"	8.8	
F1	Fracturado	Cuello con cabeza	3/4"x1.5" (Long. Aprox)	8.8	
F2	Fracturado	Fractura en 2 trozos	3/4"x3 1/2"	8.8	

Nota: Las connotaciones son netamente generadas con el fin de estructurar una mejor identificación entre cada una de las muestras de pernos utilizados.

Habiendo desarrollado la siguiente nomenclatura expondremos algunas imágenes con el fin de representar y esclarecer la designación utilizada en la tabla anterior.

Figura 11

Partes de un perno



Nota: Adaptado de (Liceos universidad de santiago.)

En las figuras 12 y 13 se puede observar a los pernos N1 y N2 y se puede evidenciar la diferencia de dimensiones, esto con el fin de realizar diferentes pruebas de laboratorio para obtener datos e información que sean de ayuda para el desarrollo de esta tesis.

Figura 12 Representación de perno N1 y N2

Representación de perno N1 y N2.



Figura 13 Perno N2

Perno N2



En las figuras 14 y 15 se muestran 2 pernos de sujeción de la maquina Eco Shear, extraídos por su rotura, a los cuales también se les realizara las pruebas pertinentes, que nos muestren sus nuevas condiciones después de la rotura.

Figura 14*Perno F2***Figura 15***Perno F1*

Ensayo de dureza. Teniendo en cuenta que vamos a trabajar con varias muestras y lo que buscamos es conocer las propiedades de los pernos que actualmente se utiliza en la empresa DURAMOS SAS. Sabiendo que los materiales cuando son sometidos a esfuerzos o situaciones de trabajo, algunas de las propiedades mecánicas varían, se le hace ensayo de dureza a las muestras ya fracturadas como aquellas que aún no han sido sometidas a situaciones de trabajo

(F1, F2, N1 y N2), esto con el fin de hacernos a la idea de las propiedades mecánicas y si hay variación entre las muestras, como se podría avanzar.

Podríamos resumir de la siguiente manera cualquier procedimiento es el que deseamos analizar muestras: Preparación de la muestra, equipo de medición y procedimiento de medición. A continuación se relacionarán algunas imágenes alusivas para el ensayo de dureza en sí.

Figura 16

Corte/preparación para muestras ensayo dureza.

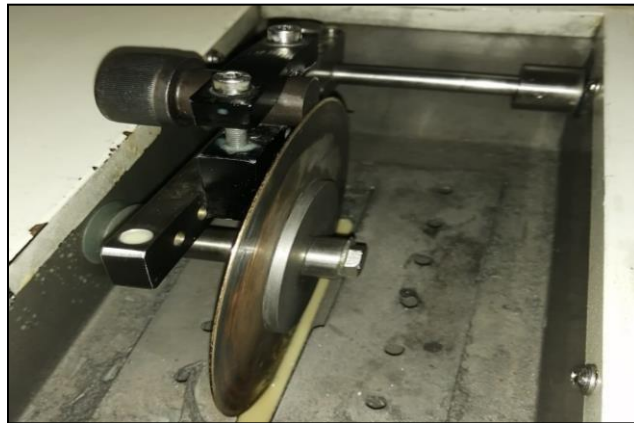


Figura 17

Seccionamiento de muestras, ensayo de dureza.

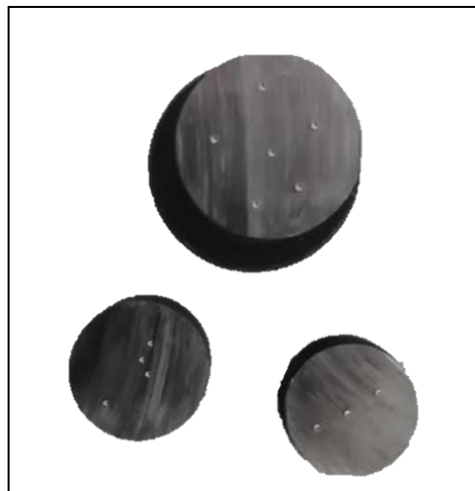


Figura 18

Ejecución de ensayo para una de las muestras.

**Figura 19**

Muestras después de ensayo de dureza.



Tras la preparación de las muestras y ejecución de la prueba para cada una de las muestras con el durómetro, se obtienen los siguientes valores, los cuales están relacionados en las tablas siguientes.

Tabla 8*Valores de dureza para pernos antes de ser instalados (pernos N2)*

Cuello	Rosca	Unión
41.3	41.7	41.2
42.1	41.5	42.9
42.7	39.6	41.7
42.8	38.9	39.9
41.9	42.8	43.4
42.9	39.9	39.0
42.2	40.7	41.3

Tabla 9*Valores de dureza para perno N1.*

Dureza HRC (precarga 150)		
Cuello	Rosca	Unión
22.0	23.4	23.4
23.3	25.2	26.1
24.7	25.7	24.4
22.2	25.8	23.9
23.8	21.6	25.8
25.5	24.1	25.4
23.5	24.3	24.8

Tabla 10

Valor de dureza para muestras fracturadas en la maquina Eco Shear.

F1	F2	
HRC	Rosca; HRC	Cuerpo; HRC
33.8	33.8	26.8
34.4	36.0	27.5
33.4	37.1	28.2
36.1	36.4	35.5
33.0	36.8	21.6
34.1	36.0	21.6

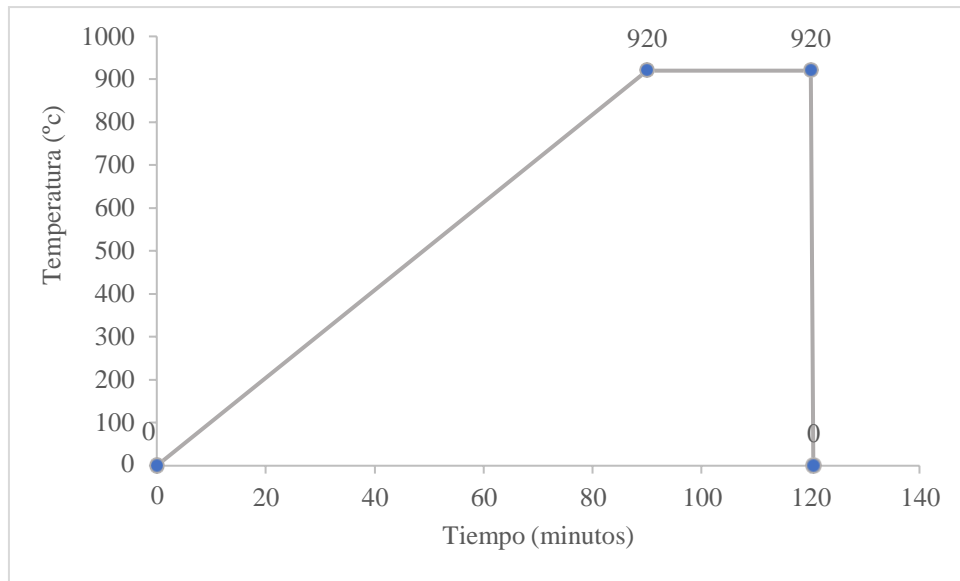
Como se puede evidenciar, efectivamente los valores de la dureza en los pernos ya usados son menores y teniendo en cuenta que el valor de la dureza para el perno N1 presenta valores bastante alejado del perno N2, es necesario realizar un tratamiento térmico con el fin de mejorar los valores de dureza. Esta decisión se toma durante el proyecto en curso, donde lo que se busca, es garantizar que las propiedades del perno N1 tenga características similares a las del perno N2.

Quizá está demás mencionar, pero para que no queden dudas, aclararemos lo siguiente: Se compra un perno con dimensiones mayores a los que se usan en la empresa DURAMOS SAS, con el fin de poder ejecutar el ensayo de tensión, ya que las longitudes entre las mordazas superan en gran proporción a las longitudes originales de los pernos que se instalan en la Eco Shear.

