	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	Carlos Andrés Serrano Rincón		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Mecánica		
DIRECTOR	Eder Norberto Florez Solano		
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis de fallas mecánicas del brazo oscilante de una suspensión de puntal McPherson de vehículos compactos		
TITULO EN INGLES	Mechanical failure analysis of the swing arm of a McPherson strut suspension of compact vehicles		
RESUMEN (70 palabras)			
<p>La suspensión de los vehículos son un elemento esencial para el buen comportamiento del coche; en las diferentes vías del departamento de Norte de Santander y sur del Cesar que, al tener muchas irregularidades en el terreno y pendientes pronunciadas, se desgastan continuamente los diferentes elementos de la suspensión, por este motivo se realizó un análisis de esfuerzos en el brazo oscilante de una suspensión McPherson con una posible solución.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>The suspension of the vehicles is an essential element for the good behavior of the car; in the different roads of the department of Norte de Santander and south of Cesar that, having many irregularities in the terrain and steep slopes, continuously wear out the different elements of the suspension, for this reason an analysis of stresses in the oscillating arm was carried out of a McPherson suspension with a possible solution.</p>			
PALABRAS CLAVES	Suspensión, Brazo, McPherson, Esfuerzos, Irregularidades		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Suspension, Arm, McPherson, Efforts, Irregularities		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 54	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

Análisis de fallas mecánicas del brazo oscilante de una suspensión de puntal McPherson de
vehículos compactos

Carlos Andrés Serrano Rincón

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Mecánica

MSc. Eder Norberto Florez Solano

11 de agosto del 2022

Contenido

Introducción	8
1. Planteamiento del problema	10
1.1. Formulación del problema	11
1.2. Objetivos	11
1.2.1. General	11
1.2.2. Específicos	11
1.3. Justificación	12
1.4. Delimitaciones	13
1.4.1. Delimitación operativa	13
1.4.2. Delimitación conceptual	13
1.4.3. Delimitación geográfica.....	13
1.4.4. Delimitación temporal.....	14
2. Marco referencial.....	15
2.1. Marco histórico	15
2.2. Antecedentes a nivel internacional.....	17
2.3. Antecedentes a nivel nacional	18
2.4. Marco conceptual.....	18
3. Diseño metodológico	23

3.1.	Tipo de investigación	23
3.2.	Población.....	23
3.3.	Muestra	23
3.4.	Fases del proyecto	24
3.4.1.	<i>Fase 1</i>	24
3.4.2.	<i>Fase 2</i>	25
3.4.3.	<i>Fase 3</i>	25
4.	Diseño de la pieza	26
4.1.	Diseño geométrico	26
	Modelado en 3d de la pieza en solidworks con sus respectivas medidas.	29
4.2	Resultados de la simulación	33
4.2.1	<i>Resultados del estudio por tensión</i>	<i>39</i>
4.2.2	<i>Resultados del estudio por desplazamientos</i>	<i>40</i>
4.2.3	<i>Resultados del estudio por deformaciones unitarias</i>	<i>41</i>
	Resultados de la simulación de esfuerzos de la pieza.....	42
4.3	Modelo de refuerzo de la pieza	43
4.3.1	<i>Diseño del refuerzo</i>	<i>43</i>
4.3.2	<i>Resultados de simulación ensamble</i>	<i>44</i>
4.3.3	<i>Resultados del estudio por tensión del ensamble</i>	<i>46</i>

<i>4.3.4 Resultados del estudio por desplazamientos del ensamble</i>	<i>47</i>
<i>4.3.5 Resultados del estudio por deformaciones unitarias del ensamble</i>	<i>48</i>
Resultados de la simulación de la pieza con el refuerzo de material.....	50
5 Conclusiones	51
6 Apéndice.....	52
Referencias.....	54

Lista de figuras

Figura 1 Brazo inferior izquierdo de una suspensión delantera McPherson	16
Figura 2 Rotula del brazo inferior izquierdo de una suspensión McPherson	16
Figura 3 Barra estabilizadora delantera	17
Figura 4 Von Mises equivalent stress picture of electrombile lower suspension arm.....	19
Figura 5 Simulación de deformación unitaria estática.....	20
Figura 6 Acercamiento de la deformación generada entre el chasis y brazo inferior.....	21
Figura 7 Fotografía de una de las fallas del brazo inferior (Acople entre el chasis y el brazo inferior).....	21
Figura 8 Brazo inferior de la suspension del vehiculo Chevrolet Optra 2007.....	24
Figura 9 Fotografía vista inferior del brazo oscilante de la suspension del vehiculo Chevrolet Optra 2007	26
Figura 10 Longitud entre las uniones al chasis.....	27
Figura 11 Longitud entre las uniones al chasis y la unión hacia la rueda.....	28
Figura 12 Altura en el centro de la pieza.....	28
Figura 13 Espesor del material de la pieza	29
Figura 14 Vista superior del brazo inferior de la suspension con sus medidas	29
Figura 15 Vista isometrica del brazo inferior de la suspension en SOLIDWORKS	30
Figura 16 Vista isometrica inferior del brazo inferior de la suspension en SOLIDWORKS	30
Figura 17 Vista frontal del brazo inferior de la suspension en SOLIDWORKS	31
Figura 18 Vista inferior del brazo inferior de la suspension en SOLIDWORKS.....	31
Figura 19 Vista inferior con seccion recortada del brazo inferior de la suspension en SOLIDWORKS	32

Figura 20 Sujeciones de la pieza.....	35
Figura 21 Cargas y sujeciones	36
Figura 22 Propiedades del mallado.....	37
Figura 23 Ensayo análisis estático de tensiones	39
Figura 24 Ensayo análisis estático de desplazamientos	40
Figura 25 Ensayo análisis estático deformaciones unitarias.....	41
Figura 26 Vista isometrica del refuerzo de material	43
Figura 27 Vista superior y medidas generales del refuerzo de material	44
Figura 28 Mallado del ensamble.....	44
Figura 29 Ensayo análisis estático de tensiones en el ensamble.....	46
Figura 30 Ensayo análisis estático de desplazamientos en el ensamble	47
Figura 31 Ensayo análisis estático de deformaciones unitarias en el ensamble	48
Figura 32 Deformaciones unitarias presentes en el acople de la pieza a la rueda	49
Figura 33 Vista inferior de simulación de desplazamientos del ensamblaje	50
Figura 34 Centro de diagnóstico automotor EL COCHE	52
Figura 35 Taller y Almacén Automotriz FEJARI MOTORS	52
Figura 36 Suspensión McPherson de un Chevrolet Optra modelo 2007	53

Lista de tablas

Tabla 1 Medidas del brazo inferior	27
Tabla 2 Propiedades físicas del brazo inferior de la suspensión en SOLIDWORKS.....	33
Tabla 3 Propiedades del material	34
Tabla 4 Cargas y sujeciones.....	35
Tabla 5 Cargas y sujeciones aplicadas en la pieza.....	36
Tabla 6 Propiedades del mallado	38
Tabla 7 Tensiones en la pieza	39
Tabla 8 Desplazamientos en la pieza	40
Tabla 9 Deformaciones Unitarias	41
Tabla 10 Propiedades del mallado en el ensamble	45
Tabla 11 Tensiones en el ensamble	46
Tabla 12 Desplazamientos en el ensamblaje	47
Tabla 13 Deformaciones unitarias en el ensamble	48

Introducción

La adquisición de vehículos de cuatro ruedas desde la década de los 90s ha aumentado considerablemente a nivel mundial (Yves van der Straaten (OICA), 2022), lo cual ha ayudado al desarrollo de la sociedad, pero, esto también ha generado una cantidad muy considerable de accidentalidad ya sea por imprudencia del conductor o por problemas mecánicos, por lo cual, el desarrollo e innovación de componentes para mejorar el rendimiento y confort del vehículo (Giraldo Gutiérrez, 2014)

Las condiciones ambientales, terreno y mantenimiento del vehículo, son unos de los parámetros que se debe tener en cuenta si se posee un vehículo automotor, ya que la responsabilidad del conductor puede evitar un accidente automovilístico. Anualmente en el mundo la mayor causa de muertes de personas es ocasionada por accidentes de tránsito, esta cifra ronda aproximadamente en 1,3 millones de vidas humanas perdidas a causa de dichos accidentes (OMS, 2021).

Este proyecto pretende diseñar y simular los esfuerzos en un brazo oscilante de una suspensión de puntal McPherson de vehículos compactos para analizar posibles fallas que afecten esta pieza ocasionada por los esfuerzos a los cuales estará sometida.

Este tipo de suspensión es muy versátil gracias a que puede ser utilizada en ejes traseros como delanteros y es ampliamente utilizada en los vehículos compactos modernos por su bajo costo; en el área local de Ocaña Norte de Santander y sur del Cesar estos tipos de vehículos presentan averías en brazo oscilante delantero y en piezas que trabajan en

conjunto con él, ya que el tipo de terreno es muy complejo (pendientes pronunciadas) y los golpes por obstáculos generan estos problemas mecánicos (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020).

