



**“Análisis, diseño y optimización del bastidor y la carrocería del Jeep Willys CJ3A”**

Castellano Moreta, Rodrigo Neptalí y Padilla Padilla, Jonathan Alfonso

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio

9 de febrero 2022

Latacunga



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**Análisis, diseño y optimización del bastidor y la carrocería del Jeep Willys CJ3A**”, fue realizado por los señores **Castellano Moreta, Rodrigo Neptalí y Padilla Padilla, Jonathan Alfonso**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 9 de febrero del 2022**

---

**Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio**

**C.C.: 0502509995**

## REPORTE DE VERIFICACIÓN DE CONTENIDO



TESIS CASTELLANO - PADILLA.docx

Scanned on: 16:49 February 7, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	583
Words with Minor Changes	142
Paraphrased Words	229
Omitted Words	0



Website | Education | Businesses

**Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio****C.C.: 0502509995**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotros, **Castellano Moreta, Rodrigo Neptalí y Padilla Padilla, Jonathan Alfonso**, con cédulas de ciudadanía N° 0503803454 y N° 0302660014, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis, diseño y optimización del bastidor y la carrocería del Jeep Willys CJ3A**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Latacunga, 9 de febrero del 2022**

---

**Castellano Moreta, Rodrigo Neptalí**

**C.C.: 0503803454**

---

**Padilla Padilla, Jonathan Alfonso**

**C.C.: 0302660014**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Nosotros, **Castellano Moreta, Rodrigo Neptalí y Padilla Padilla, Jonathan Alfonso**, con cédulas de ciudadanía N° 0503803454 y N° 0302660014, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis, diseño y optimización del bastidor y la carrocería del Jeep Willys CJ3A**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

**Latacunga, 9 de febrero del 2022**

---

**Castellano Moreta, Rodrigo Neptalí**

**C.C.: 0503803454**

---

**Padilla Padilla, Jonathan Alfonso**

**C.C.: 0302660014**

### **Dedicatoria**

El presente proyecto lo dedico a mi madre Yolanda Moreta Verdezoto y a mi padre Rodrigo Castellano Trávez quienes son un pilar fundamental para alcanzar este logro en mi vida con su apoyo incondicional en todos los aspectos para cumplir esta meta y por las enseñanzas inculcadas hasta hoy para convertirme en la mejor versión de mí.

A mis hermanas y hermanos quienes se volvieron fuente de inspiración para culminar la carrera y para alcanzar nuevas metas, gracias por estar junto a mí en los buenos y malos momentos que implico este camino en mi vida.

A mi abuelita Carmen Amelia Trávez Morejón, que con sus gestos y apoyo se volvió parte importante para cumplir este sueño quien, a pesar de ya no estar en este mundo, jamás será olvidada y que espero se encuentre orgullosa de este pequeño triunfo.

Para culminar agradezco a toda mi familia quienes me apoyaron incondicionalmente día a día por su ayuda prestada y motivación para no rendirme hasta alcanzar un sueño y meta más en mi vida.

**Rodrigo Castellano**

## **Dedicatoria**

El presente trabajo lo dedico a mis padres Luis Padilla y Adelaida Padilla, quienes me dieron la vida, educación, su apoyo y por las enseñanzas y conocimientos impartidos en lo largo de mi vida, por no permitirme rendirme y darme el valor para continuar adelante a pesar de las adversidades.

A mi hermana Mónica junto a mis sobrinos Yuceff y Justin quienes con su apoyo y palabras de aliento nunca me dejaron rendirme y han sido una gran fuente de inspiración para culminar la carrera universitaria.

**Jonathan Padilla**

### **Agradecimiento**

A Dios por darme salud, por permitirme cada día de vida junto a mi familia, a mis padres por cada oportunidad de superación que me han concedido sin importar las circunstancias, a mis hermanas y hermanito por ser un pequeño motor que me impulso para llegar más lejos de lo que nunca imagine, también a mi familia y amigos por su apoyo y palabras de aliento antes y durante mi travesía por la vida universitaria.

Finalmente agradezco a todos mis docentes, director de carrera y tutor por sus enseñanzas brindadas a lo largo de la carrera de igual forma a la universidad por la oportunidad para el desarrollo de esta tesis donde se pudo poner en práctica lo aprendido e incursionar en nuevos campos dentro de la industria automotriz y que aún hay mucho por descubrir.

**Rodrigo Castellano**

## **Agradecimiento**

Le agradezco a Dios por brindarme de salud y perseverancia cualidades que han sido de vital importancia para la culminación del presente trabajo de titulación.

También quiero agradecer a mis padres por todo el apoyo que supieron brindarme y por siempre estar para mí en los momentos en qué más los necesitaba brindándome sus palabras de apoyo.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por abrirme sus puertas y por permitirme formar parte de la misma, así como a los docentes que tuve el honor de conocer gracias por sus instrucciones y su guía en mi trayecto como estudiante.

Por último, quiero agradecer a los amigos que pude encontrar en este trayecto, a pesar de que en múltiples ocasiones queríamos rendirnos supimos apoyarnos para seguir adelante y culminar con nuestra vida universitaria.

**Jonathan Padilla**

## Tabla de contenido

<b>Carátula.....</b>	<b>1</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>2</b>
<b>Reporte de Verificación de Contenido .....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de Autoría .....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de Publicación .....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>8</b>
<b>Tabla de contenido .....</b>	<b>10</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>17</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>20</b>
<b>Índice de Ecuaciones .....</b>	<b>22</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>23</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>24</b>
<b>Planteamiento del Problema de Investigación.....</b>	<b>25</b>
<b>Antecedentes Investigativos .....</b>	<b>25</b>
<b>Planteamiento del Problema .....</b>	<b>27</b>
<b>Descripción Detallada del Proyecto .....</b>	<b>29</b>
<b>Justificación e Importancia .....</b>	<b>31</b>
<b>Objetivos del Proyecto.....</b>	<b>32</b>

<i>Objetivo General</i> .....	32
<i>Objetivos Específicos</i> .....	32
<b>Metas</b> .....	33
<b>Hipótesis</b> .....	33
<b>Variables de Investigación</b> .....	34
<i>Variable Independiente</i> .....	34
<i>Variable Dependiente</i> .....	34
<b>Marco Teórico</b> .....	35
<b>Historia del Vehículo Jeep Willys</b> .....	35
<b>Especificaciones del Jeep Willys CJ3A</b> .....	35
<b>Bastidor para Vehículos</b> .....	36
<i>Tipos de Bastidores</i> .....	37
<b>Bastidor Vehículo Jeep Willys</b> .....	37
<i>Especificaciones</i> .....	38
<i>Materiales Empleados para la Fabricación del Bastidor</i> .....	39
<b>Carrocería</b> .....	40
<b>Estudio Mecánico del Bastidor</b> .....	40
<i>Carga de Giro (G)</i> .....	41
<i>Carga de frenado (F)</i> .....	42
<i>Carga de Aceleración Brusca (Ab)</i> .....	42
<i>Carga por Resistencia del Aire Frontal (Raf)</i> .....	43

<i>Carga Muerta</i> .....	44
<i>Carga Viva</i> .....	44
Carga de Flexión .....	45
Criterio de Diseño Permisible para las Cargas Aplicadas.....	45
Resolución de Viga Continua.....	46
Momento en una Viga.....	47
Esfuerzo de Diseño.....	47
Esfuerzo Flexionante Máximo .....	48
Esfuerzo Cortante Máximo .....	48
Esfuerzo Equivalente de Von Mises .....	50
Factor de Seguridad .....	51
Aerodinámica Automotriz.....	52
Coefficientes Aerodinámicos .....	53
Método de Elementos Finitos.....	54
<i>Elementos Importantes</i> .....	55
Generación de Malla.....	56
<i>Tipos de malla</i> .....	57
<i>Generación Completamente Automatizada de Mallas</i> .....	57
Reglamento para el Estudio del Impacto frontal .....	57
Estudio de Deformaciones y Estados de Tensiones del Jeep Willys CJ3-A.....	58
Conceptualización .....	58

Dimensionamiento y Diseño del Bastidor .....	59
Designación de Carga Muerta (CM).....	60
Designación de la Carga Viva (CV).....	61
Elementos para el Análisis Estático.....	62
Análisis Estático en los Largueros del Bastidor .....	63
<i>Cálculo de las Reacciones en los Apoyos</i> .....	63
<i>Momento Máximo en la Viga</i> .....	67
<i>Cálculo de los Esfuerzos Aplicados a la Viga</i> .....	68
<i>Análisis del Factor de Diseño</i> .....	69
<b>Estudio Estático del Bastidor Jeep Willys CJ3-A Mediante Elementos</b>	
<b>Finitos</b> .....	69
<i>Consideraciones Previas para la Simulación del Bastidor</i> .....	70
<i>Asignación de Cargas</i> .....	70
<i>Determinación del Mallado</i> .....	71
<b>Análisis de los Valores Obtenidos en la Simulación</b> .....	73
<i>Deformación por Esfuerzo Máximo</i> .....	73
<i>Esfuerzo de Von Mises</i> .....	74
<i>Factor de Seguridad</i> .....	74
<b>Análisis Dinámico del Bastidor y la Carrocería</b> .....	77
<b>Análisis Dinámico del Bastidor</b> .....	77
<i>Deformación por Esfuerzo Máximo</i> .....	77
<i>Esfuerzo de Von Mises</i> .....	78