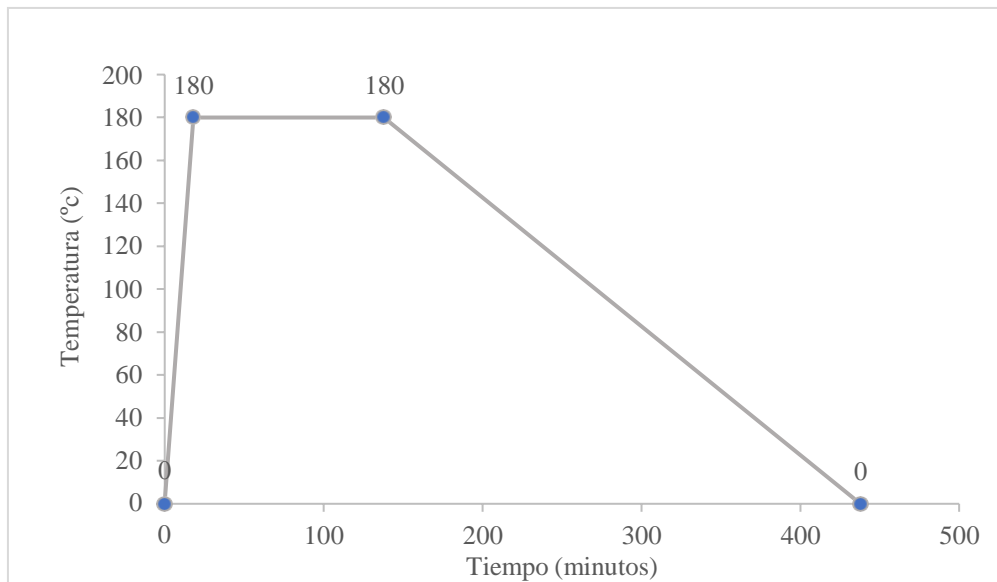
A continuación, se relaciona las gráficas relacionadas al tratamiento térmico.

Figura 20

Curva de templado para perno N1.

**Figura 21**

Curva de revenido perno N1.



Posterior a las técnicas para mejorar algunas de las propiedades se realiza la preparación del perno N1 para realizar prueba de tensión y verificar que tanto se pudo mejorar las condiciones mecánicas de esta pieza.

Figura 22

Preparación de N1 para realizar Prueba de tensión.



Figura 23

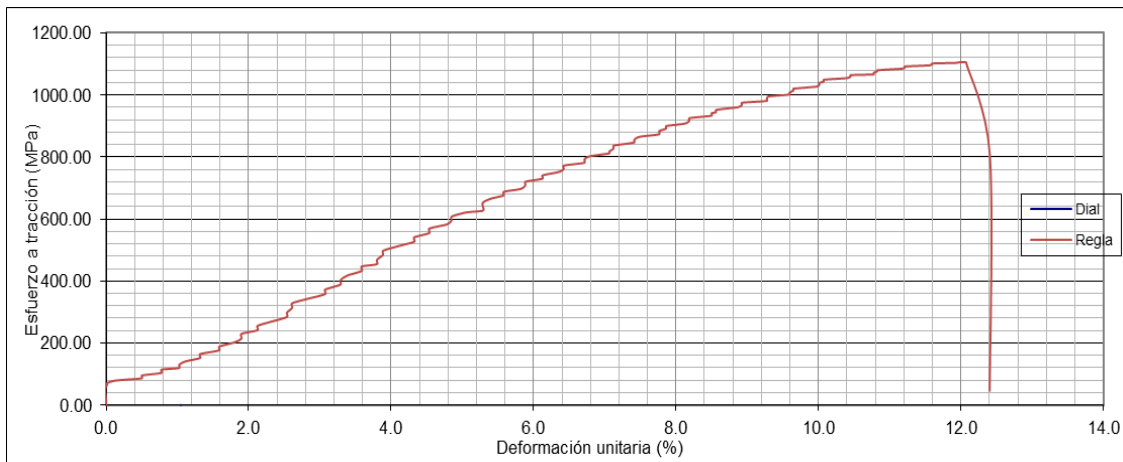
Ensayo de tensión en perno N1, tras tratamiento térmico.



Después de realizar la prueba de tensión en el laboratorio de la Universidad Francisco de Paula Santander para conocer las características del material, se obtiene como resultado, los datos representados en la figura 19, donde se puede apreciar que la resistencia a la rotura supera los 1000 Mpa.

Figura 24.

Ensayo de tensión en perno N1 con tratamiento térmico.



Teniendo en cuenta que lo que se desea es recolectar u obtener la mayor información sobre las propiedades y composición de los pernos utilizados se llevan a cabo dos laboratorios importantes que son:

Ensayo de impacto (Método Charpy). Es uno de los métodos más utilizados a nivel industrial. A continuación, se reflejarán las pruebas que se llevaron a cabo para dos muestras. Una muestra es la que corresponde al perno N1 luego del proceso del tratamiento térmico y la otra muestra corresponde a un acero un perno sin tratamiento térmico.

Figura 25.

Muestras con tratamiento térmico para ensayo de impacto 1.

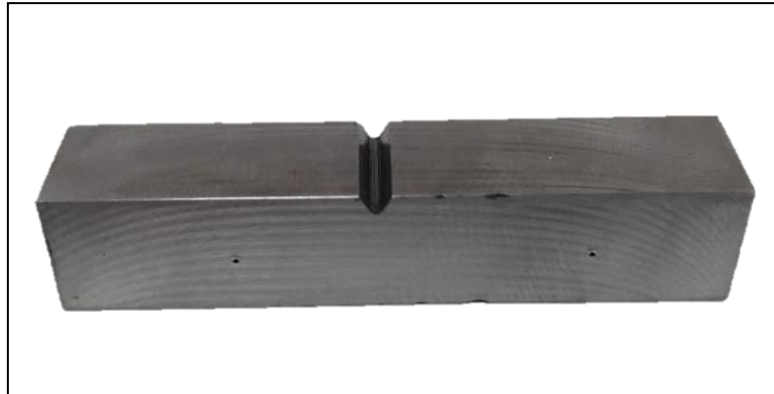
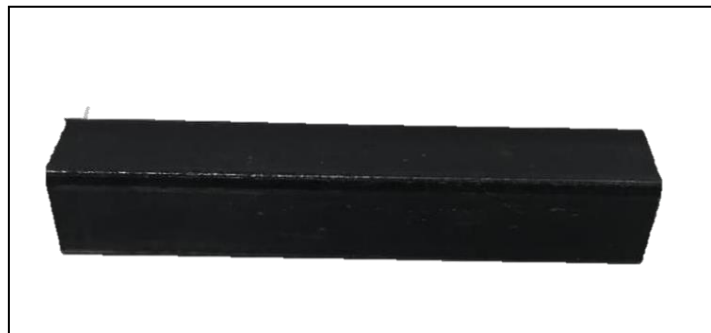


Figura 26.

Muestra sin tratamiento térmico para ensayo de impacto 2.



Como es de suponerse los materiales que presentan una mayor dureza tenderán a ser más frágiles, esta situación queda comprobada con la siguiente representación para los valores registrados para la muestra con tratamiento térmico.

En las figuras 27 y 28 se puede evidenciar que por su fragilidad solamente fue necesario 10 Jules para romper la muestra, mientras que por su ductilidad la muestra de acero sin tratamiento térmico fue necesario 180 Jules para para superar su punto máximo de ductilidad.

Figura 27.

Valor registrado para acero con tratamiento térmico. (10 JULES)

**Figura 28.**

Valor registrado para acero sin tratamiento térmico. (180 JULES)



Como se puede apreciar en las figuras 29,30,31 y 32, la ductilidad se ve presente en la forma de rotura de las muestras, la muestra con tratamiento térmico al recibir el impacto de la prueba se rompe de forma simétrica demostrando para este caso, que el aumento de dureza es proporcional al aumento de fragilidad; mientras que la muestra sin tratamiento, al recibir el

impacto de la prueba se empieza a deformar hasta romperse, en otras palabras, su tenacidad es mayor a la muestra con tratamiento térmico.

Figura 29. Resultado prueba de impacto muestra con tratamiento térmico 1.

Resultado prueba de impacto muestra con tratamiento térmico 1.



Figura 30. Resultado prueba de impacto muestra con tratamiento térmico 2.

Resultado prueba de impacto muestra con tratamiento térmico 2.



Figura 31.

Resultado prueba de impacto muestra sin tratamiento térmico 1.



Figura 32.

Resultado prueba de impacto muestra sin tratamiento térmico 2.



Con este resultado se puede recomendar la revisión del tipo de tratamiento térmico realizado a los pernos de sujeción de la base de la Eco Shear y revisar la posibilidad de cambio a otros que posean más dureza y tenacidad con menor fragilidad de acuerdo a las condiciones de uso.

Ensayo de metalografía. Este ensayo es importante para poder conocer la estructura y composición de los materiales. El ensayo se lleva a cabo en las instalaciones de la universidad francisco de paula Santander. Llevando a cabo las siguientes actividades:

Preparación equipo de medición. Se prepara la muestra para la molienda y pulido, de esta forma facilitar la observación bajo el microscopio. Por medio de compresión es la mejor forma para la conservación y preservación de los bordes de la muestra, para esto se utiliza la prensa de montaje de compresión. Se puede observar en la figura 26.

Figura 33.

Preparación de equipo7 nuestra para ensayo de metalografía.



Preparación de la muestra. Análisis de la muestra/ resultados para definir claramente la estructura del acero.