Durante la marcha un vehículo experimentara efectos de vibración ocasionados por diferentes fuentes de excitación como sobresaltos, agujeros en el terreno u otras condiciones que alteren la estabilidad del vehículo, gracias a la suspensión del vehículo, dichas vibraciones se reducirán considerablemente al chasis del auto, así, los pasajeros tendrán un mayor confort mientras conducen el vehículo (Vázquez Álvarez & Beltrán Carbajal, 2013). De igual manera este trabajo está enfocado en la simulación de las condiciones a las que pueden ser sometidas el brazo inferior de una suspensión McPherson en la región de Norte de Santander y sur del Cesar.

El presente estudio pretende analizar los esfuerzos a los que es sometida el brazo oscilante de la suspensión del automóvil para evitar las fallas mecánicas, a partir de la simulación de esfuerzos en una pieza muestra diseñada con software CAD.

1. Planteamiento del problema

La suspensión de un vehículo es un elemento clave para el buen comportamiento de este, existen una gran variedad de estas con sus respectivas ventajas e inconvenientes, pero de entre todas ellas, la más utilizada y conocida en la actualidad es la suspensión McPherson; este tipo de suspensión es muy versátil gracias a que es utilizada en ejes traseros como delanteros y sus costos de fabricación son bajos (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020). El estudio del comportamiento de la suspensión de puntal McPherson es materia de investigación en el área automotriz a nivel internacional como en investigaciones realizadas en el Puyang Polytechnic Institute de China, los cuales han realizado análisis de esfuerzos del brazo inferior de este tipo dispositivos mecánicos delanteros para vehículos eléctricos (Li-Zhen & Zhi-feng, 2014).

En el área local de Ocaña Norte de Santander vehículos de gama media y baja presentan muchas averías en dicha pieza ya que el tipo de terreno es muy complejo, provocando averías en esta por los esfuerzos cortantes lo cual podría ocasionar un accidente de tránsito y costos en reparaciones. El presente trabajo pretende diseñar y simular los esfuerzos en el brazo oscilante de una suspensión de puntal McPherson delantera para posibles soluciones y evitar sobrecostos por reparaciones.

1.1. Formulación del problema

¿De qué manera la implementación de un análisis de fallas mecánicas del brazo oscilante de la suspensión McPherson puede resolver el problema de fallas estructurales debido a esfuerzos de flexión y tracción?

Tomando en consideración lo planteado anteriormente, este estudio pretende analizar los esfuerzos a los que es sometida la pieza para evitar las fallas presentes en este tipo de suspensión, a partir de la simulación de esfuerzos en una pieza originalmente de fábrica diseñada con software CAD. Los resultados de la simulación en la pieza se registrarán según los datos obtenidos de las cargas a la que será sometida las ruedas delanteras de un Chevrolet Optra sin ocupantes como carga estática.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

- Diseñar y simular los esfuerzos en el brazo oscilante de una suspensión de puntal McPherson de vehículos compactos

1.2.2. Específicos

- Diseñar un brazo oscilante de una suspensión de puntal McPherson delantera de un Chevrolet Optra mediante herramientas CAD (Solidworks).

- Simular los esfuerzos presentes en la estructura del brazo oscilante de la suspensión, utilizando herramientas CAD (Solidworks).
- Analizar los resultados de los esfuerzos en el material para proponer una posible solución de fallas en la pieza.

1.3. Justificación

A raíz de los problemas de deformación o falla del material por los esfuerzos de flexión y tracción en el brazo oscilante de la suspensión delantera de puntal McPherson en los vehículos compactos o de gama baja de la región de Norte de Santander y sur del Cesar, este proyecto se justifica porque se percibe una necesidad real que representa una posibilidad de posicionar el perfil profesional que se posee para la solución de la problemática mencionada, la cual amerita intervenciones ingenieriles para mitigar problemas como accidentabilidad en las calles, los cuales pueden ocasionar pérdidas económicas y aún más grave, pérdidas humanas. Para brindar posibles soluciones aplicadas al problema, esta propuesta será basada en los datos adquiridos de historial de fallas de algunos talleres de Ocaña Norte de Santander y sur del Cesar, así, poder implementar una solución óptima para dicho problema.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Delimitación operativa

La identificación de la situación actual sobre fallas y posibles reparaciones del brazo oscilante de la suspensión puntal delantera McPherson en los vehículos compactos en el área local de Ocaña Norte de Santander y sur del Cesar.

1.4.2. Delimitación conceptual

En este proyecto solo se basará en el concepto de un análisis de fallas del material estructural del brazo oscilante de una suspensión puntal delantera McPherson, lo cual estará dirigido al sector automotriz de la región de Norte de Santander y sur del Cesar, específicamente para vehículos de gama baja.

1.4.3. Delimitación geográfica

Esta investigación solo se realizará basándose en los datos históricos de fallas presentadas en el brazo oscilante de este tipo de suspensión en el sector automotriz del área de Norte de Santander y sur del Cesar, específicamente en talleres automotores de Ocaña y Aguachica.

1.4.4. Delimitación temporal

Los datos obtenidos para este proyecto están enmarcados en la recolección de datos entre el 2019, principios del 2020 y 2021 considerando solo automóviles con suspensión de puntal McPherson en los sectores automotrices de Ocaña Norte de Santander y el sur del Cesar, los cuales han presentado este tipo de casos de falla en el brazo oscilante delantero del coche.

2. Marco referencial

2.1. Marco histórico

La adquisición de vehículos de tracción de cuatro ruedas después de la mitad del siglo XX se ha acelerado de tal forma, que ha generado un desarrollo notable de la sociedad, pero, esto también ha ocasionado una cantidad muy considerable de accidentalidad ya sea por imprudencia del conductor o por problemas mecánicos, por lo cual, el desarrollo e innovación de componentes para mejorar el rendimiento y confort del vehículo es imprescindible para la sociedad.

Para obtener una mayor comodidad mientras se conduce un vehículo, se han generado múltiples investigaciones en el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a crear suspensiones de automóviles con una mayor velocidad de respuesta a las variantes de las pistas donde recorrerán dichos vehículos, pero, al ser una suspensión más eficiente, poseer materiales y técnicas sofisticadas, hacen de que su fabricación sea aún más costosa en comparación a las tradicionales. Por lo dicho anteriormente, los vehículos con precios más asequibles en el mercado, en su mayoría poseen suspensiones del tipo McPherson (Giraldo Gutiérrez, 2014). Este tipo de suspensiones cuando presenta alguna falla o avería por golpes fuertes, ya sea por accidentes automovilísticos o por el constante esfuerzo de la suspensión por transitar el vehículo en terrenos difíciles, estas se localizan en piezas tales como el brazo inferior oscilante, la barra estabilizadora, bujes y la rótula.

Figura 1

Brazo inferior izquierdo de una suspensión delantera McPherson



Nota. Fotografía de la pieza muestra para el diseño y simulación de esfuerzos en Solidworks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 2

Rotula del brazo inferior izquierdo de una suspensión McPherson



Nota. Fotografía de la rótula de una suspensión McPherson (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 3*Barra estabilizadora delantera*

Nota. Fotografía de la barra estabilizadora de una suspensión McPherson (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

2.2. Antecedentes a nivel internacional

El estudio del comportamiento de la suspensión de puntal McPherson es materia de investigación en el área automotriz a nivel internacional, ya que al ser tan útil y tener bajos costos de su fabricación, la hace aún muy utilizada en vehículos compactos. Investigaciones como las realizadas en el Puyang Polytechnic Institute de China, dan a conocer resultados de análisis de esfuerzos en piezas como en el caso del brazo inferior en este tipo de dispositivos que poseen muchos vehículos comerciales, estas investigaciones fueron basadas en la resistencia y deformación de dicha pieza en condiciones de trabajo con respecto a la fuerza de rodamiento, fuerza de tracción y frenado, reacción dirección lateral y el momento de fuerzas entre la rueda y el chasis; lo cual reveló la influencia de estos esfuerzos por fatiga en la estructura de la pieza (Li-Zhen & Zhi-feng, 2014).

2.3. Antecedentes a nivel nacional

Los múltiples proyectos e investigaciones basados en suspensiones McPherson de vehículos automotores a nivel nacional son direccionadas al modelamiento matemático del comportamiento de estos dispositivos bajo condiciones de trabajo multivariantes, esto con el fin de poder facilitar futuras investigaciones basadas en este tipo de modelos. En cuanto al comportamiento de las distintas piezas que conforman a este tipo de dispositivo mecánico, es escasa la información sobre investigaciones a ellas, en especial al brazo inferior oscilante; uno de los pocos trabajos a nivel nacional encontrados sobre esta pieza fue realizado en la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña y se basa en un estudio de fallas como componente físico en suspensiones mecánicas de dos modelos de automóviles de una empresa automotriz (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020).