<i>Factor de Seguridad Dinámico</i> .....	78
<b>Carga de Giro (G)</b> .....	79
<i>Deformación por esfuerzo máximo</i> .....	80
<i>Esfuerzo de Von Mises</i> .....	80
<i>Factor de Seguridad</i> .....	81
<b>Carga de Frenado (F)</b> .....	83
<b>Carga de Aceleración brusca (Ab)</b> .....	83
<i>Deformación por Esfuerzo Máximo</i> .....	84
<i>Esfuerzo de Von Mises</i> .....	84
<i>Factor de Seguridad</i> .....	85
<b>Carga por Resistencia del Aire Frontal (Raf)</b> .....	87
<b>Análisis de Impacto Frontal</b> .....	90
<i>Fase I: Modelado 3D</i> .....	91
<i>Fase II: Revisión del Modelo 3D</i> .....	91
<i>Fase III: Mallado</i> .....	92
<i>Simulación</i> .....	92
<b>Análisis de Resultados del Impacto Frontal según Normativa Europea R94</b> .....	95
<i>Análisis de la Distancia A</i> .....	96
<i>Análisis de la Distancia B</i> .....	96
<i>Análisis de la Distancia C</i> .....	97
<i>Análisis de las Aceleraciones Gs Presentes en el Ocupante</i> .....	98

<b>Análisis del Impacto Frontal en Función de la Hipótesis Planteada .....</b>	<b>100</b>
<i>Análisis de la Distancia A .....</i>	<b>100</b>
<i>Análisis de la Distancia B .....</i>	<b>101</b>
<i>Análisis de la Distancia C .....</i>	<b>101</b>
<i>Análisis de las Aceleraciones Gs Presentes en el Ocupante .....</i>	<b>102</b>
<b>Optimización del Bastidor y la Carrocería .....</b>	<b>104</b>
<i>Diagrama de Flujo para Optimización del bastidor .....</i>	<b>104</b>
<i>Diagrama de Flujo para Optimización de la Carrocería .....</i>	<b>106</b>
<i>Visualización del Estado Inicial vs el Estado Final del Vehículo....</i>	<b>107</b>
<i>Tabla de Procesos para la Optimización del Bastidor y     la Carrocería.....</i>	<b>108</b>
<b>Marco Administrativo .....</b>	<b>113</b>
<b>Recursos .....</b>	<b>113</b>
<i>Recursos Humanos .....</i>	<b>113</b>
<i>Recursos Tecnológicos .....</i>	<b>114</b>
<i>Recursos Materiales.....</i>	<b>114</b>
<b>Presupuesto .....</b>	<b>115</b>
<b>Financiamiento.....</b>	<b>116</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>117</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>117</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>119</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>120</b>

**Anexos ..... 125**

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Árbol de Problemas</i> .....	28
<b>Figura 2</b> <i>Jeep Willys MB</i> .....	35
<b>Figura 3</b> <i>Bastidor de un Vehículo</i> .....	37
<b>Figura 4</b> <i>Númeración de los Componentes del Bastidor</i> .....	38
<b>Figura 5</b> <i>Carrocería Jeep Willys</i> .....	40
<b>Figura 6</b> <i>Fuerzas Distribuidas en el Chasis</i> .....	45
<b>Figura 7</b> <i>Sección de la Viga</i> .....	50
<b>Figura 8</b> <i>Resistencia Aerodinámica al Avance</i> .....	53
<b>Figura 9</b> <i>Resistencia Lift y Drag</i> .....	53
<b>Figura 10</b> <i>Clasificación de Elementos Finitos</i> .....	56
<b>Figura 11</b> <i>Diagrama para el Estudio de Deformaciones y Tensiones</i> .....	58
<b>Figura 12</b> <i>Diagrama para el Dimensionamiento del Bastidor</i> .....	59
<b>Figura 13</b> <i>Modelado del Jeep CJ3-A</i> .....	60
<b>Figura 14</b> <i>Viga Representada en 2D</i> .....	63
<b>Figura 15</b> <i>Tramos de la Viga</i> .....	64
<b>Figura 16</b> <i>Momentos que Influyen en la Viga</i> .....	64
<b>Figura 17</b> <i>Diagrama de Fuerzas Cortantes</i> .....	66
<b>Figura 18</b> <i>Diagrama de Momentos</i> .....	67
<b>Figura 19</b> <i>Diagrama Correspondiente al Estudio del Bastidor</i> .....	70
<b>Figura 20</b> <i>Aplicación de Fuerzas en la Estructura del Vehículo</i> .....	71
<b>Figura 21</b> <i>Aplicación del Mallado en la Estructura</i> .....	72
<b>Figura 22</b> <i>Deformación por Esfuerzo Máximo</i> .....	73
<b>Figura 23</b> <i>Esfuerzo Máximo de Von Mises</i> .....	74
<b>Figura 24</b> <i>Factor de Seguridad</i> .....	75

<b>Figura 25</b> <i>Deformación por Esfuerzo Máximo</i> .....	77
<b>Figura 26</b> <i>Esfuerzo de Von Mises</i> .....	78
<b>Figura 27</b> <i>Factor de Seguridad Dinámico</i> .....	79
<b>Figura 28</b> <i>Deformación por Esfuerzo Máximo Aplicando la Carga de Giro</i> .....	80
<b>Figura 29</b> <i>Esfuerzo Máximo de Von Mises Aplicando la Carga de Giro</i> .....	81
<b>Figura 30</b> <i>Factor de Seguridad Aplicando la Carga de Giro</i> .....	82
<b>Figura 31</b> <i>Deformación por Esfuerzo Máximo Aplicando la Carga de Frenado</i> .....	84
<b>Figura 32</b> <i>Esfuerzo Máximo de Von Mises Aplicando la Carga de Frenado</i> .....	85
<b>Figura 33</b> <i>Factor de Seguridad Aplicando la Carga de Frenado</i> .....	86
<b>Figura 34</b> <i>Área del Vehículo</i> .....	88
<b>Figura 35</b> <i>Simulación Aerodinámica del Jeep</i> .....	90
<b>Figura 36</b> <i>Modelado 3D del Vehículo Jeep Willys CJ3-A</i> .....	91
<b>Figura 37</b> <i>Secuencia de Simulación de Impacto Frontal (Vistas Laterales)</i> .....	93
<b>Figura 38</b> <i>Secuencia de Simulación de Impacto Frontal (Vista Frontal y Superior)</i> .....	94
<b>Figura 39</b> <i>Distancias Consideradas en el Análisis del Impacto Frontal</i> .....	95
<b>Figura 40</b> <i>Diagrama Distancia vs Tiempo (A)</i> .....	96
<b>Figura 41</b> <i>Diagrama Distancia vs Tiempo (B)</i> .....	97
<b>Figura 42</b> <i>Diagrama Distancia vs Tiempo (C)</i> .....	97
<b>Figura 43</b> <i>Fuerza Gs en la Cabeza</i> .....	98
<b>Figura 44</b> <i>Fuerza Gs en el Pecho</i> .....	99
<b>Figura 45</b> <i>Diagrama Distancia vs Tiempo (A)</i> .....	100
<b>Figura 46</b> <i>Diagrama Distancia vs Tiempo (B)</i> .....	101
<b>Figura 47</b> <i>Diagrama Distancia vs Tiempo (C)</i> .....	102
<b>Figura 48</b> <i>Fuerza Gs en la Cabeza</i> .....	103
<b>Figura 49</b> <i>Fuerza Gs en el Pecho</i> .....	103
<b>Figura 50</b> <i>Diagrama Optimización del Bastidor</i> .....	105

<b>Figura 51</b> <i>Diagrama Optimización de la Carrocería</i> .....	106
<b>Figura 52</b> <i>Estado Inicial de la Estructura del Vehículo</i> .....	107
<b>Figura 53</b> <i>Estado Final de la Estructura del Vehículo</i> .....	107