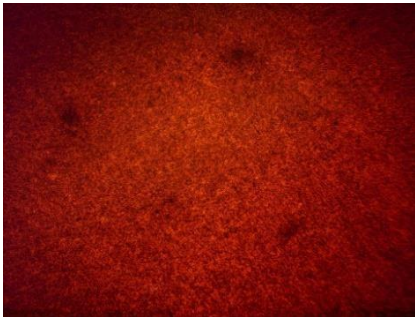
Figura 34.

Preparación de muestra para ensayo de metalografía.

**Figura 35.**

Metalografía de la microestructura del perno N1: a) 50X, b) 100X, c) 400x y d) 600X.

a)



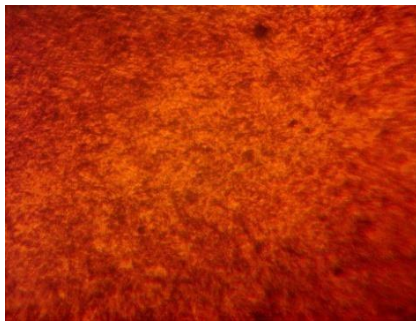
b)



c)



d)



En la figura 35 se puede observar la granulación específica de los aceros, en este caso se puede apreciar que los granos están juntos, incluso con el aumento a 600X se puede apreciar que la distancia entre los granos es muy pequeña, esto se debe al tratamiento térmico realizado, que hizo que la pieza ganara dureza.

En la tabla 11 se pueden observar cómo está compuesto químicamente el acero al carbono AISI 1045, mientras que la tabla 12 muestra la composición del acero del perno N2, es decir el perno sin tratamiento que es empleado para la sujeción de la Eco Shear en la empresa Duramos S.A.

Tabla 11

Composición química del acero AISI 1045.

Acero al carbono AISI 1045									
Composición química (wt%)									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
0.449	0.19	0.56	0.010	0.004	0.15	0.02	0.04	0.0291	0.01
Cu	Ti	V	W	Pb	Sn	Mg	B	N	Fe
0.04	0.0017	0.00	<0.01	<0.002	0.002	<0.005	<0.0005	<0.001	98.50

Tabla 12

Composición química de una muestra del perno N1.

Muestra del perno N1									
Composición química (wt%)									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
0.470	0.25	0.53	0.007	0.007	0.035	0.004	0.03	0.013	0.006
Cu	Ti	V	W	Pb	Sn	Mg	B	N	Fe
0.122	0.0011	0.00	<0.01	0.0037	0.005	<0.005	<0.0001	<0.001	98.50

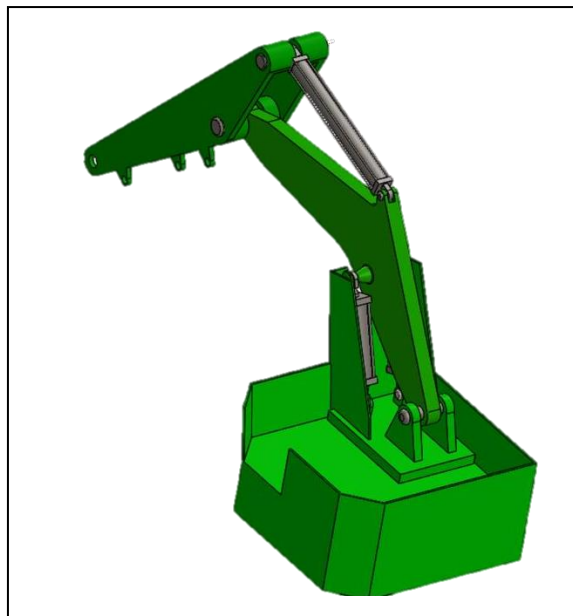
La composición química para la muestra del perno N1 se obtuvo por medio de espectrometría de emisión de arco y chispa, realizada en los laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). Al comparar estos datos se observa que la muestra N1 obtiene en los valores principales de C, Cr, Fe, Mg y Si, son muy cercanos a las propiedades químicas del acero AISI 1045.

b. Simular el proceso de esfuerzo en el software SolidWorks y obtener un análisis de Fuerzas.

Para comprender un poco los esfuerzos presentes en la base de sujeción de la Eco Shear, se hace necesario simular la máquina por medio del software Solidworks, para obtener y entender las fuerzas que actúan en la máquina, empezando por el brazo que sostiene la mordaza, hasta llegar a la base de sujeción.

Figura 36.

Diseño de la Eco Shear.



Como se muestra en la figura 36 y 37, para dar inicio se realiza el diseño de la máquina para poder analizarla y obtener datos por medio del software Solidworks.

Figura 37.

Diseño de la Eco Shear, vista inferior.

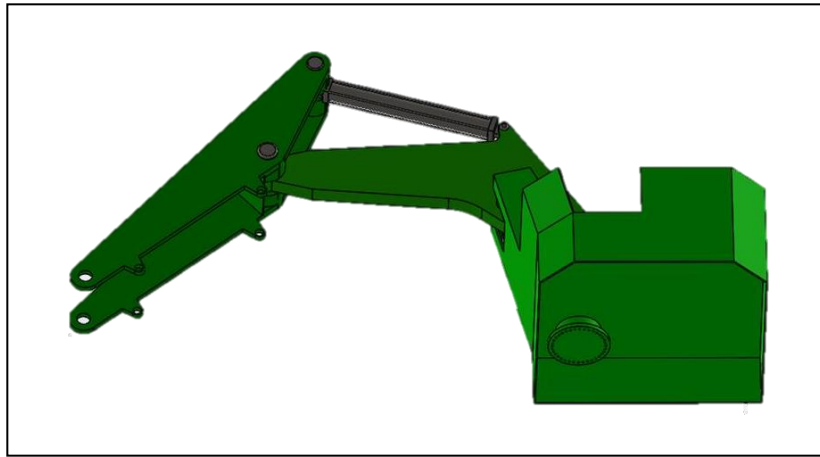
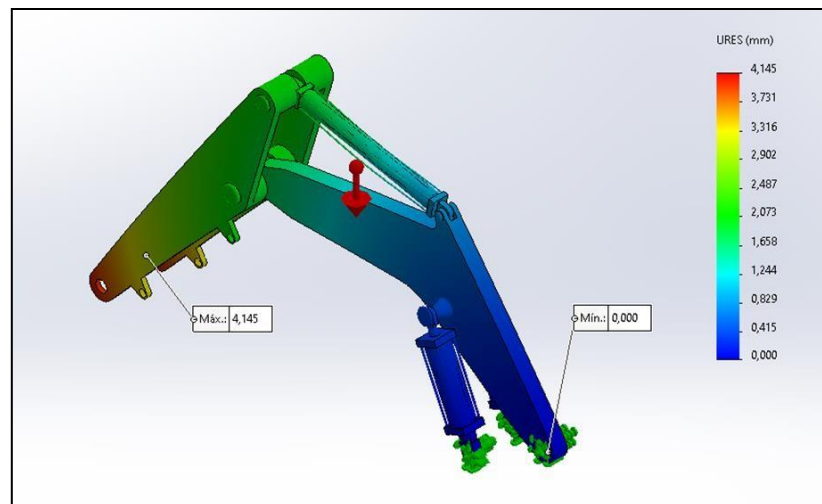


Figura 38.

Esfuerzos en el brazo de la Eco Shear con carga de la mordaza.

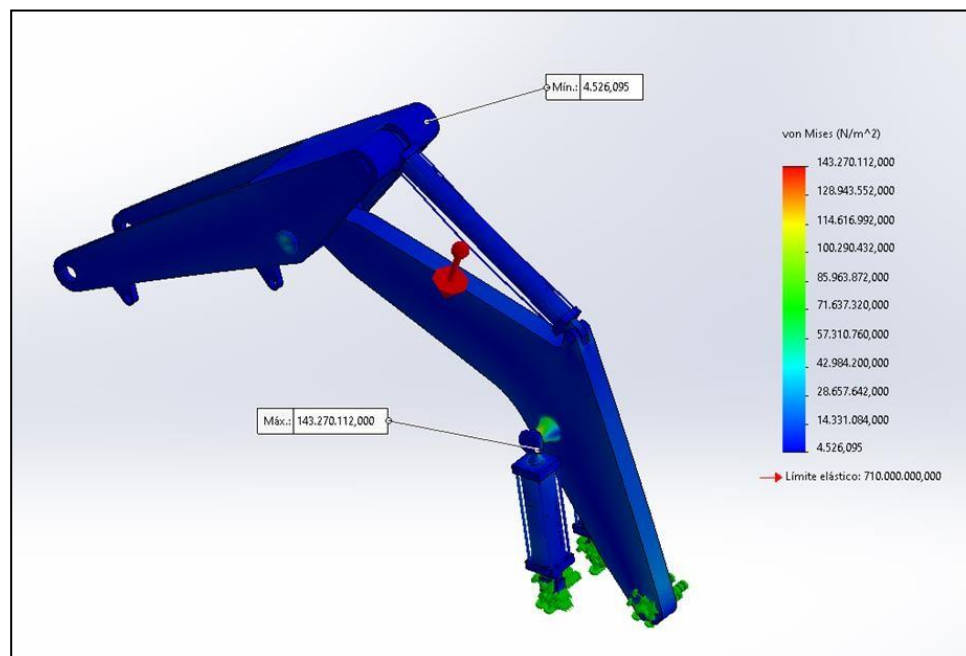


Para observar la concentración de esfuerzos en el brazo de la Eco Shear, se hace simulación con carga de 6200 Kg que es el actual peso de la mordaza, este peso se divide en 2 ya que el brazo cuenta con 2 perfiles que sujetan a la mordaza.