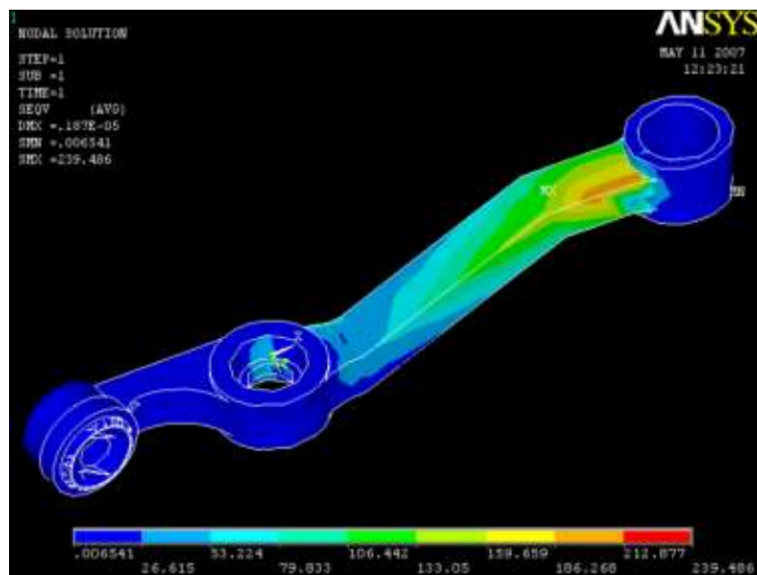
2.4. Marco conceptual

El desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a la configuración de los sistemas de suspensiones de los vehículos ha ido progresivamente avanzando; también se puede apreciar la aplicación de nuevos materiales para el diseño de piezas disminuyendo el peso de la suspensión en el vehículo. Muchos de estos avances son posibles gracias a herramientas de diseño asistido por computadora y sus aplicaciones a la simulación de condiciones en una pieza o dispositivo; actualmente trabajos como “Finite element simulation of front suspension lower arm of McPherson type based on ANSYS” realizado en Puyang Polytechnic Institute da a conocer los efectos de los esfuerzos estructurales a

los que son sometidos piezas como el brazo oscilante de una suspensión de puntal McPherson delantera.

Figura 4

Von Mises equivalent stress picture of electromobile lower suspension arm



Nota. Imagen de efectos de los esfuerzos estructurales a los que son sometidos piezas como el brazo oscilante de una suspensión de puntal McPherson delantera (Li-Zhen & Zhi-feng, 2014)

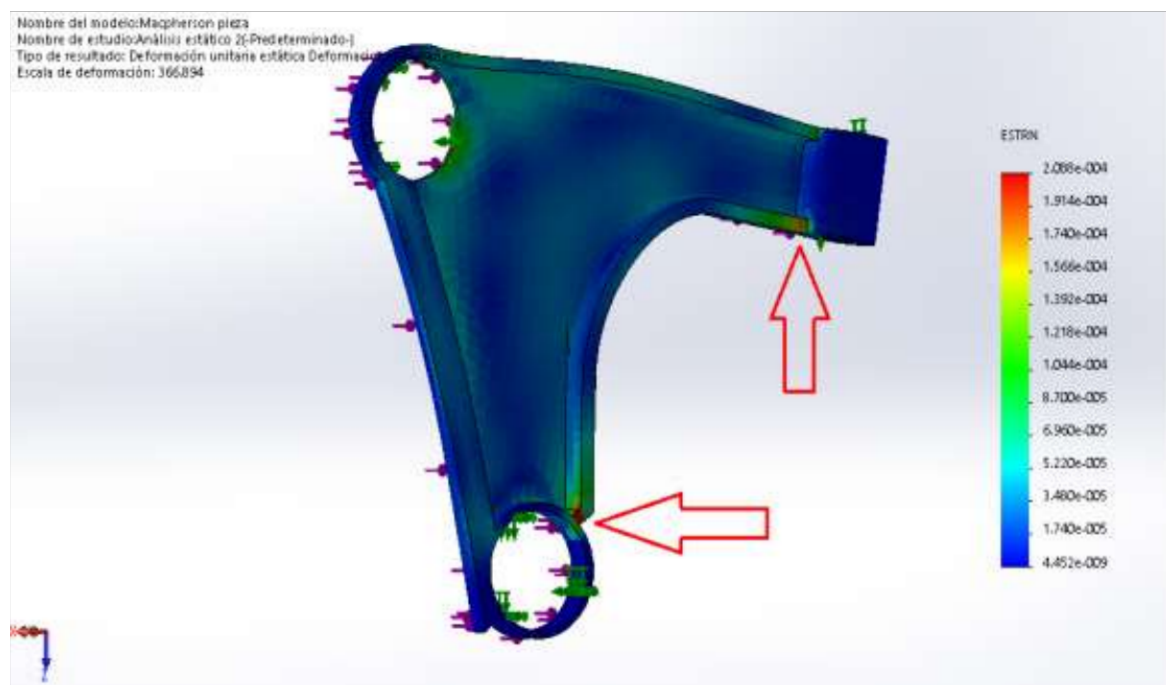
En cuanto a las investigaciones de análisis de fallas del brazo inferior de una suspensión de puntal McPherson delantera efectuada en la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, los datos obtenidos sobre los esfuerzos en esta pieza se pueden apreciar en las siguientes imágenes de la simulación generada con herramientas CAD.

Los resultados de esta investigación realizada con un brazo inferior delantero de una suspensión McPherson de fabricación Chevrolet Optra modelo 2007 reveló que en una situación de fatiga excesiva con una carga correspondiente a la carga delantera ejercida

en por el vehículo, presentó una pequeña deformidad e incluso fisura en la unión entre en brazo inferior y el chasis, también a de notarse que podría ocasionar una deformidad en el centro de la pieza, la cual la dejará fuera de servicio. Estos resultados son aproximados, ya que existen muchos parámetros que pueden afectar la pieza (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020).

Figura 5

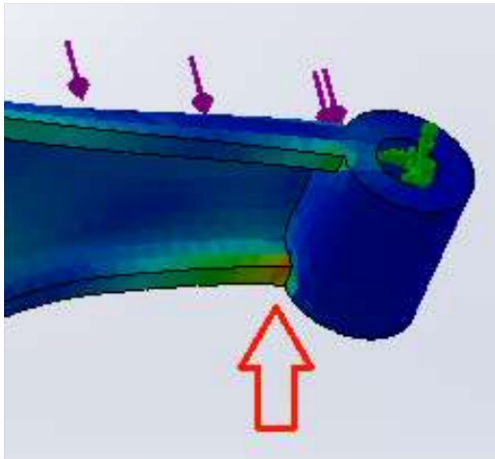
Simulación de deformación unitaria estática



Nota. Imagen de resultados de una simulación de esfuerzo estático lineal en un brazo inferior de una suspensión McPherson (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 6

Acercamiento de la deformación generada entre el chasis y brazo inferior



Nota. Imagen que indica deformaciones notorias (de color rojo) en la parte inferior de la unión entre el brazo y el chasis del vehículo (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 7

Fotografía de una de las fallas del brazo inferior (Acople entre el chasis y el brazo inferior)



Nota. Fotografía de falla (fisura) en el material de la pieza ubicada entre el acople del chasis y el brazo inferior de una suspensión McPherson (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Parámetros como el peso ejercido en cada rueda del vehículo serán implementadas en la nueva investigación para realizar la simulación de los esfuerzos generados en la estructura de la pieza, en vehículos de baja gama, en cada rueda delantera se estima una carga en la suspensión de entre los 240 kg a los 270 kg sin ocupantes como carga estática.

Los datos obtenidos en los distintos talleres y centros de diagnóstico automotor en Norte de Santander y sur del Cesar, se evidencian en la suspensión McPherson con mayor frecuencia problemas en piezas como bujes y rotulas, en el caso de problemas del brazo oscilante delantero solo se presentan con menor frecuencia en comparación a las piezas mencionadas anteriormente. Las causas de problemas en el brazo oscilante delantero son en su mayoría por golpes fuertes con obstáculos o agujeros en las vías que generan gran estrés en la suspensión y este se ve reflejado en la unión entre el brazo oscilante.

Nota: Fotografías de lugares donde se obtuvieron datos sobre la pieza de la suspensión en las regiones de Norte de Santander y sur del Cesar en anexos.

3. Diseño metodológico

3.1. Tipo de investigación

La investigación de este proyecto se realizará de forma descriptiva y experimental; basada en los resultados obtenidos sobre los esfuerzos, deformaciones o fallas presentes en la pieza de la suspensión McPherson luego de realizársele una simulación con herramientas CAD, parametrizadas por ciertas variables de esfuerzos presentes en cada rueda delantera del vehículo. Esto con el fin de realizar análisis de esfuerzos en la estructura de la pieza en los lugares más propensos a deformarse y encontrar una posible solución del problema sin afectar las funciones principales de la pieza.

3.2. Población

La población basada en esta investigación fueron 3 brazos oscilantes delanteros de una suspensión McPherson obtenidas de talleres automotrices de la ciudad de Ocaña Norte de Santander, vía ACOLSURE-Circunvalar y en Aguachica sur del Cesar. El tamaño de la población es reducido por la rápida chatarrización de las piezas en los distintos talleres luego de ser cambiadas.

3.3. Muestra

La muestra está conformada por un brazo oscilante delantero de un Chevrolet Optra modelo 2007.