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Especificaciones del Vehículo Jeep Willys CJ3-A</i> .....	36
<b>Tabla 2</b> <i>Elementos del Bastidor</i> .....	38
<b>Tabla 3</b> <i>Propiedades del Acero Estructural ASTM A36</i> .....	39
<b>Tabla 4</b> <i>Radio de Giro en Función a la Velocidad del Vehículo</i> .....	41
<b>Tabla 5</b> <i>Factores de Seguridad para Materiales Dúctiles</i> .....	51
<b>Tabla 6</b> <i>Carga Muerta</i> .....	61
<b>Tabla 7</b> <i>Carga Viva</i> .....	61
<b>Tabla 8</b> <i>Cargas Utilizadas en el Análisis Estático</i> .....	62
<b>Tabla 9</b> <i>Esfuerzos Aplicados a la Viga</i> .....	68
<b>Tabla 10</b> <i>Factor de Diseño Calculado</i> .....	69
<b>Tabla 11</b> <i>Información de Malla</i> .....	72
<b>Tabla 12</b> <i>Resultados del Análisis Estático</i> .....	75
<b>Tabla 13</b> <i>Cálculo de la Carga de Giro</i> .....	79
<b>Tabla 14</b> <i>Resultados del Análisis Dinámico Aplicando la Carga de Giro</i> .....	82
<b>Tabla 15</b> <i>Cálculo de la Carga de Frenado</i> .....	83
<b>Tabla 16</b> <i>Cálculo de la Carga de Aceleración Brusca</i> .....	83
<b>Tabla 17</b> <i>Resultados del Análisis Dinámico Aplicando la Carga de Frenado</i> .....	86
<b>Tabla 18</b> <i>Datos Climatológicos</i> .....	87
<b>Tabla 19</b> <i>Cálculo de la Densidad del Aire</i> .....	88
<b>Tabla 20</b> <i>Cálculo de la Carga por Resistencia del Aire Frontal</i> .....	89
<b>Tabla 21</b> <i>Análisis de Fuerzas Gs a 56 km/h</i> .....	99
<b>Tabla 22</b> <i>Análisis de Fuerzas Gs a 60 km/h</i> .....	104
<b>Tabla 23</b> <i>Procesos Llevados a Cabo para la Optimización</i> .....	108
<b>Tabla 24</b> <i>Recursos Humanos</i> .....	113

<b>Tabla 25</b> <i>Recursos Tecnológicos</i> .....	114
<b>Tabla 26</b> <i>Recursos Materiales</i> .....	115
<b>Tabla 27</b> <i>Presupuesto Total</i> .....	116

**Índice de Ecuaciones**

<b>Ecuación 1</b> <i>Carga de Giro</i> .....	41
<b>Ecuación 2</b> <i>Carga de Frenado</i> .....	42
<b>Ecuación 3</b> <i>Carga de Aceleración Brusca</i> .....	43
<b>Ecuación 4</b> <i>Carga por Resistencia del Aire Frontal</i> .....	43
<b>Ecuación 5</b> <i>Carga Muerta</i> .....	44
<b>Ecuación 6</b> <i>Carga Viva</i> .....	44
<b>Ecuación 7</b> <i>Diseño Permisible</i> .....	46
<b>Ecuación 8</b> <i>Viga Continua</i> .....	46
<b>Ecuación 9</b> <i>Área del Semiarco Formado por el Momento</i> .....	47
<b>Ecuación 10</b> <i>Esfuerzo de Diseño Permisible</i> .....	48
<b>Ecuación 11</b> <i>Esfuerzo Flexionante Máximo</i> .....	48
<b>Ecuación 12</b> <i>Esfuerzo Cortante Máximo</i> .....	49
<b>Ecuación 13</b> <i>Primer Momento</i> .....	49
<b>Ecuación 14</b> <i>Esfuerzo Equivalente</i> .....	50
<b>Ecuación 15</b> <i>Factor de Seguridad</i> .....	52

## Resumen

El presente proyecto de titulación analizó el diseño del bastidor y carrocería del Jeep Willys CJ3A, a fin de optimizar componentes, la investigación simuló por ensayos virtuales el impacto frontal, en diferentes condiciones, considerando normativas que determinan: velocidad de 56 km/h y dimensiones de estructura de impacto; el modelado 3D del Jeep es escala 1:1, la fuerza Gs que es magnitud del cuerpo humano para el intercambio del momento lineal durante una colisión se encuentre la fuerza dentro de un valor permisible para la cabeza y pecho de 80 y 60 respectivamente. El análisis estático y dinámico del bastidor a través de simulaciones empleando normativas nacionales determinando cargas de: giro, frenado, aceleración brusca, por resistencia del aire frontal, muerta y viva; de manera que el valor de la deformación por esfuerzo máximo, el esfuerzo de Von Mises y el Factor de seguridad se encuentren dentro de los rangos admisibles para esta estructura, siendo de 1 mm máximo para la deformación, considerando el límite de fluencia del material de 250 MPa como valor máximo para el esfuerzo de Von Mises y un factor de seguridad mínimo de 2 para garantizar el diseño de los componentes del Jeep. Analizado los datos se determinó, el Jeep CJ-3A no cumple con las condiciones para la circulación como medio de transporte de uso cotidiano, debido a que, al producirse un siniestro o colisión, la integridad física de los ocupantes puede verse afectada gravemente, se obtuvo valores de 116 Gs para la cabeza y 69,4 Gs para el pecho, sobrepasando lo normado.

Palabras clave:

- **BASTIDOR TIPO ESCALERA**
- **CARROCERÍA - AUTOMÓVIL**
- **IMPACTO FRONTAL**
- **NORMATIVA EUROPEA R94 Y INEN 1323**

### **Abstract**

The degree project analyzed the design of the chassis and bodywork of the Willys CJ3A Jeep to optimize components. The research simulated the frontal impact through virtual tests in different conditions considering regulations that determine: speed of 56 km/h and dimensions of impact structure; The 3D modeling of the Jeep is scaled 1:1, the Gs force, which is the magnitude of the human body for the exchange of linear momentum during a collision, is within a permissible value for the head and chest of 80 and 60, respectively. The static and dynamic analysis of the chassis through simulations using national standards determining loads of turning, braking, sudden acceleration, frontal air resistance, dead and live. So that the value of the deformation by maximum stress, the Von Mises stress, and the Safety Factor are within the acceptable ranges for this structure, being 1 mm maximum for the deformation, considering the material creep limit of 250 MPa as the maximum value. For the Von Mises stress and a minimum safety factor of 2 to ensure the design of the Jeep components. After analyzing the data, we determined that the Jeep CJ-3A does not meet the conditions for circulation as a means of transportation for daily use. When an accident or collision occurs, the physical integrity of the occupants can be seriously affected, obtained values of 116 Gs for the head and 69.4 Gs for the chest, exceeding the norm.

Keywords:

- **LADDER-TYPE CHASSIS**
- **BODYWORK – AUTOMOBILE**
- **FRONTAL IMPACT**
- **EUROPEAN STANDAR R94 AND INEN1323**

## Capítulo I

### 1. Planteamiento del Problema de Investigación

#### 1.1 Antecedentes Investigativos

En el mundo actualmente existe un enfoque en los sistemas informáticos de simulación para ayudar con la optimización de los componentes estructurales de los vehículos, es por ello que existen varios talleres dedicados a la optimización vehicular en el mercado internacional para la recuperación del bastidor y carrocerías de vehículos que se encuentren deteriorados por el paso del tiempo, en el Ecuador existen pocos centros automovilísticos que cuentan con la tecnología adecuada, más específicamente softwares de diseño para el estudio de cargas, deformaciones y tensiones presentes en el bastidor y carrocería para determinar la fiabilidad de los mismos en referencia a la seguridad pasiva de los ocupantes.

Es por ello que en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, en referencia a Memorando Nro. ESPE-SL-DCEM-2021-0891-M de Latacunga, 26 de marzo de 2021, "Sr. Director de Departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica en referencia a Memorando Nro. ESPE-SL-JAC-2021-0204M me permito remitir el Informe de viabilidad de la restauración del vehículo JEEP WILLYS como parte de los proyectos de titulación de la carrera de Ingeniería Automotriz, información que pongo en su conocimiento para fines pertinentes"

Según (Cuadrilla Corona, 2011) La resolución de varios problemas ingenieriles han sido determinado con gran éxito empleando el método por elementos finitos. Esta metodología tiene varias aplicaciones entre ellas el análisis por deformación y esfuerzo que es ampliamente estudiado en el sector automotriz enfocándose en su estructura,

también se pueden realizar análisis de flujos y otros análisis que estarán en función de las prestaciones del software CAD o los requisitos que se deseen estudiar.

Según (López Villacís & López Pazmiño, 2015) las simulaciones empleando el método de elementos finitos y aplicados a la carrocería y el bastidor requiere de ciertos criterios para el desarrollo de la misma, entre los cuales se puede mencionar el cálculo analítico según el tipo de carga, los puntos de apoyo, las restricciones, entre otros aspectos que determinarán la calidad del estudio a realizarse o del problema planteado.