En la figura 39 se puede apreciar que los máximos esfuerzos generados por la carga, se presentan en los pasadores de sujeción de los cilindros que permiten el movimiento en la parte inferior del brazo de la máquina.

Figura 39.

Esfuerzos en el brazo de la Eco Shear con carga de la mordaza.



En la figura 40 podemos observar que no hay presencia de desplazamientos generados por la carga.

Se puede evidenciar en la figura 41 que los mayores esfuerzos se presentan en el eje Y, ya que el peso de la mordaza hace que los esfuerzos se trasladen por todo el cuerpo del brazo presentándose en los pasadores de sujeción de la máquina.

En la figura 42 se observa la concentración de esfuerzos que se ejercen en los pernos de sujeción de la Eco Shear, esto confirma que la rotura de los pernos es por la alta concentración de fuerzas en ese punto.

En la figura 43 se puede ver que el factor de seguridad para este caso, está entre las condiciones normales de uso de acuerdo a las cargas repartidas en el sistema.

Figura 42.

Vista superior de esfuerzos en la cabina con carga de la mordaza.

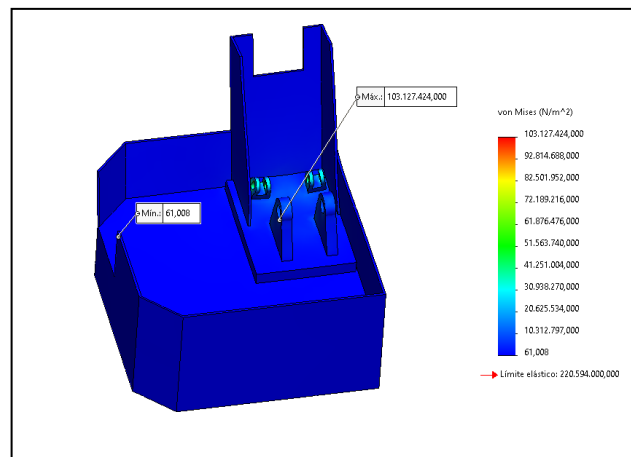


Figura 43.

Factor de seguridad presente en la cabina.

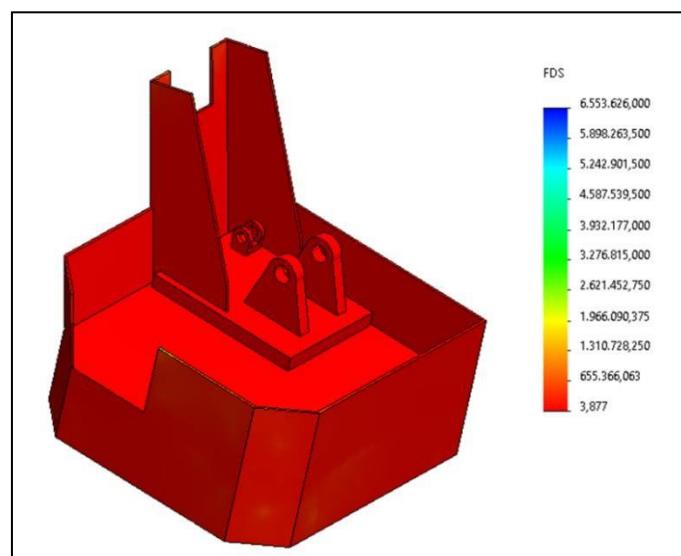
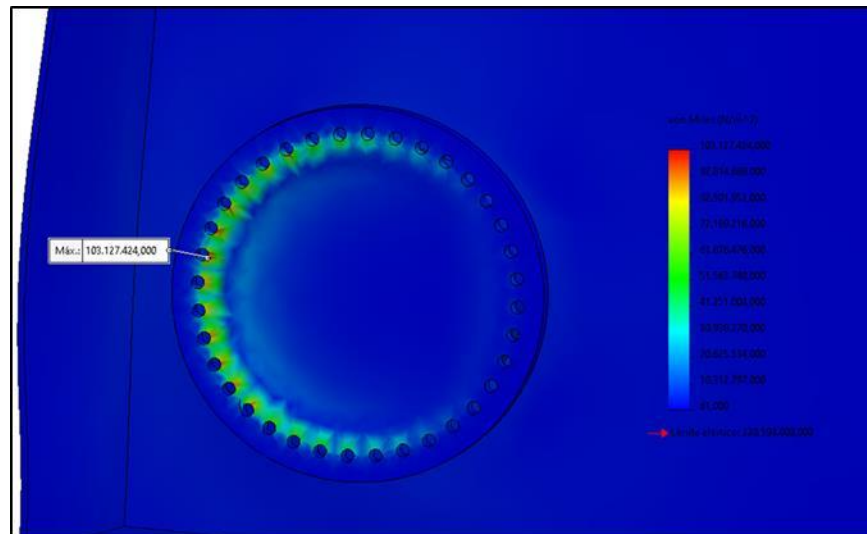
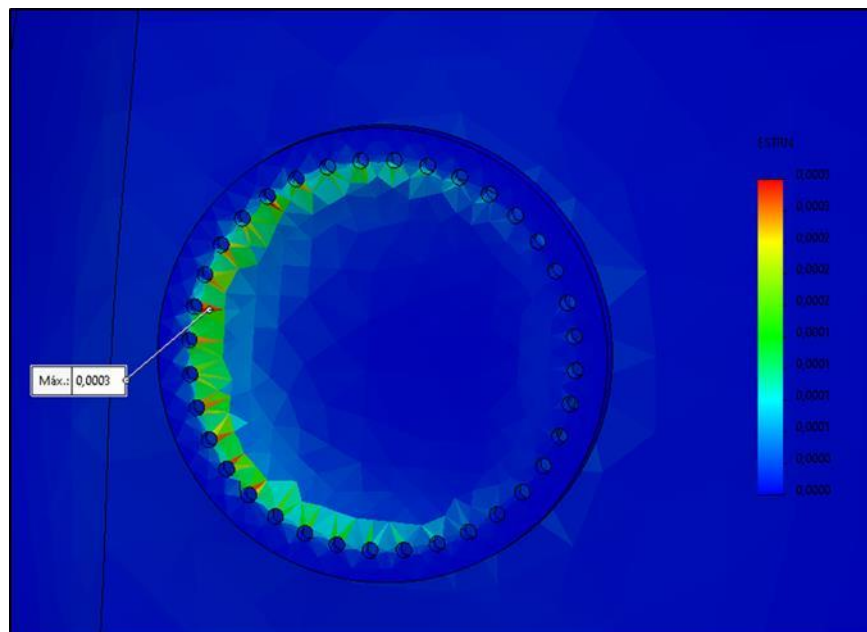


Figura 44.

Vista inferior de esfuerzos en la cabina con carga de la mordaza.

**Figura 45.**

Vista inferior de esfuerzos en la cabina con carga de la mordaza 1



En la figura 45 se puede apreciar que el color rojo es el punto donde los esfuerzos están en su máxima concentración. Se puede observar que más o menos la mitad de los pernos se ven

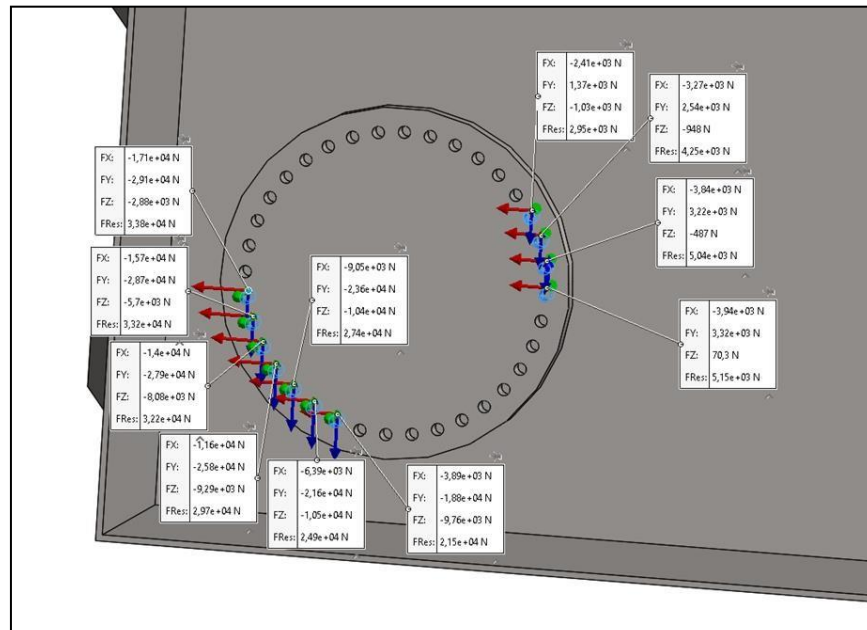
afectados por la carga, proporcionando el efecto palanca que se presenta en ese punto, debido a la carga que se ejerce en el brazo por el peso de la mordaza, que se va trasladando por toda la máquina.