Figura 8

Brazo inferior de la suspensión del vehículo Chevrolet Optra 2007



Nota. Fotografía del Brazo inferior de la suspensión de un vehículo Chevrolet Optra 2007 (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

3.4. Fases del proyecto**3.4.1. Fase 1**

Diseñar un brazo oscilante de una suspensión de puntal McPherson delantera de vehículos de baja gama de la región del Norte de Santander y Sur del Cesar mediante herramientas CAD (Solidworks); esta pieza esta modelada basándose en una pieza real de un vehículo Chevrolet Optra modelo 2007.

3.4.2. Fase 2

Realizar análisis de los esfuerzos presentes en la estructura del brazo oscilante de la suspensión, utilizando herramientas CAD (Solidworks); esto se llevará a cabo mediante la revisión bibliográfica para la obtención de datos teóricos y parametrizar las condiciones de los esfuerzos presentes en condiciones de trabajo reales.

3.4.3. Fase 3

Analizar los resultados de los esfuerzos en el material para proponer posibles soluciones de fallas en la pieza.

4. Diseño de la pieza

4.1. Diseño geométrico

El diseño de la geometría y material del brazo oscilante de una suspensión vehicular depende de las especificaciones de operación del vehículo, los fabricantes de automóviles se aseguran que cada una de las piezas cumpla con su propósito sin descuidar el confort de los conductores en los distintos tipos de terrenos y situaciones que puedan ocurrir mientras se esté conduciendo.

Figura 9

Fotografía vista inferior del brazo oscilante de la suspensión del vehículo Chevrolet

Optra 2007



Nota. Fotografía del Brazo inferior de la suspensión de un vehículo Chevrolet Optra 2007 (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Tabla 1*Medidas del brazo inferior*

Modelos	Medidas
Figura 10	37 cm de longitud entre las uniones al chasis.
Figura 11	33 cm de longitud entre las uniones al chasis y la unión hacia la rueda
Figura 12	6 cm de altura en el centro de la pieza.
Figura 13	3 mm de espesor del material de la pieza

Nota. Medidas generales del brazo oscilante de una suspension McPherson (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 10*Longitud entre las uniones al chasis*

Nota. Fotografías del brazo inferior de la suspension con sus medidas generales (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 11

Longitud entre las uniones al chasis y la unión hacia la rueda



Nota. Fotografías del brazo inferior de la suspensión con sus medidas generales (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 12

Altura en el centro de la pieza



Nota. Fotografías del brazo inferior de la suspensión con sus medidas generales (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 13

Espesor del material de la pieza

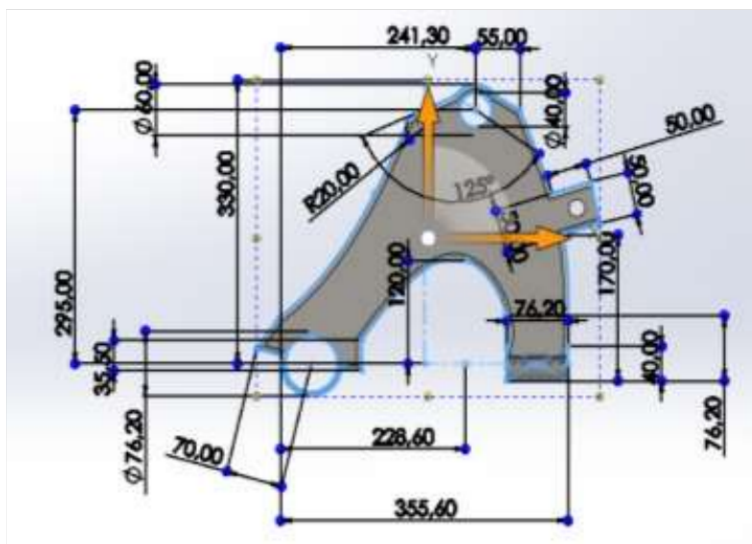


Nota. Fotografías del brazo inferior de la suspensión con sus medidas generales (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Modelado en 3d de la pieza en Solidworks con sus respectivas medidas.

Figura 14

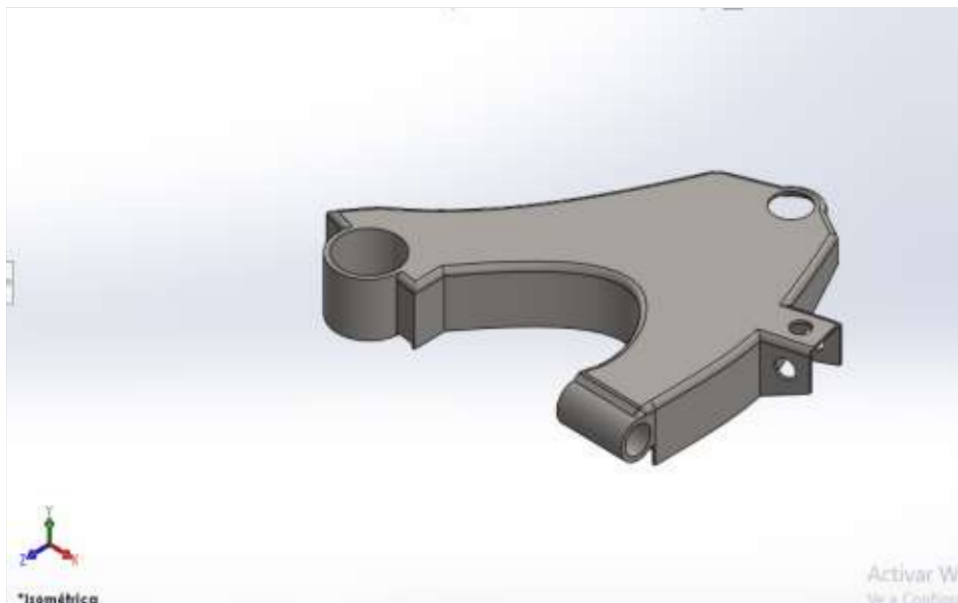
Vista superior del brazo inferior de la suspensión con sus medidas



Nota. Medidas del diseño de la pieza muestra realizada en SolidWorks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 15

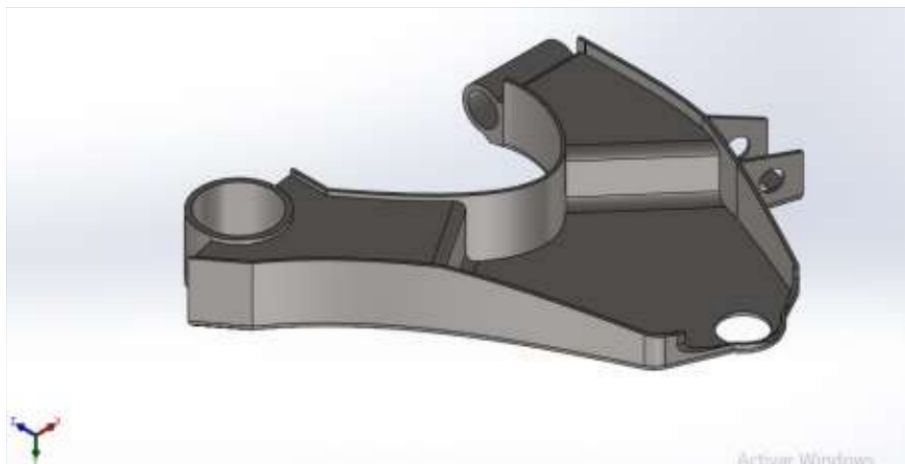
Vista isométrica del brazo inferior de la suspensión en SOLIDWORKS



Nota. Diseño de la pieza muestra realizada en SolidWorks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 16

Vista isométrica inferior del brazo inferior de la suspensión en SOLIDWORKS



Nota. Diseño de la pieza muestra realizada en SolidWorks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 17

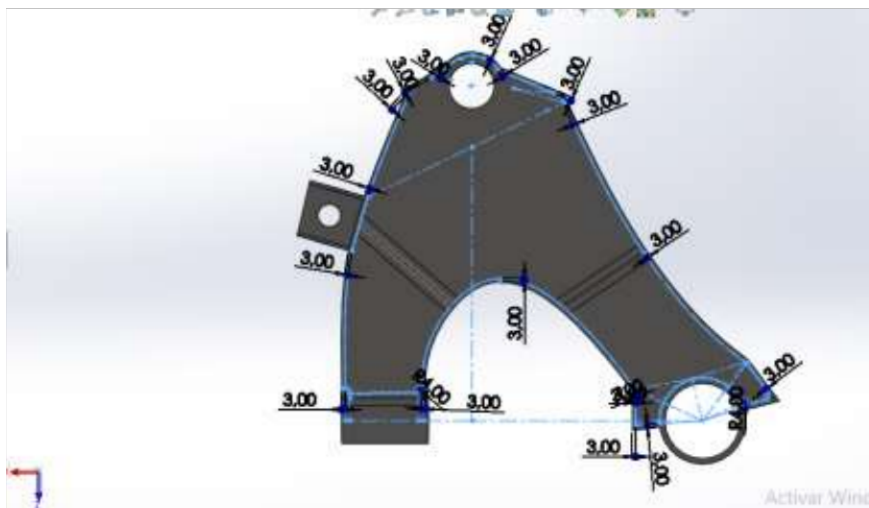
Vista frontal del brazo inferior de la suspensión en SOLIDWORKS