Actualmente el Ecuador no consta de una normativa desarrollada específicamente para el diseño de carrocerías para vehículos medianos de carácter todoterreno, tomando esto en cuenta es necesario el uso y estudio de la Norma Técnica Ecuatoriana 1323:2009, misma que es considerada como una base para el diseño de diferentes estructuras para vehículos de transporte. (Bohórquez Suarez & Carranza Escobar, 2019)

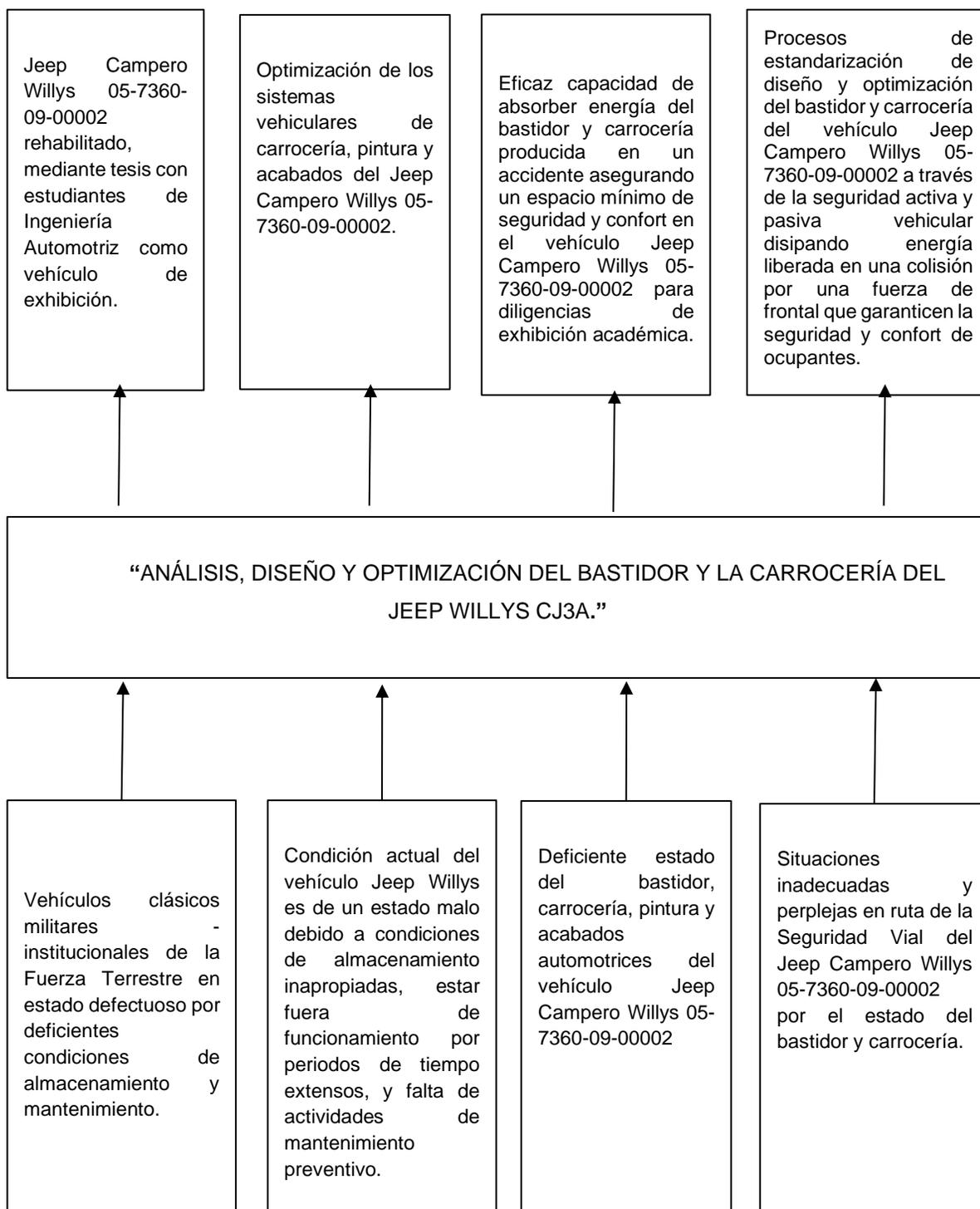
En función del tipo de análisis surgen dos aspectos a considerarse, un estudio estático y otro dinámico que garanticen el diseño de una estructura, para lo cual una de las principales herramientas son los programas CAE o CAD que permiten realizar estudios o simulaciones empleando el método de elementos finitos que a su vez dicho software permite predecir resultados lo más cercanamente posibles a la realidad en función de las condiciones y pruebas que se ejecuten en el mismo, generalmente utilizado hoy en día para el estudio de carrocerías y bastidores. (Bohórquez Suarez & Carranza Escobar, 2019)

Según (Bohórquez Suarez & Carranza Escobar, 2019) presentan el proceso para la restauración del bastidor del vehículo Jeep Willys, dentro de los cuales consideran procesos de manufactura del material, aplicación para la estructura, entre

otros aspectos. También presentan el procedimiento correspondiente para el armado de los demás sistemas automotrices sobre el bastidor de este vehículo.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

El utilizar recursos tecnológicos, así como también, el uso de refacciones originales que no afecten la estética original y clásica de fabricación de un vehículo antiguo, hace evidente un problema de los altos costos de reconstrucción y restauración en la optimización de un vehículo clásico, de tal manera que se puedan mantener características particulares de delineación y elaboración originales de los sistemas vehiculares de este tipo de móviles, así es primordial, considerar principios de la ingeniería mecánica, manufactura, eléctrica y otros vinculados a la industria del automóvil necesarios en la acción de la optimización del bastidor y la carrocería a ser aplicados considerando el estado de conservación de un vehículo, esto hace que se pueda considerar entornos prometedores de emprendimiento a nivel de país en la industria del mantenimiento, más aun considerando que el parque automotor público de las fuerzas armadas cuenta con altos porcentaje de vehículos que están en esta línea de auténticos – clásicos.

**Figura 1***Árbol de Problemas*

*Nota.* Árbol de problemas presentes en la investigación.

La inexistencia de normativas e información en torno al diseño de bastidores y carrocerías para vehículos todoterreno representa una gran problemática al momento de diseñar automóviles de este tipo. El sector automotriz ecuatoriano en la mayor parte de actividades productivas de la industria del automóvil, no cumple con las normativas de fabricación y pruebas de seguridad.

Tomando en cuenta el periodo en el que se fabricó el Jeep Willys CJ3-A, se puede decir que al momento de su fabricación no se tomaron en cuenta las características de seguridad actuales, por el hecho de que se enfatizaba en la funcionalidad y no en la seguridad, siendo necesario un análisis estructural para determinar que el vehículo sea seguro, y pueda ser operado en la actualidad.

Actualmente el país no cuenta con talleres especializados en la optimización de bastidores y carrocerías, debido a la falta de instituciones formativas respecto a esta temática de manera profesional, a este problema se le suma la escasez de repuestos para este tipo de vehículos, siendo costosa su importación personal desde otros países.

### **1.3 Descripción Detallada del Proyecto**

El presente proyecto consistió en el análisis, diseño y optimización del bastidor y la carrocería del Jeep Willys CJ3-A, con el fin de preservar la estructura inicial del vehículo. Para lo cual se establecieron las siguientes fases:

La primera fase del proyecto consistió en la inspección de los componentes en los cuales se realizó el análisis de las falencias tanto en el bastidor como en la carrocería lo cual permitió determinar las correcciones a realizar, también se procedió a determinar las dimensiones y posibles optimizaciones a realizarse en los componentes anteriormente mencionados, esto permitió proceder a la siguiente fase.

La siguiente fase consistió en la fundamentación científica del proyecto a través de medios de información Bibliográficos verificables empleando bases de datos digitales, libros, manuales, normativas y artículos enfocados al análisis de estructuras como la carrocería y el chasis, y los procesos de pintura y acabados automotrices en el vehículo Jeep Willys CJ3A.

En otra fase se desarrolló el modelado en CAD de los diferentes componentes, para la simulación asistida mediante el software empleando el método de elementos finitos en base a pruebas de choque frontal, posteriormente, se realizó el cálculo de las cargas que actúan sobre el bastidor y la carrocería en base a la normativa NTE INEN 1323:2009 de acuerdo a los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías considerando la NTE INEN ISO 3833 y la NTE INEN 1 155 para cargas de: aceleración brusca, frenado, giro, muerta, viva y resistencia del Aire frontal. Se desarrolló el análisis de datos para determinar la confiabilidad estructural del bastidor y la carrocería.

Se procedió con la optimización de los sistemas vehiculares de carrocería, pintura y acabados automotrices, del vehículo Jeep Willys CJ3A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Tomando en cuenta la presencia de grietas y descascarillados en la pintura lo cual reveló la existencia de deformaciones locales en el material que sirve de soporte y dado el caso se procedió a realizar un enderezamiento del bastidor y carrocería, y en el caso de existir oxidación del material se procedió con el reemplazo del mismo. Una vez realizadas estas correcciones se procedió al repintado y acabados finales de estos componentes, para la preservación de los mismos.