Con la figura 46 podemos considerar la idea de poner un contrapeso que nivele la carga generada por el aumento de peso de la mordaza, para contrarrestar la tensión en los pernos ubicados en la zona posterior de la cabina.

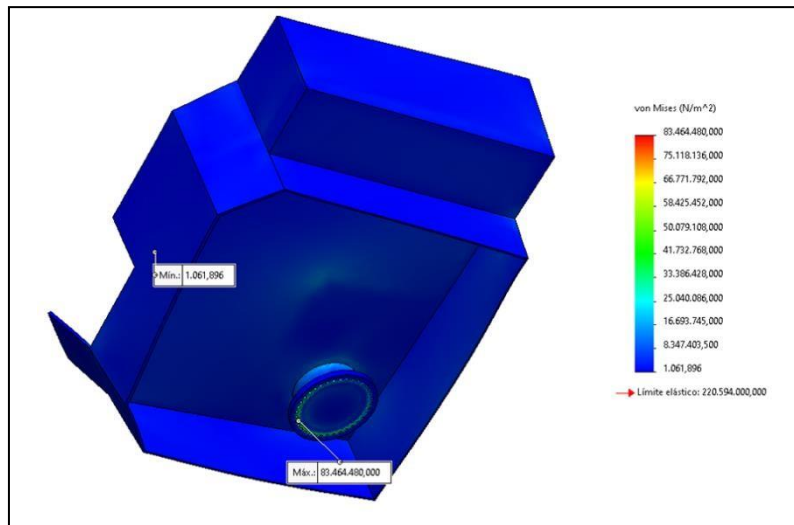
Para efectuar la nivelación de fuerzas se considera que el contrapeso tenga un peso de 2000 Kg.

Figura 46.

Vista de esfuerzos en los pernos de sujeción.



En la figura 47 se anexa el contrapeso de 2000 Kg y se puede ver una mejora del 19%, evidenciando que el contrapeso es una buena opción para la reducción de fuerzas que se presentan en los pernos

Figura 47.*Contrapeso 2 toneladas*

Con la figura 48 se puede apreciar que el desplazamiento en la base de sujeción es nulo, lo que nos permite afirmar que las cargas están niveladas. Es decir, el peso de la mordaza es contrarrestado con el contrapeso.

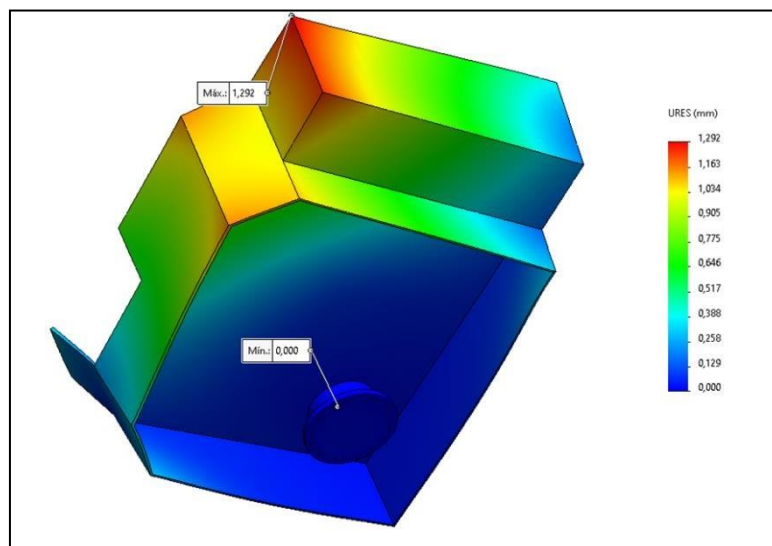
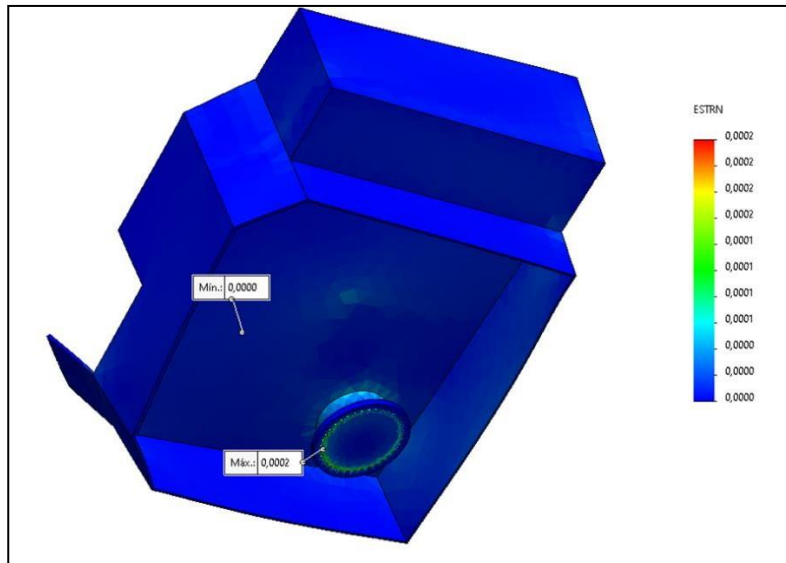
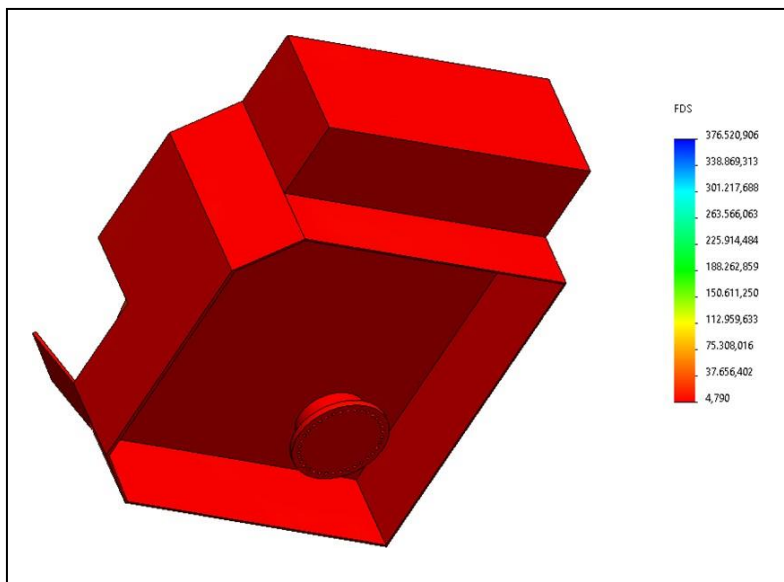
Figura 48.*Desplazamiento en la base de sujeción.*

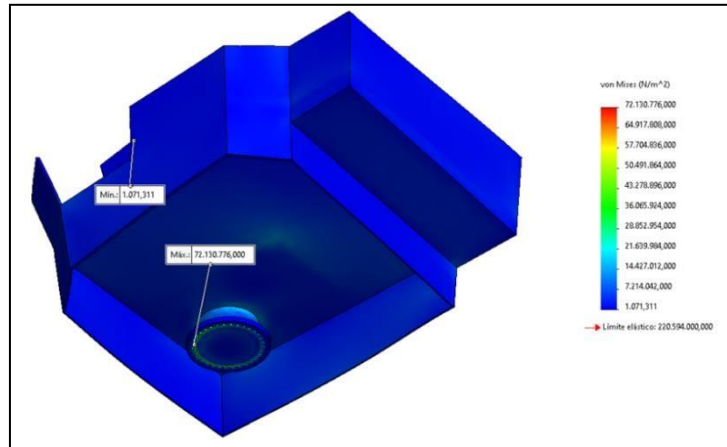
Figura 49.*Factor de seguridad con contrapeso.***Figura 50.***Factor de seguridad.*

Debido a la mejora con el contrapeso se decide hacer un cambio en el diámetro de los pernos, pasar de $\frac{3}{4}$ a $\frac{7}{8}$, con ayuda del software se llega a la conclusión que, para este caso, se debe tener la cantidad de 33 pernos, es decir, la reducción de 3 pernos para que el diseño quede

balanceado y permita la reducción de esfuerzos. Con esta modificación acompañada del contrapeso se encuentra una reducción de esfuerzos 30%.