Nota. Diseño de la pieza muestra realizada en SolidWorks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 18

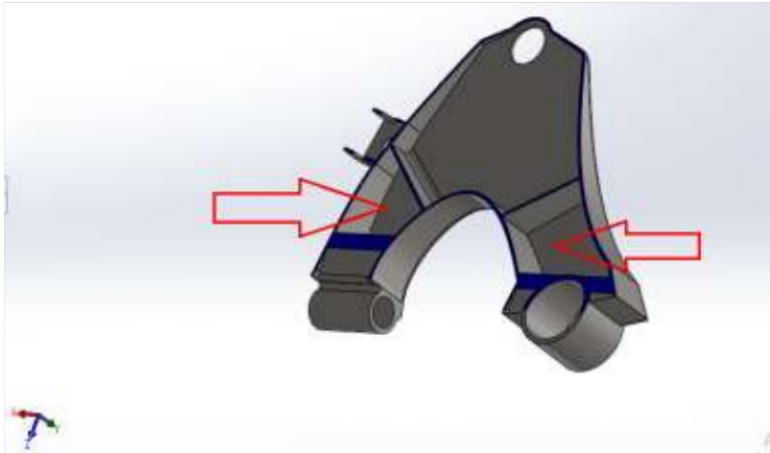
Vista inferior del brazo inferior de la suspensión en SOLIDWORKS



Nota. Diseño de la pieza muestra realizada en SolidWorks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 19

Vista inferior con seccion recortada del brazo inferior de la suspension en SOLIDWORKS



Nota. Diseño de la pieza muestra realizada en SolidWorks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

El diseño de la geometría de la pieza se realizó bajo los criterios de medición de una pieza real para obtener valores más cercanos a los reales en la simulación de esfuerzos en el programa SOLIDWORKS.

La pieza de referencia es un brazo inferior de una suspension de puntal McPherson de un Chevrolet Optra modelo 2007. este tipo de pieza es fabricada con un perfil de chapa de acero estirado en frio, otros modelos son fabricados con aleaciones de aluminio para disminuir el peso (M.Sridharan, 2016).

4.2 Resultados de la simulación

La simulación realizada a la pieza fue un ensayo estático, el cual se aplicó una carga de 260 kgf en la parte superior del brazo oscilante, los 3 puntos de apoyo se tomaron como puntos de sujeciones fijas de tipo bisagra y el material utilizado para la pieza fue acero AISI/SAE 1020.

Tabla 2

Propiedades físicas del brazo inferior de la suspensión en SOLIDWORKS

Nombre del modelo: Brazo oscilante McPherson Configuración actual: Predeterminado			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Cortar-Extruir19	Sólido	Masa:4,55811 kg Volumen:0,000576591 m ³ Densidad:7.905,28 kg/m ³ Peso:44,6695 N	C:\Users\Laptop HP\Desktop\Pieza proyecto terminada\ensayo pieza 1.SLDPRT Jun 23 20:05:32 2022

Nota. Simulación de esfuerzos en la pieza modelo diseñada en SolidWorks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Tabla 3*Propiedades del material*

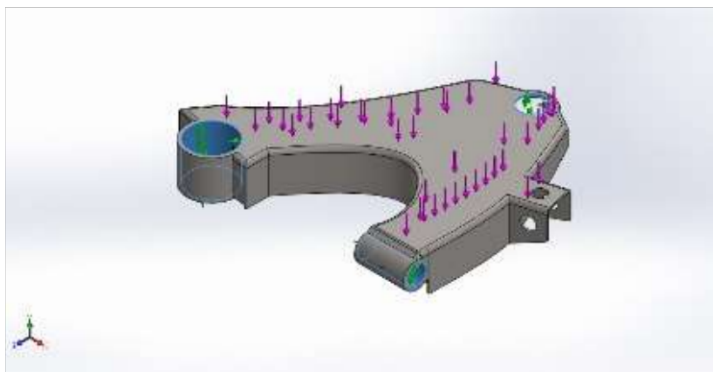
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
Cortar-Extruir19	Nombre: AISI 1020 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 3,51571e+08 N/m ² Límite de tracción: 4,20507e+08 N/m ² Módulo elástico: 2e+11 N/m ² Coeficiente de Poisson: 0,29 Densidad: 7.900 kg/m ³ Módulo cortante: 7,7e+10 N/m ² Coeficiente de dilatación térmica: 1,5e-05 /Kelvin	Sólido 1(Cortar-Extruir19)(ensayo pieza 1)
Datos de curva: N/A		

Nota. Simulación de esfuerzos en la pieza modelo diseñada en SolidWorks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Tabla 4*Cargas y sujeciones*

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Bisagra fija-1	Figura 20	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Bisagra fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,053476	2.549,79	-0,161468	2.549,79
Momento de reacción (N.m)	0	0	0	0

Nota. Simulación de esfuerzos en la pieza modelo diseñada en SolidWorks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

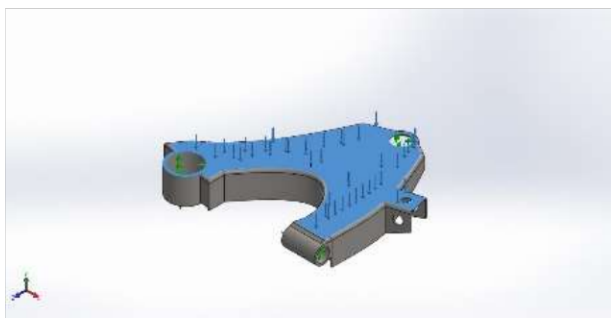
Figura 20*Sujeciones de la pieza*

Nota. Simulación de esfuerzos en la pieza modelo diseñada en SolidWorks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

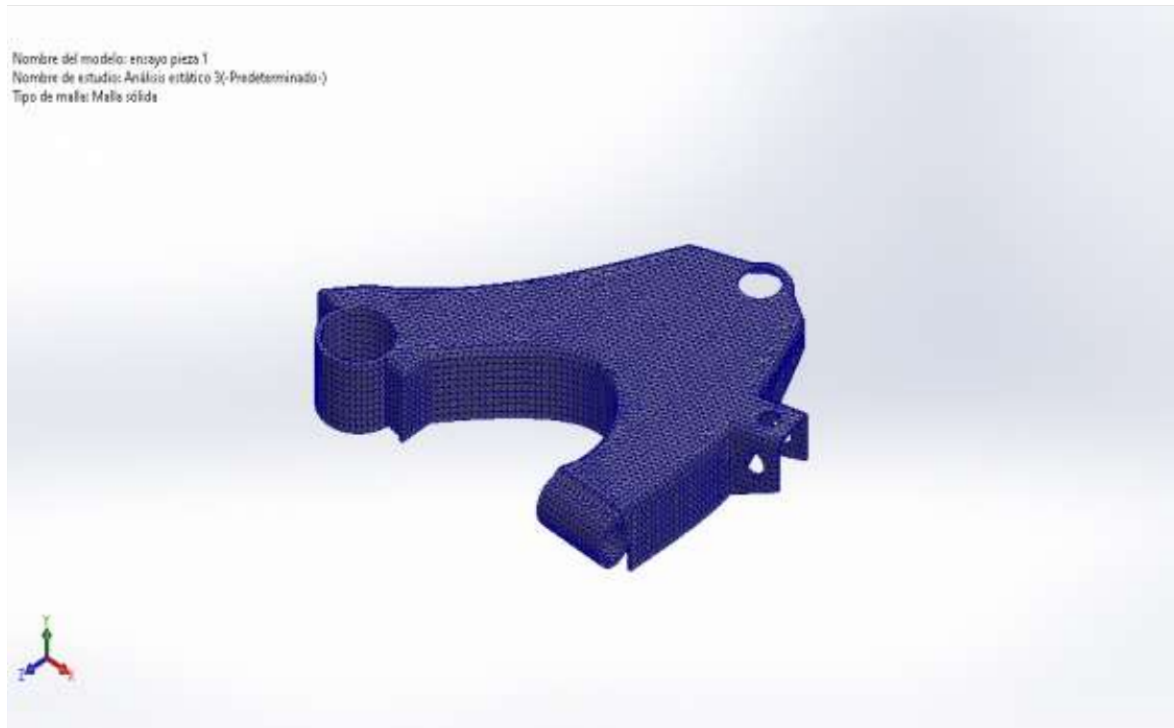
Tabla 5*Cargas y sujeciones aplicadas en la pieza*

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1	Figura 21	Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal

Nota. Simulación de esfuerzos en la pieza modelo diseñada en SolidWorks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 21*Cargas y sujeciones*

Nota. Simulación de esfuerzos en la pieza modelo diseñada en SolidWorks (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 22*Propiedades del mallado*

Nota. Diseño de la malla para simulación de esfuerzos en la pieza modelo (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Tabla 6*Propiedades del mallado*

Mallado	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño de elementos	5,82546 mm
Tolerancia	0,291273 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	65265
Número total de elementos	32948
Cociente máximo de aspecto	31,823
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	95
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,0425
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:17
Nombre de computadora:	