#### **1.4 Justificación e Importancia**

El presente proyecto pretende establecer los procedimientos para la optimización del bastidor y la carrocería del vehículo Jeep Willys CJ3A, para lo cual es necesario determinar condiciones estructurales de estos componentes. En este caso las pruebas de choque para vehículos constituyen un factor que ha tomado gran importancia en las últimas décadas, en el proceso de la fabricación y restauración de automóviles de cualquier tipo.

En la actualidad, se está haciendo cada vez más frecuente el uso de herramientas computarizadas, tales como, ABAQUS CAE 6.4.5, ANSYS WORKBENCH, AUTO-DESK ALGOR SIMULATION, FEMAP, AUTOFEM y otros, que permiten determinar el estado de tensiones, realizar las simulaciones de carga, entre otras funciones. Estas herramientas, están basadas en el Método de los Elementos Finitos (MEF), esto se debe principalmente a las ventajas que el método presenta a la hora de aportar información sobre el posible comportamiento del vehículo ante un impacto. El Método de los Elementos Finitos aporta información valiosa, utilizada por los ingenieros y fabricantes de automóviles, para obtener una visión más clara de las reacciones, estado de tensiones y de las deformaciones de los vehículos, para así poder diseñar sistemas más confiables.

Es aquí donde radica la importancia del proyecto, ya que al emplear esta metodología ya no sería necesario la realización de las pruebas de carácter destructivo, puesto que dichas pruebas consisten en simular el choque del vehículo en condiciones reales, con la finalidad de determinar la seguridad que este sea capaz de brindarles a los ocupantes. Por ende, esta metodología permitió determinar la fiabilidad del chasis y la carrocería, sin la necesidad de exponerlos a un ensayo de carácter destructivo.

Entonces la información que sea proporcionada por el uso de software para el análisis de la estructura mediante el método de elementos finitos permitió determinar si el vehículo cumple con las condiciones de seguridad para su libre circulación como un vehículo estándar o si deberá ser utilizado solamente en exhibiciones.

Y desde el punto de vista en relación a la preservación de la historia, el vehículo Jeep Willys CJ3A, una vez restaurado podrá servir para ser utilizado por las fuerzas militares o armadas terrestres, en desfiles de carácter cívico o eventos de índole militar.

## **1.5 Objetivos del Proyecto**

### **1.5.1 Objetivo General**

- Analizar, diseñar y optimizar el bastidor y la carrocería del vehículo JEEP WILLYS CJ3A.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Fundamentar científicamente al análisis de estructuras como la carrocería, bastidor, procesos de pintura y acabados automotrices en el vehículo Jeep Willys CJ3A.
- Realizar la simulación asistida mediante un software CAD de uso libre, que permita el cálculo de las cargas que actúan sobre el chasis de acuerdo a los requisitos generales para el diseño, y fabricación de carrocerías considerando la NTE INEN 1 333.
- Estudiar el comportamiento de cargas de: aceleración brusca, frenado, giro, muerte, viva y resistencia del aire frontal considerada como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales, deformaciones y estados de tensiones en condiciones de carga y restricción de movimiento a través de pruebas de choque frontal.

- Desarrollar el análisis de datos para determinar la confiabilidad estructural y mecánica en el diseño mecánico lineal, no lineal y dinámico de la carrocería y bastidor
- Optimizar los sistemas vehiculares de carrocería, pintura y acabados automotrices del vehículo Jeep Willys CJ3A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

### **1.6 Metas**

- Recopilar información de carácter bibliográfico del análisis de deformaciones y tensiones presenten en el chasis, pruebas de impacto frontal y el análisis aerodinámico.
- Determinar el software CAD adecuado para el diseño del chasis y carrocería, en el cual se puedan aplicar las cargas consideradas en la normativa 1 333.
- Simular el comportamiento de las cargas de: aceleración brusca, frenado, giro, muerta, viva y resistencia del aire frontal y la influencia que tienen estas sobre el chasis y la carrocería, mediante la aplicación de pruebas de choque frontal.
- Emplear el método de análisis por elementos finitos para determinar las fuerzas, deformaciones y tensiones que van a estar presentes en la estructura.
- Ensamblar el vehículo Jeep Willys con los componentes optimizados, como lo son el bastidor, la carrocería y aplicar los procesos de repintado automotriz con su respectivo acabado para la entrega del producto final.

### **1.7 Hipótesis**

- ¿Por medio del análisis de las deformaciones y estados de tensiones en condiciones de carga y restricción de movimiento a través de pruebas de choque frontal mediante la utilización de un software de elementos finitos se puede

determinar la fiabilidad de la estructura del vehículo al impactar contra un muro a 60 km/h?

## **1.8 Variables de Investigación**

Para el proyecto de investigación se aplicará las variables como son: variables dependientes y variables independientes.

### **1.8.1 Variable Independiente**

- Análisis estructural del chasis del vehículo Jeep Willys CJ3A, empleando el método de elementos finitos.

### **1.8.2 Variable Dependiente**

- Fiabilidad de la estructura del vehículo, para determinar el grado de optimización del mismo.

## Capítulo II

### 2. Marco Teórico

#### 2.1 Historia del Vehículo Jeep Willys

El trabajo investigativo realizado por (Mejía, 2008) detalla que la marca Jeep Willys aparece en el año de 1908 con la adquisición de la compañía Overland Automotive Division la cual presenta un prototipo de vehículo militar en 1940, siendo el Jeep Willys MB su primer diseño.

#### Figura 2

*Jeep Willys MB*



*Nota.* La figura muestra el vehículo Jeep Willys MB. Tomada de Classic Trends, s.f.

#### 2.2 Especificaciones del Jeep Willys CJ3A

Las especificaciones del vehículo Jeep Willys CJ3-A se basan en su tren motriz, el motor, su rendimiento entre otros, que se encuentran detallados en la Tabla 1.

**Tabla 1***Especificaciones del Vehículo Jeep Willys CJ3-A*

ítem	Características	Datos
Motor	Modelo	F6-161
	Tipo	En línea
	Nº de cilindros	6 cilindros
	Cilindrada	2638 $cm^3$
	Relación de compresión	7,6:1
	Potencia máxima a 4000 RPM	90 C.V.
	Capacidad	Tanque de combustible
Peso	Peso del vehículo con los depósitos llenos	1170 $kg$
Rendimiento	Velocidad máxima	65 $km/h$
Tren Motriz	Transmisión manual de cuatro posiciones	3 velocidades y retro
	Multiplicador de potencia (transfer)	Tracción 4x4

*Nota.* Ficha técnica del vehículo Jeep Willys CJ3-A con los datos más relevantes de sus especificaciones. Tomada de Willys-Overland, 1963.

### 2.3 Bastidor para Vehículos

Un bastidor se considera como un tipo común de estructura la cual generalmente está compuesta por elementos que están sometidos a más de dos

fuerzas, se usan para soportar cargas, en el caso de los bastidores para vehículos estos son utilizados para soportar el peso de la carrocería y los sistemas automotrices (Hibbeler, 2010).

### **Figura 3**

*Bastidor de un Vehículo*



*Nota.* La figura muestra el bastidor generalmente utilizado en vehículos. Tomada de: Motor.es, s.f.

#### **2.3.1 Tipos de Bastidores**

Generalmente suelen variar en función del vehículo para el que estén diseñados, con diferentes formas y geometría, tomando en cuenta los esfuerzos que éste debería tolerar (Cascajosa Soriano, 2005).

- Independiente
- Autoportante
- Plataforma
- Entre otros.

#### **2.4 Bastidor Vehículo Jeep Willys**

El bastidor consta de un diseño firme y se encuentra ensamblado mediante dos largueros laterales y cinco transversales, los largueros transversales se encargan de

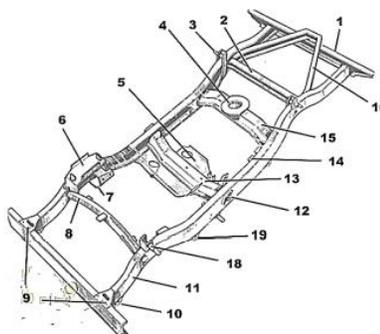
mantener una estructura rígida que deberá proporcionar la mayor resistencia a esfuerzos máximos de flexión y torsión que puedan presentarse sobre la misma (Motor Ibérica, 1963)

### 2.4.1 Especificaciones

El bastidor del vehículo Jeep Willys CJ3-A se compone de varios elementos que se encuentran representados en la Figura 4 y la Tabla 2.

#### Figura 4

*Numeración de los Componentes del Bastidor*



*Nota.* Lista de componentes individuales del bastidor de un Jeep Willys mediante la identificación a través de números. Tomada de Descripción Bastidor, Bohórquez Suarez & Carranza Escobar, 2019.