Figura 51.

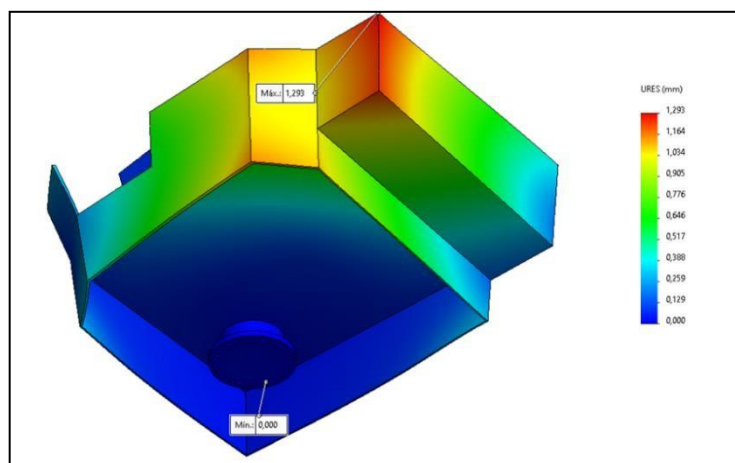
Contrapeso y reducción de pernos a 33 (7/8 pulg)



Se observa que no hay desplazamiento en la base de sujeción.

Figura 52.

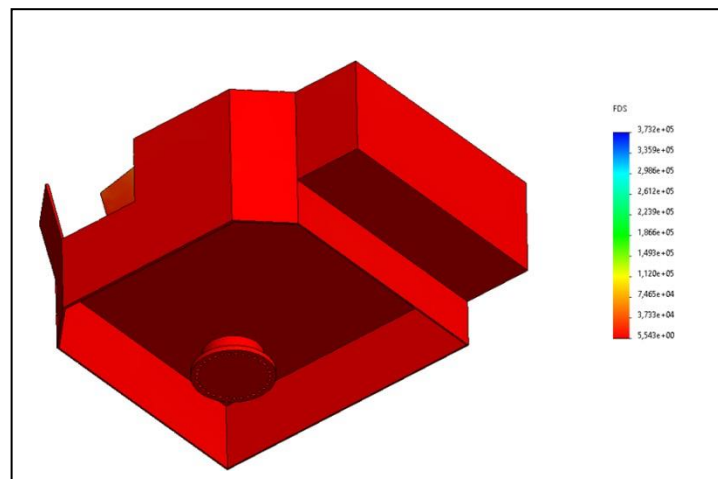
Desplazamiento en la base de sujeción.



En esta figura 53 podemos ver que el factor de seguridad se incrementa debido al contrapeso y el aumento de diámetro en los pernos.

Figura 53.

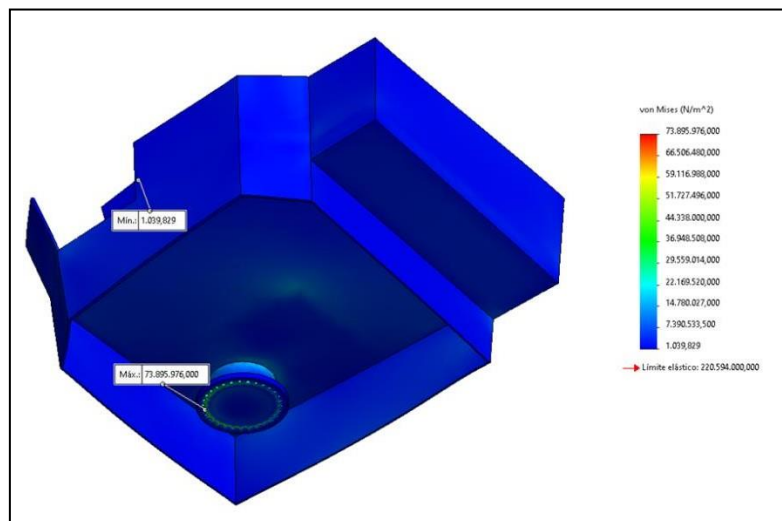
Factor de seguridad con contrapeso y pernos de 7/8"



Para un mejor análisis se realiza la simulación con reducción de pernos a 30 unidades con un diámetro de 1", en la figura 46 se puede evidenciar un leve aumento de fuerzas de 1.71%, respecto al de 7/8" pero una disminución del 28.34% respecto al diseño original.

Figura 54

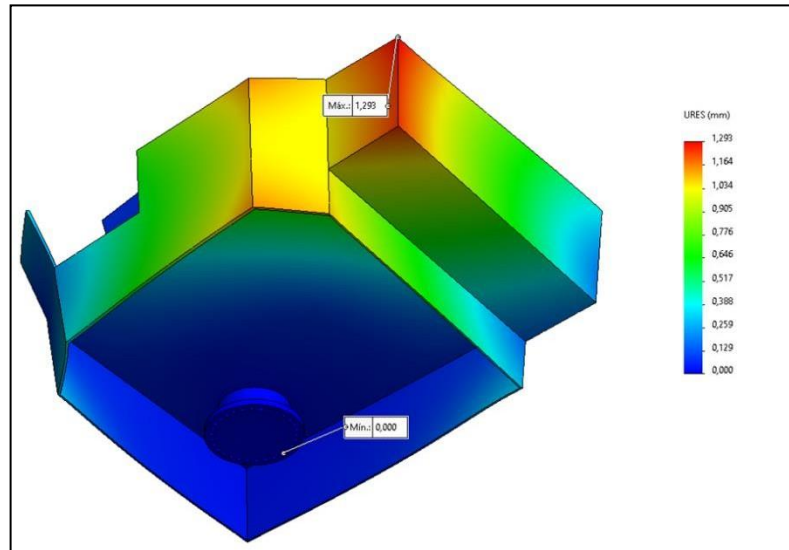
Contrapeso y reducción de pernos a 30 de (1 pulg)



En la figura 55 se sigue presentando ausencia de desplazamiento.

Figura 55

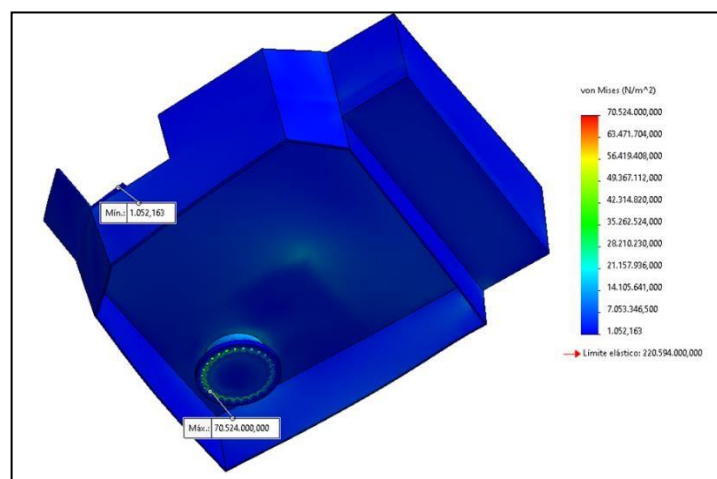
Desplazamiento en la base de sujeción.



Para un mejor análisis se realiza la simulación con reducción de pernos a 27 unidades con un diámetro de 1 1/8", en la figura 56 se puede evidenciar un leve aumento de fuerzas de 31.61% respecto al diseño original.

Figura 56.

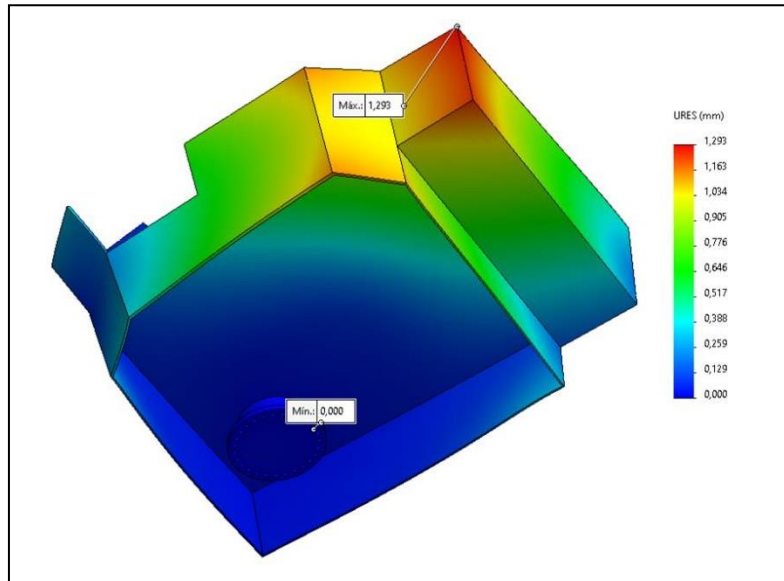
Contrapeso y reducción de pernos a 27 de (1 1/8 pulg)



En la figura 57 se sigue presentando ausencia de desplazamiento.