Nota. Mallado aplicado en la pieza (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

4.2.1 Resultados del estudio por tensión

Tabla 7

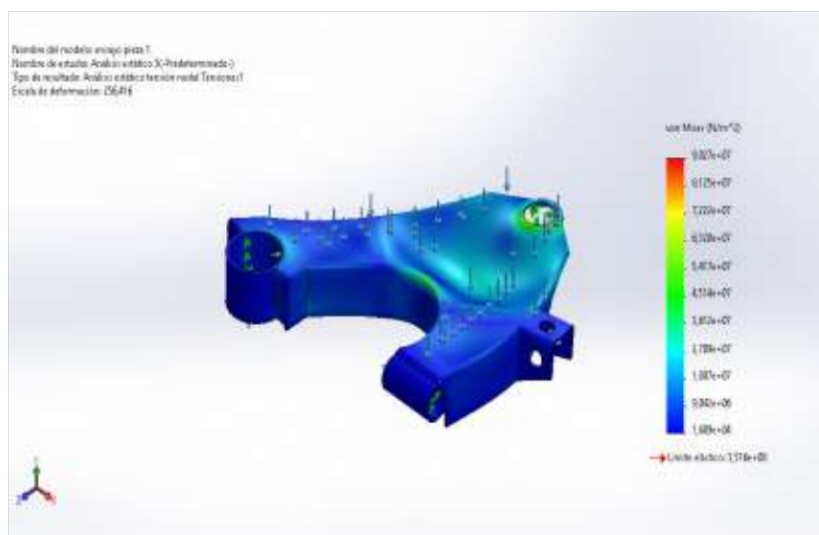
Tensiones en la pieza

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	16 090,69 $\frac{N}{mm^2}$ Nodo: 45492	90 273 640 $\frac{N}{mm^2}$ Nodo: 62031

Nota. Resultados de la simulación de esfuerzos en la pieza modelo (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 23

Ensayo análisis estático de tensiones



Nota. Resultados de la simulación de esfuerzos en la pieza modelo (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

4.2.2 Resultados del estudio por desplazamientos

Tabla 8

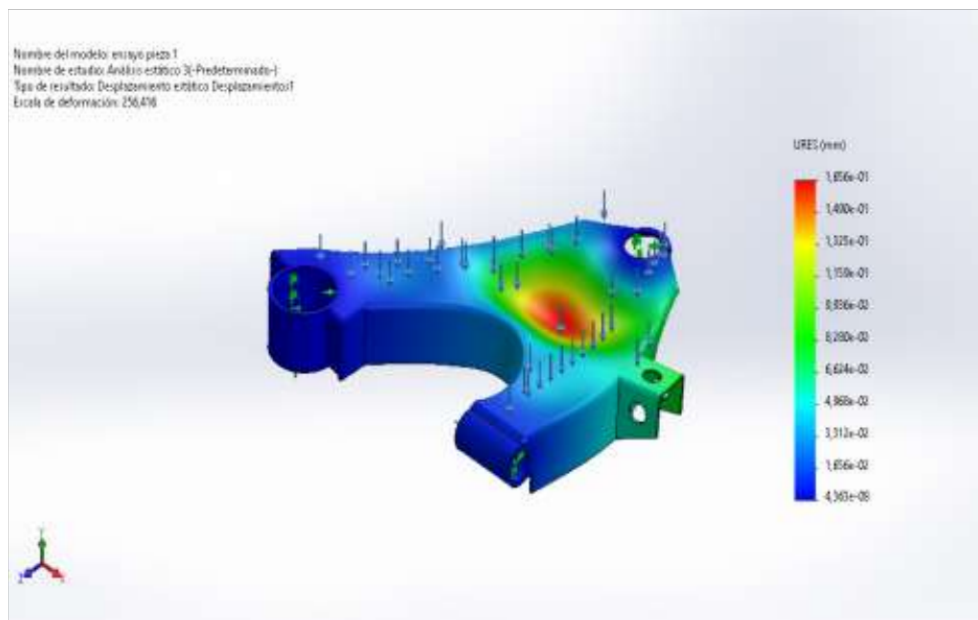
Desplazamientos en la pieza

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000000043632 mm Nodo: 61688	0,1656055 mm Nodo: 54859

Nota. Resultados de la simulación de desplazamientos en la pieza (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 24

Ensayo análisis estático de desplazamientos



Nota. Resultados de la simulación de desplazamientos en la pieza (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

4.2.3 Resultados del estudio por deformaciones unitarias

Tabla 9

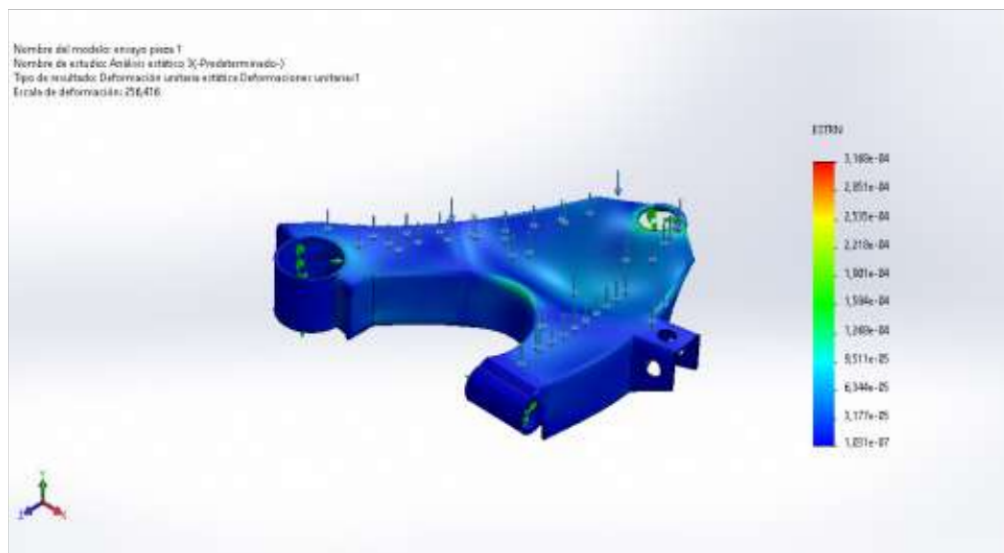
Deformaciones Unitarias

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0,0000001031 Elemento: 17624	0,00031678 Elemento: 32194

Nota. Resultados de la simulacion de deformaciones unitarias en la pieza (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 25

Ensayo análisis estático deformaciones unitarias



Nota. Resultados de la simulacion de deformaciones unitarias en la pieza (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Resultados de la simulación de esfuerzos de la pieza

- En el ensayo realizado a la pieza se obtuvo datos de valores mínimos y máximos de tensión, desplazamientos y deformaciones unitarias en la estructura del brazo oscilante, dichos valores dan a conocer que la pieza cuando se le es aplicada una fuerza aproximada a los 260 kgf tendrá ciertas tensiones y desplazamientos en el centro de la pieza y en la unión entre el brazo oscilante y la rueda, estos valores de tensión no superan los $90,273 \frac{kN}{m^2}$ y $0,1656055$ mm de desplazamiento; pero con la irregularidad del terreno, la intemperie y la sobrecarga a la que son sometidos los vehículos que transitan entre el departamento de Norte de Santander y el sur del Cesar generan múltiples afectaciones en las suspensiones delantera de estos vehículos, especialmente estas afectaciones son de alta consideración en las rotulas, barra estabilizadora y en algunos casos en el brazo oscilante.

Para salvaguardar la vida útil de la pieza muestra, se procedió a diseñar una chapa metálica como refuerzo de material del brazo inferior oscilante, el cual se unió en la parte inferior central de la pieza que comunica a la unión de la rueda con el brazo como una pieza soldada. El diseño de este refuerzo de la pieza tendrá las siguientes dimensiones y se modeló en SolidWorks para realizar una nueva simulación de esfuerzos.

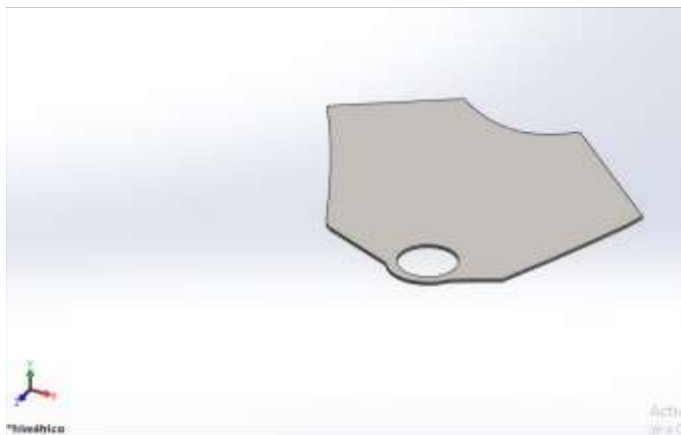
4.3 Modelo de refuerzo de la pieza

El refuerzo de material de la pieza es una posible solución para reducir deformaciones o desplazamientos en el brazo oscilante inferior cuando recibe cargas superiores a 240 kgf (rango mínimo aproximado de carga por cada rueda); soldar una chapa metálica en el centro de la pieza de un espesor de 2 mm de material de acero AISI/SAE 1020 para verificar mediante un nuevo ensayo estático las tensiones y desplazamientos que ocurren con este refuerzo de material.