#### Tabla 2

*Elementos del Bastidor*

Descripción	Designación
Travesaño	1 – 2 – 8 – 15
Base de amortiguador	3 – 18
Apoyo de la caja del transfer	5

Descripción	Designación
Base del parachoques	9
Base del puente	12
Travesaño de la caja de velocidades	13
Base de carrocería	14
Brazo de refuerzo	16

*Nota.* Esta tabla muestra la designación de los diferentes componentes del chasis del vehículo Jeep Willys CJ3-A en función a la figura 4. Adaptada de Lámina-1, Motor Perkins, 1982.

#### 2.4.2 Materiales Empleados para la Fabricación del Bastidor

El ASTM A36 es uno de los metales más utilizados, mismo que tiene varias presentaciones, las cuales pueden ser en forma de perfiles, en forma de placas y/o en forma de barras que son comercialmente accesibles, donde se resaltan algunas cualidades como su resistencia a la fluencia, de fácil soldadura y que puede ser empleado para otras aplicaciones. (Mott, 2009).

**Tabla 3**

*Propiedades del Acero Estructural ASTM A36*

	Composición Química					Propiedades mecánicas			
	%C	%Mn	%P	%S	%Si				%
ASTM	x	x	x	x	x	Límite elástico	Resistencia Tracción	Alar	
	100	100	100	100	100			ga/.	
A36	<i>min.</i>					23kg	41kg	400MPa	20
	-	80	-	-	15	/mm2	/mm2		

Composición Química					Propiedades mecánicas				
<i>máx.</i>					25kg		56kg		
	26	120	5	4	40	250MPa	550MPa	21	
					/mm2	/mm2			

*Nota.* Esta tabla muestra cuales son las propiedades tanto físicas como químicas del acero estructural ASTM A36. Adaptada de Ferrocortes, 2020.

## 2.5 Carrocería.

La carrocería, se encuentra fabricada en su totalidad de chapa de acero, a la cual se le añaden diversas monturas para que pueda fijarse sobre el bastidor. Las chapas son reforzadas con perfiles en U los cuales son soldados a las mismas. Las chapas también poseen dobleces en sus bordes para reforzarlas (Motor Ibérica, 1963).

### Figura 5

*Carrocería Jeep Willys*



*Nota.* En la presente figura se muestra la carrocería que está montada sobre el bastidor del vehículo Jeep Willys. Tomada de Classic Trends, s.f.

## 2.6 Estudio Mecánico del Bastidor

Para el estudio mecánico del bastidor se hace uso de la normativa INEN 1323, que proporciona las cargas que actúan sobre dicha estructura entre las cuales se

tienen: la carga de aceleración brusca, carga de frenado, Carga de giro, Carga por Resistencia del Aire frontal, Carga viva y Carga muerta (NTE INEN, 2009).

### 2.6.1 Carga de Giro ( $G$ )

Corresponde a la fuerza producida por el giro de un vehículo (NTE INEN, 2009).

#### Ecuación 1

Carga de Giro (NTE INEN, 2009)

$$G = Mt * \frac{\left(\frac{V}{3,6}\right)^2}{Rc}$$

Donde:

$G$  = Carga de giro ( $N$ )

$Mt$  = Masa total de la carrocería ( $kg$ )

$V$  = Velocidad del vehículo  $\left(\frac{km}{h}\right)$

$Rc$  = Radio de curvatura ( $m$ )

Para el desarrollo de la carga de giro la normativa INEN 1323 provee diversos valores en función de la velocidad, mismos que se encuentran detallados en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Radio de Giro en Función a la Velocidad del Vehículo*

Velocidad del vehículo (km/h)	Radio de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	

Velocidad del vehículo (km/h)	Radio de la carretera (m)	Peralte (%)
90	350	
95	400	
100	450	8
105	500	

*Nota.* Radios de giro correspondientes a la velocidad para el cálculo de la carga de frenado. Adaptada de Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera, NTE INEN, 2009.

### 2.6.2 Carga de frenado ( $F$ )

Es la fuerza resultante del frenado de un vehículo (NTE INEN, 2009).

#### Ecuación 2

*Carga de Frenado* (NTE INEN, 2009)

$$F = Mt * af$$

Donde:

$F$  = Carga de frenado ( $N$ )

$Mt$  = Masa total del vehículo ( $kg$ )

$af$  = Aceleración y/o desaceleración del vehículo ( $m/s^2$ )

### 2.6.3 Carga de Aceleración Brusca ( $Ab$ )

Es la fuerza resultante de una aceleración brusca en un vehículo (NTE INEN, 2009).

**Ecuación 3**

*Carga de Aceleración Brusca* (NTE INEN, 2009)

$$Ab = -F$$

Donde:

$Ab$  = Carga de aceleración brusca ( $N$ )

$F$  = Carga de frenado ( $N$ )

**2.6.4 Carga por Resistencia del Aire Frontal ( $Raf$ )**

Es la fuerza ejercida por el aire, el cual actúa sobre un área correspondiente a la proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal (NTE INEN, 2009).

**Ecuación 4**

*Carga por Resistencia del Aire Frontal* (NTE INEN, 2009)

$$Raf = \frac{1}{2} Cx * p * Af * V^2$$

Donde:

$Raf$  = Carga por resistencia Aerodinámica ( $N$ )

$Cx$  = Coeficiente de resistencia frontal del aire

$p$  = Densidad del aire ( $kg/m^3$ )

$Af$  = Área correspondiente a la proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal ( $m^2$ )

$V$  = Velocidad del aire ( $m/s$ )

### 2.6.5 Carga Muerta

Corresponde al peso total de la carrocería en condiciones operativas, lo cual incluye todos los elementos estructurales y no estructurales permanentes, es decir, la carrocería terminada con todos sus complementos (NTE INEN, 2009).

Para determinar la carga muerta se emplea la siguiente ecuación:

#### Ecuación 5

*Carga Muerta* (NTE INEN, 2009)

$$CM = M_v * g$$

Donde:

$CM$  = Fuerza obtenida de la carga muerta ( $N$ )

$M_v$  = Masa muerta ( $kg$ )

$g$  = Gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

### 2.6.6 Carga Viva

Corresponde a la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería (NTE INEN, 2009).

Para determinar la carga viva se emplea la siguiente ecuación:

#### Ecuación 6

*Carga Viva* (NTE INEN, 2009)

$$CV = M_T * g$$

Donde:

$CV =$  Carga viva total. ( $N$ )

$M_T =$  Masa total ( $kg$ )

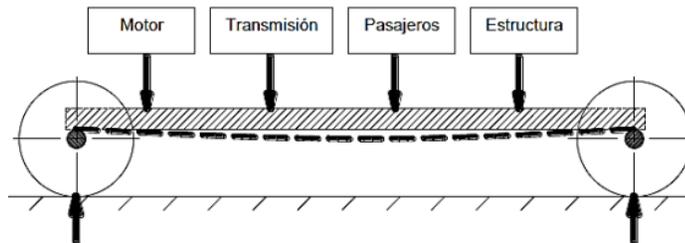
$g =$  Gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

## 2.7 Carga de Flexión

En esta carga se consideran los componentes del vehículo, así como la carga de trabajo en función del peso de cada uno, las cuales deben estar distribuidas a lo largo de la estructura. Donde la estructura será tratada como una viga en dos dimensiones simétrica al eje longitudinal que permitirá determinar las reacciones y momentos resultantes sobre la misma (Happian-Smith, 2002).

### Figura 6

*Fuerzas Distribuidas en el Chasis*



*Nota.* La figura muestra las diferentes fuerzas distribuidas a lo largo del bastidor del vehículo. Tomada de Cargas actuantes en la deflexión del chasis, Cepeda Miranda, 2006.

## 2.8 Criterio de Diseño Permisible para las Cargas Aplicadas

Producto de las condiciones de cargas descritas y la composición del vehículo se generan los esfuerzos, donde los parámetros aceptables deberán estar regidos a condiciones de carga abruptas sobrepuestas en dicha estructura, y para que la misma ofrezca un grado de estrés inferior al límite de elasticidad se deben considerar cargas

fijas iguales y un factor de seguridad en función de la situación a desempeñarse (Happian-Smith, 2002)

### **Ecuación 7**

*Diseño Permisible* (Happian-Smith, 2002)

$$\sigma_{equivalente} \leq \frac{2}{3} * \sigma_{fluencia}$$

Donde la tensión no deberá exceder de 0.67 respecto al límite elástico en pruebas bajo las peores condiciones de carga.