Figura 57.

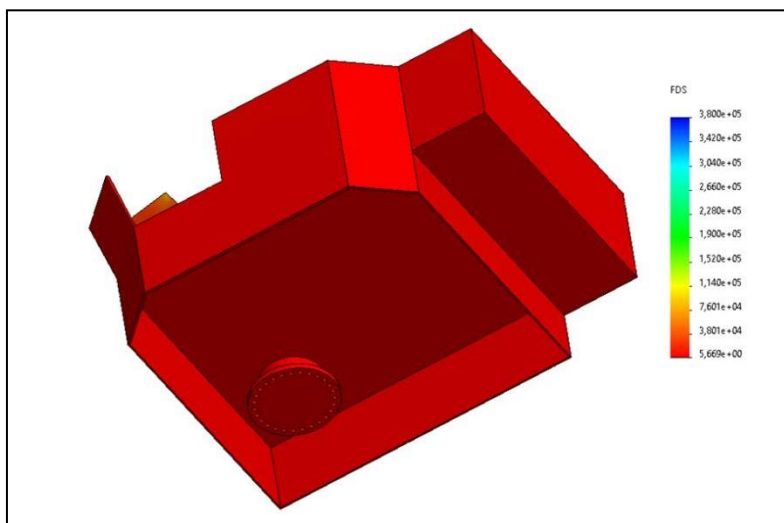
Desplazamiento en la base de sujeción.



En la figura 58 se observa que el factor de seguridad se mantiene estable comparándolo con el FS de los pernos de 7/8", pero es mayor al del diseño original, debido al contrapeso y el aumento de diámetro en los pernos.

Figura 58.

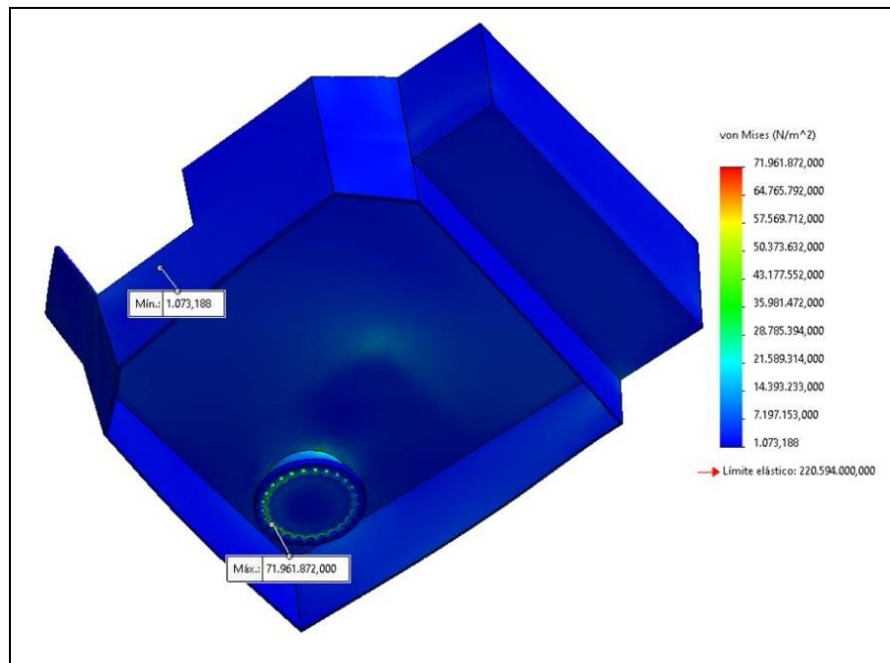
Factor de seguridad con contrapeso y pernos de 1 1/8"



Teniendo en cuenta a los anteriores análisis se decide concluir con la cantidad de 25 pernos, es decir, la reducción de 11 pernos en comparación con el diseño que funciona actualmente en la empresa, esto con el fin que el diseño quede balanceado y permita la reducción de esfuerzos. Con esta modificación acompañada del contrapeso se encuentra que es estable comparándola con la anterior de 1 1/8, arrojando un valor reducido de esfuerzos de 30.22%.

Figura 59.

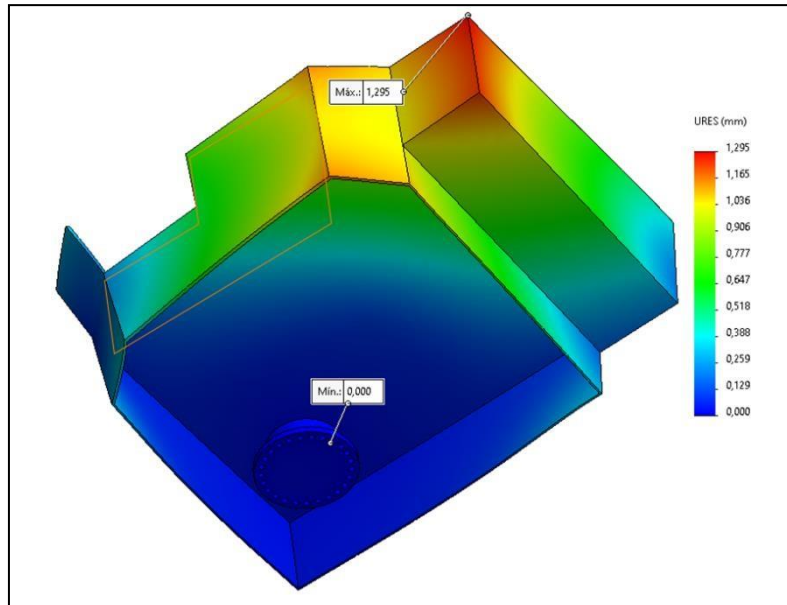
Contrapeso y reducción de pernos a 25 (1 1/4 pulg)



En la figura 60 se sigue presentando ausencia de desplazamiento.

Figura 60

Desplazamiento en la base de sujeción.



En la figura 61 se observa que el factor de seguridad definitivamente es estable comparándolo con el FS de los pernos de 7/8", pero es mayor al del diseño original, debido al contrapeso y el aumento de diámetro en los pernos.

Figura 61.

Factor de seguridad con contrapeso y pernos de 1 1/4"

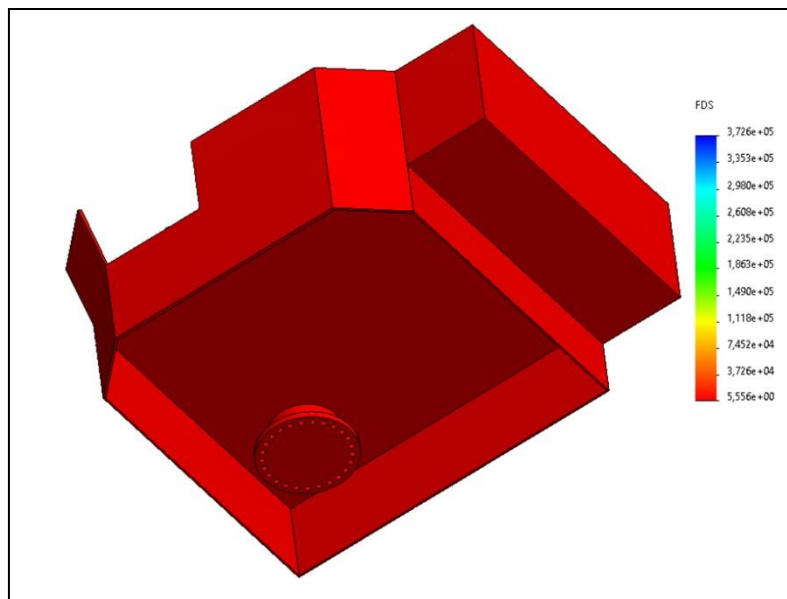


Tabla 13

Relación de esfuerzos, porcentajes y factores de seguridad de los diferentes sistemas con contrapeso y cambio de pernos

	Contrapeso					
Diámetros	3/4	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4
Nº de Pernos	36	36	33	30	27	25
Esfuerzos n/m ²	103127424	83464480	72130776	73895976	70524000	71961872
Porcentaje		19,066649	30,0566491	28,3449803	31,6146983	30,220431
Fs elástico	2.1	2.6	3.1	3	3.1	3.1
Fs rotura	3.9	4.8	5.5	5.4	5.7	5.6

Con esta tabla se puede ver una reducción considerable de esfuerzos en las diferentes simulaciones respecto al diseño original de la máquina, también se observa que de acuerdo al incremento de diámetro de los pernos de sujeción los factores de seguridad aumentaron, esto quiere decir que es posible la modificación para extender la vida útil de los pernos y aumentar las horas de producción de la Eco Shear sin presentar falla en este punto

4.4. Fase IV. Elaboración del informe donde se presenta una alternativa de solución y resultados.

Presentar la alternativa que pueda solucionar las condiciones de trabajo, ajustadas al precio, adquisición o fabricación.

a. Mostrar una alternativa de solución de acuerdo al análisis realizado.