4.3.1 Diseño del refuerzo

Figura 26

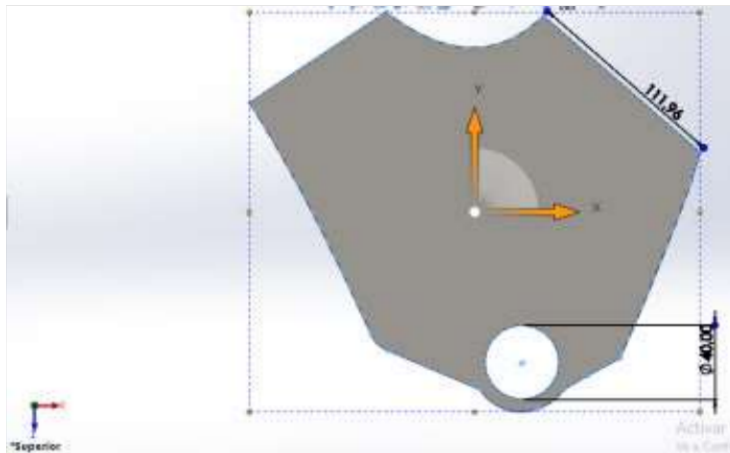
Vista isométrica del refuerzo de material



Nota. Diseño geométrico del refuerzo del material (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 27

Vista superior y medidas generales del refuerzo de material



Nota. Diseño geométrico del refuerzo del material (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

4.3.2 Resultados de simulación ensamble

Figura 28

Mallado del ensamble



Nota. Diseño de malla del ensamble de la pieza muestra y el refuerzo de material (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Tabla 10*Propiedades del mallado en el ensamble*

Mallado	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño de elementos	6,36618 mm
Tolerancia	0,318309 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar
Número total de nodos	96330
Número total de elementos	48929
Cociente máximo de aspecto	16,103
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	88,1
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,0327

Nota. Características específicas del diseño de la malla del ensamble de la pieza y el refuerzo (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

4.3.3 Resultados del estudio por tensión del ensamble

Tabla 11

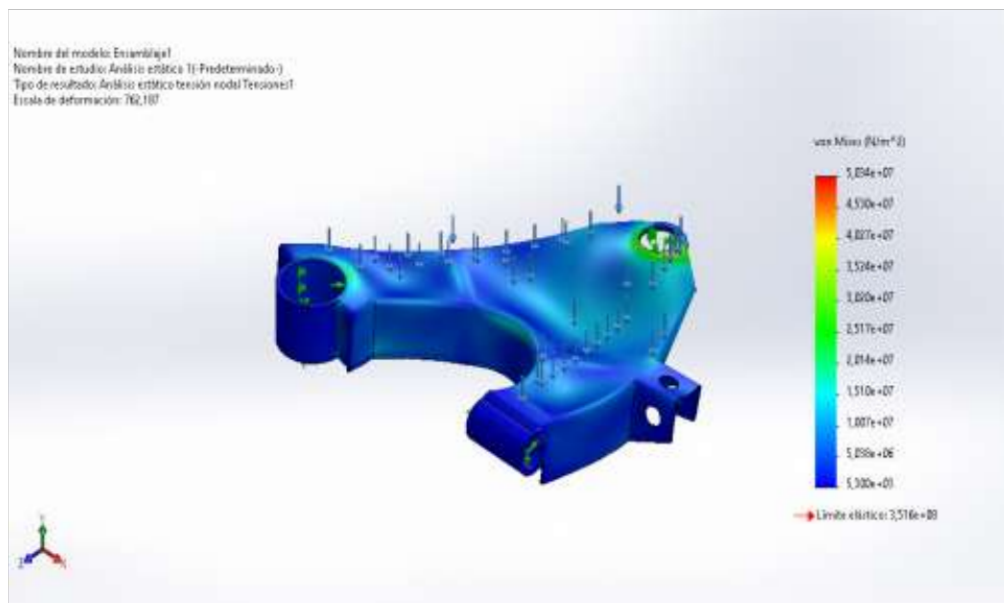
Tensiones en el ensamble

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	5031861 $\frac{N}{mm^2}$ Nodo: 57760	50331996 $\frac{N}{mm^2}$ Nodo: 5258

Nota. Resultados de la simulación de tensiones en el ensamble (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 29

Ensayo análisis estático de tensiones en el ensamble



Nota. Resultados de la simulación de tensiones en el ensamble (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

4.3.4 Resultados del estudio por desplazamientos del ensamble

Tabla 12

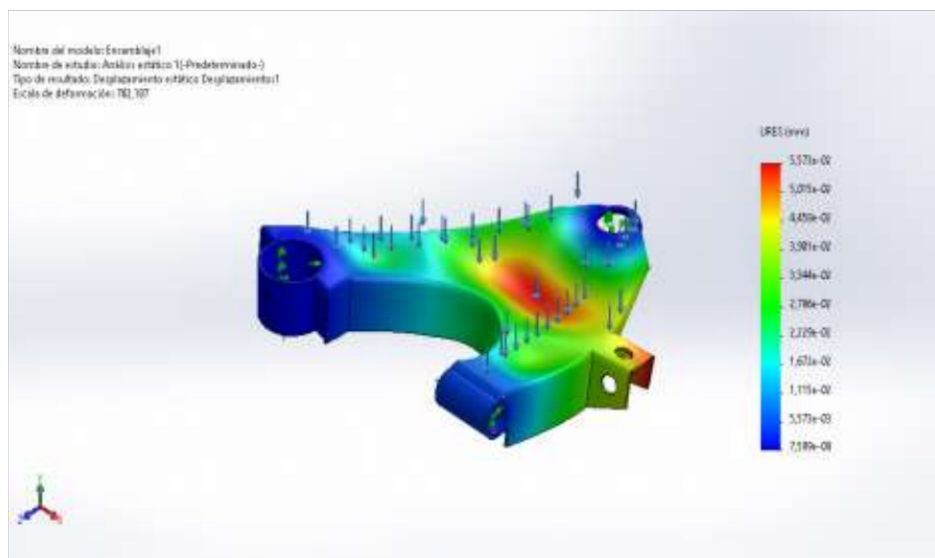
Desplazamientos en el ensamblaje

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.00000029 mm Nodo: 833	0.0557213 mm Nodo: 1985

Nota. Resultados de la simulación de Desplazamientos en el ensamble (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 30

Ensayo análisis estático de desplazamientos en el ensamble



Nota. Resultados de la simulación de Desplazamientos en el ensamble (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

4.3.5 Resultados del estudio por deformaciones unitarias del ensamble

Tabla 13

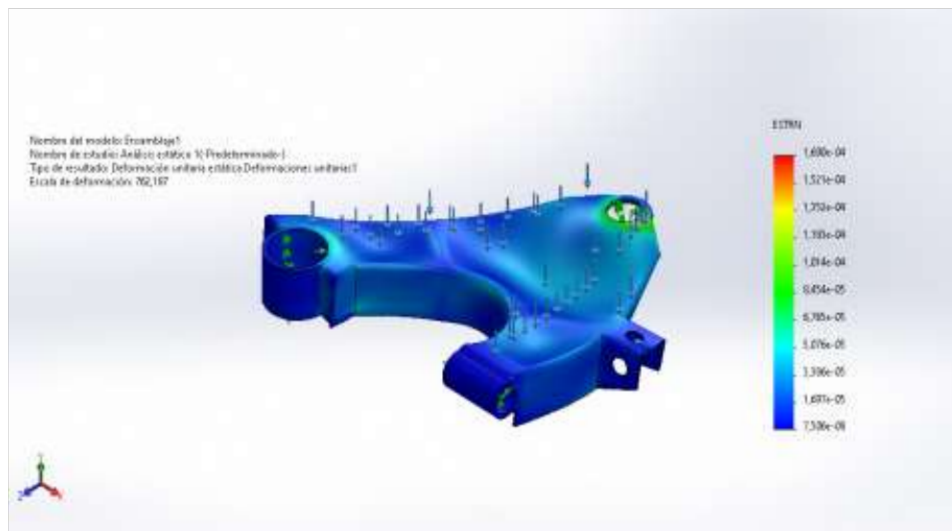
Deformaciones unitarias en el ensamble

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0,00000007506 Elemento: 40033	0,0001690 Elemento: 17636

Nota. Resultados de la simulación de deformaciones unitarias en el ensamble (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 31