## **2.9 Resolución de Viga Continua**

Para la resolución de este tipo de vigas se debe tener en cuenta que la misma no debe presentar discontinuidades de tal forma que se pueda aplicar el método de los tres momentos a través del cual se podrá obtener una ecuación que permita despejar algunas de las variables presentes en dicha viga (Mott, 2009)

### **Ecuación 8**

*Viga Continua* (Mott, 2009)

$$M_1 * L_1 + 2M_2(L_1 + L_2) + M_3(L_2) = -\frac{6 * A_1 * d_1}{L_1} - \frac{6 * A_2 * d_2}{L_2}$$

Donde:

$A_2$  = Área del momento en el segundo tramo de la viga

$d_1$  = Distancia medida desde el centro de la viga hasta el primer punto de apoyo

$A_1$  = Área del momento en el primer tramo de la viga

$d_2$  = Distancia del primer apoyo al segundo apoyo

$L_1$  = Distancia total obtenida entre los apoyos

En base a lo anteriormente establecido el primer paso es obtener el área respectiva para cada momento, datos que al ser reemplazados en la ecuación 8 permiten despejar las demás incógnitas o variables.

### Ecuación 9

*Área del Semiarco Formado por el Momento* (Mott, 2009)

$$\text{Área } V_1 = \frac{W * L^2}{8}$$

$$A_1 = \frac{2}{3}L * \frac{W * L^2}{8}$$

$$A_1 = \frac{W * L^3}{12}$$

$$d_1 = \frac{L}{2}$$

$$M_1 * L_1 + 2M_2(L_1 + L_2) + M_3(L_2) = -\frac{6 * W_1 * L_1^3}{24} - \frac{6 * W_2 * L_2^3}{24}$$

### 2.10 Momento en una Viga

El momento en una viga se produce al aplicar una fuerza en uno de los extremos de la misma, es decir, que esta tiende a girar alrededor de un punto de apoyo, a esto se le conoce como “par” o momento concentrado (Mott, 2009).

### 2.11 Esfuerzo de Diseño

Este criterio se emplea para garantizar el propósito que deberá cumplir un elemento en función del material. Donde el nivel de esfuerzo aplicado sobre dicho elemento no deberá exceder la resistencia máxima a la tensión con respecto al material (Mott, 2009).

**Ecuación 10**

*Esfuerzo de Diseño Permisible* (Mott, 2009)

$$\sigma_{diseño} = \frac{S_y}{N}$$

Donde:

$S_y$  = Resistencia a la cedencia

$N$  = Factor de diseño

**2.12 Esfuerzo Flexionante Máximo**

Un esfuerzo flexionante tiende a surgir en una viga debido a la presencia de momentos flexionantes internos que entran en contacto con los momentos y esfuerzos externos aplicados sobre la misma, generando que esta se curve (Mott, 2009).

**Ecuación 11**

*Esfuerzo Flexionante Máximo* (Budynas & Keith Nisbett, 2012)

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} * C}{I}$$

Donde:

$M_{max}$  = Momento máximo

$C$  = Distancia medida hacia el eje neutro

$I$  = Segundo momento de inercia

**2.13 Esfuerzo Cortante Máximo**

Los esfuerzos cortantes surgen en una viga, debido a la acción de las fuerzas cortantes misma que pueden ocasionar el cizallamiento o corte de dicha viga (Mott, 2009).

**Ecuación 12**

*Esfuerzo Cortante Máximo* (Budynas & Keith Nisbett, 2012)

$$\tau_{xy} = \frac{V * Q}{I * b}$$

Donde:

$V$  = Esfuerzo cortante

$Q$  = Primer momento en función al eje centroidal del área

$h$  = Espesor del perfil

$I$  = Momento de inercia.

La resolución del primer momento respecto al eje centroidal del área se determina a continuación:

**Ecuación 13**

*Primer Momento* (Budynas & Keith Nisbett, 2012)

$$Q = \bar{Y} * A'$$

Donde:

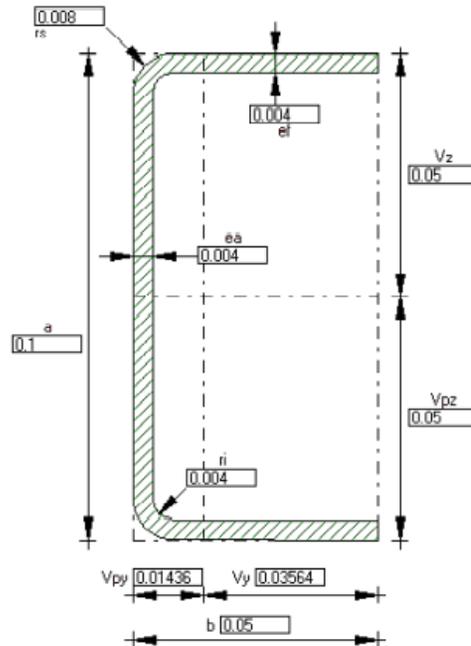
$\bar{Y}$  = Distancia del eje neutro

$A'$  = Centroide de área

Para determinar el primer momento se requiere conocer las dimensiones de la viga que le da forma al bastidor, los cuales se detallan en la Figura 7.

**Figura 7**

Sección de la Viga



*Nota.* Representación del perfil de la viga “sección transversal”. Tomada de Sección de la viga, Bohórquez Suarez & Carranza Escobar, 2019.

## 2.14 Esfuerzo Equivalente de Von Mises

En este tipo de esfuerzos se empleará el esfuerzo de Von Mises para referenciar y representar los efectos generados en las diferentes condiciones presentadas, de tal forma que se posibilite establecer cualquier estado de tensión tridimensional variable como un solo valor positivo, mismo que es empleado con mucha frecuencia en estos diseños (Budynas & Keith Nisbett, 2012).

### Ecuación 14

*Esfuerzo Equivalente* (Budynas & Keith Nisbett, 2012)

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x\sigma_y + 3(\tau_{xy})^2}$$

Donde:

$\sigma_x$  = Esfuerzo flexionante máximo

$\sigma_y$  = Esfuerzo de torsión máximo

$\tau_{xy}$  = Esfuerzo cortante máximo

### 2.15 Factor de Seguridad

Se considera al factor de seguridad como una medida que poseen todos los componentes que están sujetos a la acción de una carga, donde el diseñador determinará un valor razonable para garantizar su diseño y en algunos casos este valor lo define la Sociedad Estadounidense de Ingenieros mecánicos, u otras entidades de normalización (Mott, DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS, 2006).

Se puede determinar un factor de seguridad para materiales dúctiles en función de lo expuesto en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Factores de Seguridad para Materiales Dúctiles*

<b>Factor de Seguridad</b>	<b>Aplicación</b>
$N = 1.25$ a $2.0$	Diseño de estructuras bajo cargas estáticas
$N = 2.0$ a $2.5$	Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con confianza promedio en datos de diseño
$N = 2.5$ a $4.0$	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre en los datos.
$N = 4.0$ a <i>más</i>	Diseño de estructuras estáticas o elementos bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en los datos.

*Nota.* Factores de seguridad permitidos en función a la labor que va a desempeñar la estructura. Tomada de Factores de Seguridad, Mott ,2006.

### **Ecuación 15**

*Factor de Seguridad* (Budynas & Keith Nisbett, 2012)

$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Donde:

$S_y$  = Límite de fluencia

$\sigma'$  = Esfuerzo de Von Mises

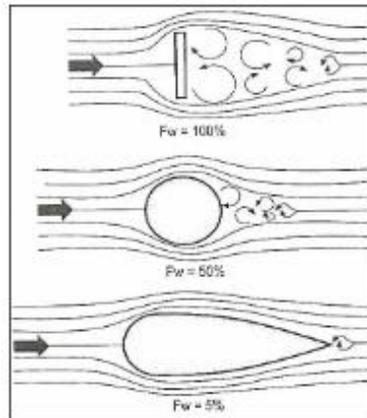
### **2.16 Aerodinámica Automotriz**

Es un tema que toma cada vez mayor relevancia, donde el mayor aspecto para adquirir un vehículo es su diseño externo. A pesar de que la aerodinámica ofrece beneficios como un mayor o menor aspecto visual su principal objetivo es ofrecer una amplia variedad de características técnicas, eficiencia y seguridad en vehículos en función del diseño (Happian-Smith, 2002)

Aspectos como la adherencia al suelo, estabilidad, consumo de combustible y prestaciones estarán sujetos a la forma de la carrocería, que a su vez influyen en tener una mayor o menor aerodinámica en el vehículo. Otros aspectos que influyen en la aerodinámica son las características del aire (viscosidad y densidad), que determinarán las fuerzas aerodinámicas sobre el vehículo durante el desplazamiento (Happian-Smith, 2002).

## Figura 8

### Resistencia Aerodinámica al Avance



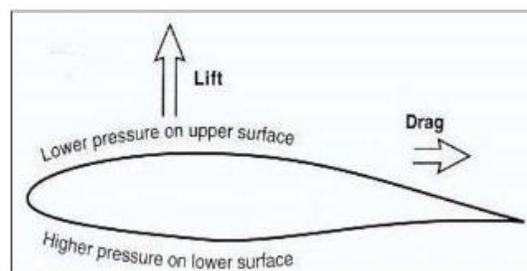
*Nota.* La figura muestra la comparación de la resistencia al avance de tres formas aerodinámicas. Reproducida de Comparación de la resistencia al avance de tres formas aerodinámicas, Sandoya Onofre, 2016.