Como alternativa de solución para evitar la rotura de los pernos y ampliar las horas de trabajo

de la Eco Shear, se realiza simulaciones con contrapeso para nivelar las cargas y fuerzas aumentadas a causa de la modificación de la mordaza, además de recomendar el posible cambio, a pernos más robustos con menor cantidad de estos en la base de sujeción. Para esto se realiza simulación con el software Solidworks que nos muestra que se reduce de manera considerable las cargas de fuerza, simulando estas modificaciones con diámetros de $1\frac{1}{4}$ " con 25 pernos, $\frac{7}{8}$ " con 33 pernos, 1" con 30 pernos y $1\frac{1}{8}$ " con 27 pernos respectivamente, recordemos que el diseño original de la maquina está con diámetro de $\frac{3}{4}$ con 36 pernos.

b. Redacción del informe.

La empresa Duramos S.A pionera en la recolección y transformación de llantas OTR, adquiere la primera máquina Eco Shear creada para el corte de estas imponentes llantas, por su tipo de manejo y siendo la única maquina en Colombia empieza a presentar fallas en su herramienta de corte ubicada en la mordaza de la máquina, debido a las constantes paradas para la reparación y cambio de herramienta de corte, deciden modificar la mordaza para solucionar el problema de falla presentado en esta.

Debido a esta modificación se presenta por primera vez falla en el soporte de sujeción de la máquina, específicamente en los pernos que hacen la sujeción entre la base de concreto y la base de la máquina. Esta falla se sigue presentando generando paradas de operación cada 20 días para el cambio de los pernos rotos, para el cambio de los pernos son necesarios 3 días, desde el anclaje de la máquina, el cambio de los pernos y el inicio de operación. Este tiempo genera retraso en la productividad de la planta recicladora de llantas OTR.

Es por esto que se realiza esta tesis para aportar solución a la problemática presentada en la empresa Duramos S.A. Teniendo en cuenta donde se presenta la falla, se procede a recopilar

información de la planta para entender y darle una dirección a la investigación. De esta forma se realizan pruebas de laboratorio de espectrometría de arco y chispa, dureza, metalografía, tensión e impacto en los laboratorios de la Universidad Francisco de Pula Santander Ocaña, al material recolectado en visita a la planta.

Después de analizar los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio se procede por medio del software Solidworks a replicar el diseño y simular las fuerzas que se presentan en la máquina, de esta forma se obtienen las tensiones que afectan a los pernos en la base de sujeción de la máquina.

Para finalizar se entiende que lo mencionado anteriormente en el desarrollo de esta investigación, son recomendaciones y propuestas hechas bajo los resultados arrojados con la ayuda de laboratorios y simulación de la máquina por medio del software solidworks, es pertinente aclarar que hasta el momento los resultados arrojados por el software no se han podido corroborar directamente en la máquina, ya que la maquina aún presenta periodo de garantía y no se pueden realizar modificaciones sin autorización de los constructores de la Eco Shear, ya que al hacerlo se presenta la perdida de la garantía, perjudicando directamente a la empresa Duramos S.A.

Es preciso decir, que las propuestas planteadas se han estudiado y analizado por el personal ejecutivo de la empresa Duramos S.A y que de momento, la propuesta que tiene más aceptación es la de anexar contrapeso en la máquina, ya que los resultados arrojados son favorables y se ajustan a la producción de la empresa, sin afectar considerablemente el diseño de la máquina, ni el sector económico de Duramos S.A, por el contrario se mejoraría de forma considerable la productividad, aumentado las horas de trabajo de la maquina sin sufrir falla en la base de sujeción de la Eco Shear.

Conclusiones

En base a lo evidenciado y aprendiendo durante todo este documento daremos algunas conclusiones netamente personales.

- Los equipos en fase de prueba (para el caso de todos los equipos de la empresa duramos SAS) están muy susceptibles a eventualidad de fallos, la importancia radica en que se las acciones emprendidas para corregir las eventualidades sean bien estructuradas y con fundamentos de tal forma que se lleguen a presentar los menores contratiempos (Fallos) Posibles.
- Es importante el uso de las técnicas, herramientas tecnológicas y laboratorios con el fin de generar hipótesis poco más cercanas a las reales. Lo importante es suponer menos y basarnos en hechos bien fundamentados y estructurados.
- Como se evidencia en los laboratorios, debemos tener claro cuáles son las propiedades mecánicas con las que requerimos un material, porque el que mejoremos algunas de ellas, nos afectaran otras. Siendo más específicos, tener claro que es lo queremos y luego poder definir con fundamentos las propiedades del material a utilizar.
- En cuanto a la modificación en la base de sujeción respecto a los pernos, después de consultarlo con los directivos de la empresa, se concluye que no hay viabilidad en este punto y que para poder realizarlo se debe cambiar todo el rodamiento de la base de sujeción teniendo un valor de 65 a 70 mil USD, siendo de esta manera imposible de momento esta sugerencia para el óptimo funcionamiento de la máquina.
- Por medio de este estudio se considera el contrapeso como acción adecuada para reducir las fallas en los pernos de sujeción de la Eco Shear, ya que es la propuesta más acorde en

cuanto viabilidad económica y de realización, siempre y cuando se ejecute después del periodo de garantía de la máquina.

Referencias

- Asamblea Nacional Constituyente. (1991). *Artículo 79 de la Constitución Política de Colombia*.
- Congreso De La Republica de colombia. (1996). *Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY_0253_1996]*.
- Congreso De La Republica de colombia. (2008). Ley 9 De 1979. *Vasa, 1979*(enero 24), 13.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- división de investigación FIUBA. (n.d.). *PROPIEDADES TÉRMICAS DE ACEITE MINERAL*.
- Duramos. (2021). Duramos Ambiental: Suministro de equipos. *Julio 21*.
<http://duramos.com/duramos-ambiental-suministro-de-equipos>
- ElTiempo. (2016). *El reciclaje de llantas, un mercado que todavía falta por explorar*.
<https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/reciclaje-de-llantas-en-colombia-52722#:~:text=Desde el 2012%2C los residuos,país en programas de posconsumo.>
- ETHEL SILVA DE OLIVEIRA. (2017). *Proyecto reciclaje de llantas. December*.
- García Méndez, D. (2018). *DISEÑO DE UN MODELO DE NEGOCIO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS LLANTAS USADAS QUE LLEGAN AL PARQUE TECNOLÓGICO AMBIENTAL GUAYABAL*.
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11693/DISEÑO DE UN MODELO DE NEGOCIO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS LLANTAS USADAS QUE LLEGAN AL PARQUE TECNOLÓGICO AMBIENTAL GUAYABAL..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lake, N. S. (n.d.). *ECO Shear*.
- Liker, Y. K., & Meier, D. P. (2007). The toyota talent. In *News.Ge*.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Resolución No. 1326 de 2017. In *República de Colombia* (pp. 1–22).
- ministerio de medio ambiente. (1994). *Resolucion 189 de1994*.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. (1990). *Decreto 283 de 1990*. 1990(39).
- Ministerio del Medio Ambiente. (1997). *resolución 1170 de 1997*.
- Ministerio del Medio Ambiente. (1998). *Política para la gestión integral de residuos solidos* (p. 47). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- pacto global, red C. (1999). *El Pacto Global*.
- Pérez, F. (2017). *Gestión del mantenimiento industrial*.
- Quintero, C. B., Ángel, M., & Bejarano, B. (2016). Reutilización Y Transformación De Llantas Usadas Como Alternativa De Mitigación Del Problema De Contaminación Ambiental En Bogotá. *Ciencia Unisalle, Universidad de La Salle*, 32.
- Técnico, M., El, P., Manuel, J., Calderón, S., Técnico, M., El, P., & Aceites, M. D. E. (2014). *Aceites Lubricantes Usados*.