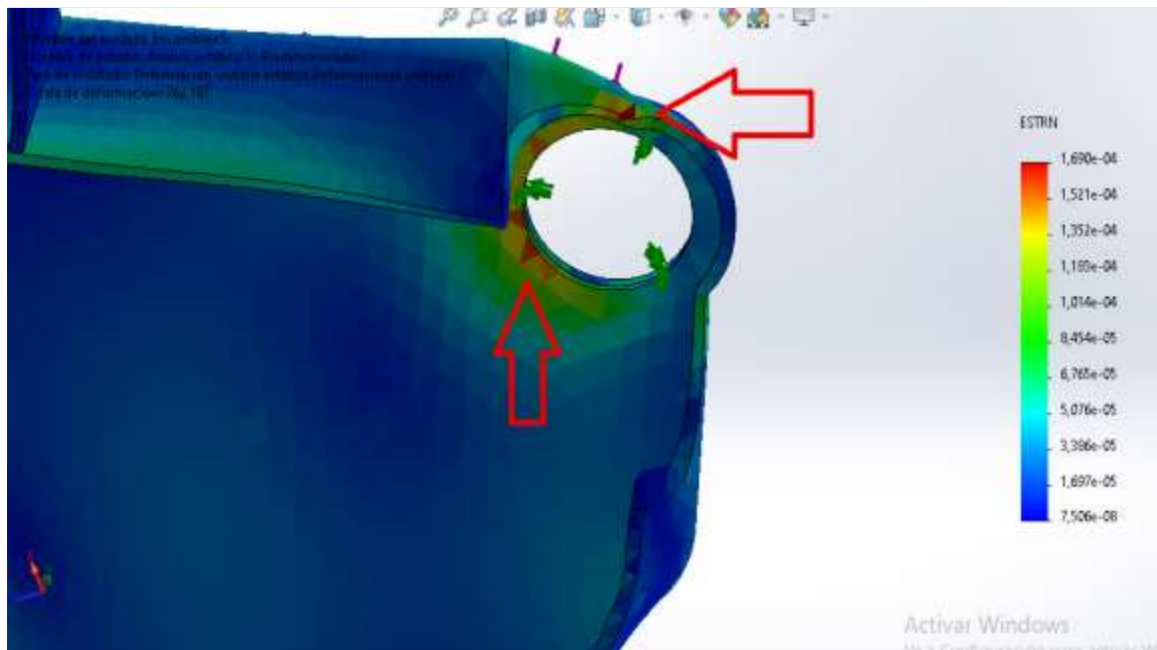
Ensayo análisis estático de deformaciones unitarias en el ensamble



Nota. Resultados de la simulación de deformaciones unitarias en el ensamble (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 32

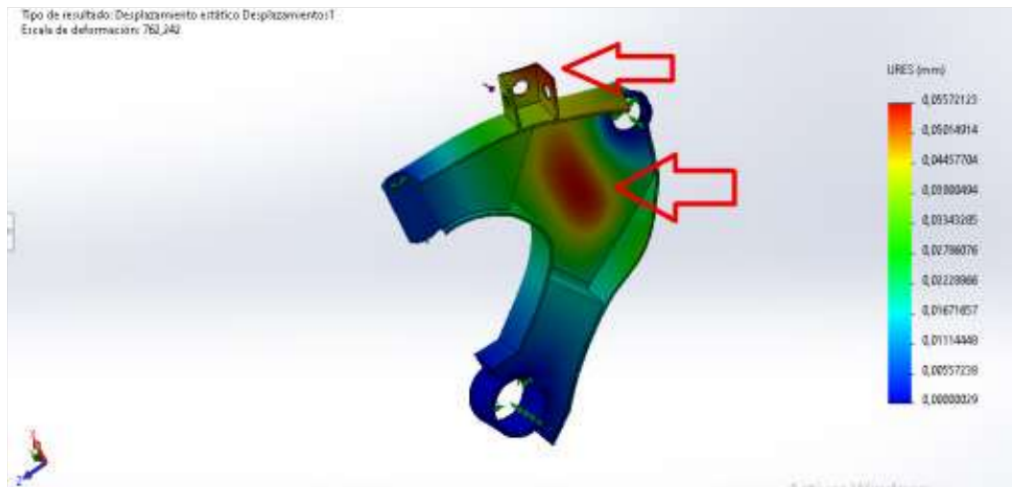
Deformaciones unitarias presentes en el acople de la pieza a la rueda



Nota. Imagen de zonas (de color rojo) con mayores deformaciones unitarias de la pieza cerca al acople de a la rueda (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Figura 33

Vista inferior de simulación de desplazamientos del ensamblaje



Nota. Imagen inferior de la pieza donde se identifican algunas zonas con mayor desplazamiento (Serrano Rincon, Navarro Torrado, & Florez Solano, 2020)

Resultados de la simulación de la pieza con el refuerzo de material

En el nuevo estudio de simulación de esfuerzos en la pieza muestra (brazo inferior oscilante) con una unión o ensamble de una chapa metálica de un espesor de 2 mm de material de acero AISI/SAE 1020 soldada en el centro de la pieza arrojo valores de tensiones mínimas de $5031861 \frac{N}{mm^2}$ y máximas de $50331996 \frac{N}{mm^2}$; desplazamientos máximos de 0.0557213 mm ubicados en la zona central de la pieza (Figura 33) y deformaciones unitarias presentes en el acople de la pieza a la rueda (Figura 32).

Nota. Las zonas con valores mínimos son representadas de color Azul y los valores máximos de color rojo; esto aplica a la simulación de esfuerzos de tensión, desplazamientos y deformaciones unitarias realizadas a la pieza y al refuerzo del material.

5 Conclusiones

Los datos obtenidos del ensayo estático en el diseño de la pieza con el refuerzo estructural mediante la implementación del diseño asistido por computadora y el análisis de simulaciones en SOLIDWORKS 2020, permitió encontrar una posible solución de los problemas estructurales presentes en el brazo oscilante de la suspensión McPherson, ya que los datos como tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias obtenidos de la simulación de la pieza modelo con una carga de 260 kgf fueron más elevados en comparación con los datos de la simulación realizada entre la pieza modelo y la chapa metálica de 2 mm de espesor como refuerzo estructural, las altas tensiones presentes en la pieza en condiciones de trabajo se redujeron de $90\,273\,640 \frac{N}{m^2}$ a $50331996 \frac{N}{m^2}$; los desplazamientos pasaron de 0,1656055 mm a 0.0557213 mm y las deformaciones unitarias cambiaron de 0,00031678 a 0,0001690.

Los resultados de este ensayo solamente están bajo un régimen de simulación estática y la pieza del brazo oscilante tiene algunos errores de medición en sus tolerancias (errores geométricos) con respecto a la pieza real, por lo que los resultados de la simulación realizada son datos aproximados a los que se presentaría bajo condiciones reales, ya que el brazo oscilante está constantemente sometido a distintas cargas y la variabilidad del terreno en donde circulara el vehículo presentara distintos datos a los contemplados en la simulación.

6 Apéndice

Figura 34

Centro de diagnóstico automotor EL COCHE



Nota. Fotografía del Centro de diagnóstico automotor donde se obtuvo información para el desarrollo del proyecto

Figura 35

Taller y Almacén Automotriz FEJARI MOTORS



Nota. Fotografía del Taller y Almacén Automotriz FEJARI MOTORS donde se obtuvo información para el desarrollo del proyecto

Figura 36

Suspensión McPherson de un Chevrolet Optra modelo 2007



Nota. Fotografía de la parte superior de una suspensión McPherson de un Chevrolet Optra modelo 2007

Referencias

- Arbeláez Toro J J, R. L. (2013). Evaluación de la adhesión de una suspensión MacPherson bajo la norma EuSAMA en un modelo matemático y uno multicuerpo. *Tecno. Lógicas Edición Especial* , 757-768. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234341058.pdf>
- Giraldo Gutiérrez, C. A. (2014). Diseño y simulación de control predictivo para suspensión MacPherson activa. 14-15. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/13220/GiraldoGutierrezCarlosArturo2014.pdf?sequence=4>
- Li-zhen , L., & Zhi-feng , S. (2014). Finite element simulation of front suspension lower arm of MacPherson type based on ANSYS. *Applied Mechanics and Materials*, 577. Obtenido de <https://www.scientific.net/AMM.577.162>
- M.Sridharan, S. (2016). Design and Analysis of Lower Control ARM . *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* , 6510. Obtenido de http://www.ijirset.com/upload/2016/april/260_DESIGN_NEW.pdf
- OMS. (2021). Traumatismos causados por el tránsito. *Organizacion Mundial de la Salud*, 1. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>

S.A, G. d. (2014). Manual Técnico de Suspensión. *Colombia: Gabriel de Colombia S.A.*

Obtenido de https://issuu.com/grupo-a/docs/manual_tecnico_suspension-gabriel

Serrano Rincon, C. A., Navarro Torrado, L., & Florez Solano, E. N. (2020). Failure study as a physical component in mechanical suspensions of two automobile models of an automotive Company. *Journal of Physics: Conference Series*, 1587. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/343478143_Failure_study_as_a_physical_component_in_mechanical_suspensions_of_two_automobile_models_of_an_automotive_company

Shinde S D, M. S. (2018). Literature review on analysis of various components of McPherson Suspension. *Materials Today: Proceedings* , 19102-19108. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785318313865>

Yves van der Straaten (OICA). (2022). Production Statistics. *International Organization of Motor Vehicle Manufacturers*, 1. Obtenido de [https://www.oica.net/production-](https://www.oica.net/production-statistics/)

[statistics/](https://www.oica.net/production-statistics/)