## 2.17 Coeficientes Aerodinámicos

Dicho coeficiente es un aspecto fundamental en la aerodinámica del vehículo, por ende, para su funcionalidad, para lo cual se deberán considerar las siguientes descripciones. La resistencia al aire opuesta al vehículo se denomina arrastre (drag) y en cuanto se pega al suelo se denominará sustentación (lift) y cuando se despega se denominará carga aerodinámica (downforce) (Happian-Smith, 2002).

## Figura 9

### Resistencia Lift y Drag



*Nota.* La figura muestra la resistencia lift y drag. Tomada de Resistencia Lift y Drag, Sandoya Onofre, 2016.

Dentro de la aerodinámica del vehículo los coeficientes más usados son:

- $C_x$ : coeficiente de arrastre.
- $C_z$ : coeficiente de sustentación.
- $F_x$ : fuerza de arrastre.
- $F_z$ : Fuerza de sustentación.

Todos ellos valores conocidos en ese entorno controlado.

## **2.18 Método de Elementos Finitos**

Este método permite analizar el comportamiento de los diferentes objetos reales sometidos a condiciones, restricciones y acciones que se presenten en situaciones reales.

El cual consiste en la creación de una red de nodos interconectados mediante formas geométricas simples u elementos finitos en una región continua, donde el análisis respectivo estará en función de las propiedades del material y las ecuaciones que las constituyen para los diferentes elementos a través de una serie de cargas y condiciones establecidas previamente, que entregara una solución global y continua del sistema (Budynas & Keith Nisbett, 2012).

A través de este análisis se podrá predecir las condiciones presentes en un sistema según las interacciones físicas, como:

- Tensiones.
- Fenómenos acústicos
- Transferencia de calor.

- Flujos de fluidos.
- Vibraciones mecánicas.
- Fenómenos electromagnéticos
- Desplazamientos.
- Otros.

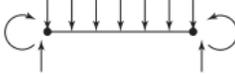
### **2.18.1 Elementos Importantes**

Para efectuar la conversión del problema de continuo a uno más discreto y obtener resultados lo más aproximados a la realidad se toma en cuenta los siguientes criterios:

- a. **La estructura**, se fraccionará implementando líneas, superficies con un cierto número elementos finitos (Budynas & Keith Nisbett, 2012).
- b. **Los elementos**, estarán unidos por nodos, ubicados en sus límites y empleados como incógnitas fundamentales del problema (Budynas & Keith Nisbett, 2012).

En la Figura 10 se representan los elementos importantes considerados en el análisis de elementos finitos según la elasticidad y problemas para el estudio de las estructuras.

**Figura 10***Clasificación de Elementos Finitos*

Tipo de elemento	Ninguno	Forma	Número de nodos	Aplicaciones
Línea	Puntal		2	Barra con extremos articulados en tensión o compresión
	Viga		2	Flexión
	Armazón		2	Axial, torsional o de flexión Con o sin rigidez de carga
Superficie	Cuadrilátero de 4 nodos		4	Esfuerzo o deformación plana, simétrico con respecto a un eje, panel a cortante, placa plana delgada en flexión
	Cuadrilátero de 8 nodos		8	Esfuerzo o deformación plana, placa plana o cascarón en flexión
	Triangular de 3 nodos		3	Esfuerzo o deformación plana, simétrico con respecto a un eje, panel a cortante, placa plana delgada en flexión. Preferible cuadriláteros donde sea posible. Usado para transiciones de cuadriláteros
	Triangular de 6 nodos		6	Esfuerzo o deformación plana, simétrico con respecto a un eje, placa plana o cascarón en flexión. Preferible cuadriláteros donde sea posible. Usado para transiciones de cuadriláteros

*Nota.* Aplicación del método de elementos finitos en función del tipo de elemento y el número de nodos. Tomada de Biblioteca de muestra de elemento finito, Budynas & Keith Nisbett, 2012.

**2.19 Generación de Malla**

La región formada por una red de elementos y nodos se designa como malla, donde la densidad de la misma dependerá del número de elementos dentro de una región establecida, además el refinamiento de la misma proveerá mejores resultados (Budynas & Keith Nisbett, 2012).

Para la obtención de resultados más precisos y aproximados a la realidad, la densidad de la malla sufre un incremento cuando se tienen áreas con gradientes de alto

esfuerzo o a su vez el mallado es uniforme cuando existe una transición geométrica (Budynas & Keith Nisbett, 2012).

### **2.19.1 Tipos de malla**

Existen tres formas básicas para generar un mallado en la estructura a analizarse (Budynas & Keith Nisbett, 2012).

Dentro del mallado se presentan los siguientes métodos

- Generación Manual
- Generación Semiautomática
- Generación completamente automatizada

### **2.19.2 Generación Completamente Automatizada de Mallas**

Este método comprende la fase final en los ítems anteriormente mencionados donde las compañías de software se han enfocado en la generación automática de mallas de toda la estructura y el refinamiento de mallas automáticas y autoadaptables, es decir un mallado final bien constituido. Donde el resultado final es la generación de mallas con la mínima intervención del usuario para la región u elemento a analizar (Budynas & Keith Nisbett, 2012).

## **2.20 Reglamento para el Estudio del Impacto frontal**

Este reglamento vigente en Europa establece las disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos en lo que, respecto a la protección de los ocupantes en caso de una colisión frontal, aplicada a los vehículos de la categoría M1 cuya masa autorizada no sea superior a 2,5 Ton. (UNECE, 2012).

### Capítulo III

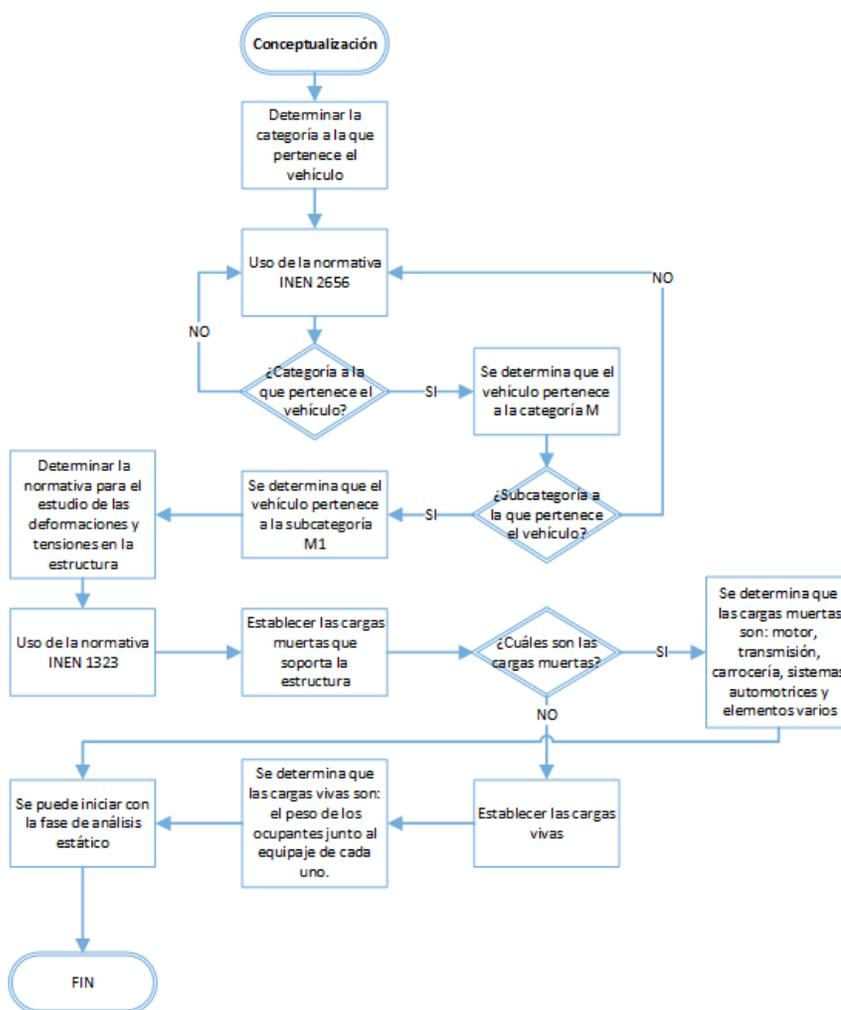
### 3. Estudio de Deformaciones y Estados de Tensiones del Jeep Willys CJ3-A

#### 3.1 Conceptualización

Se considera la normativa NTE INEN 1323:2009 que establece parámetros de diseño y factores que se deben tener presente para la representación de la carrocería mediante un programa CAD de análisis de cargas estáticas y dinámicas que actúan sobre su estructura base o bastidor.

**Figura 11**

*Diagrama para el Estudio de Deformaciones y Tensiones*



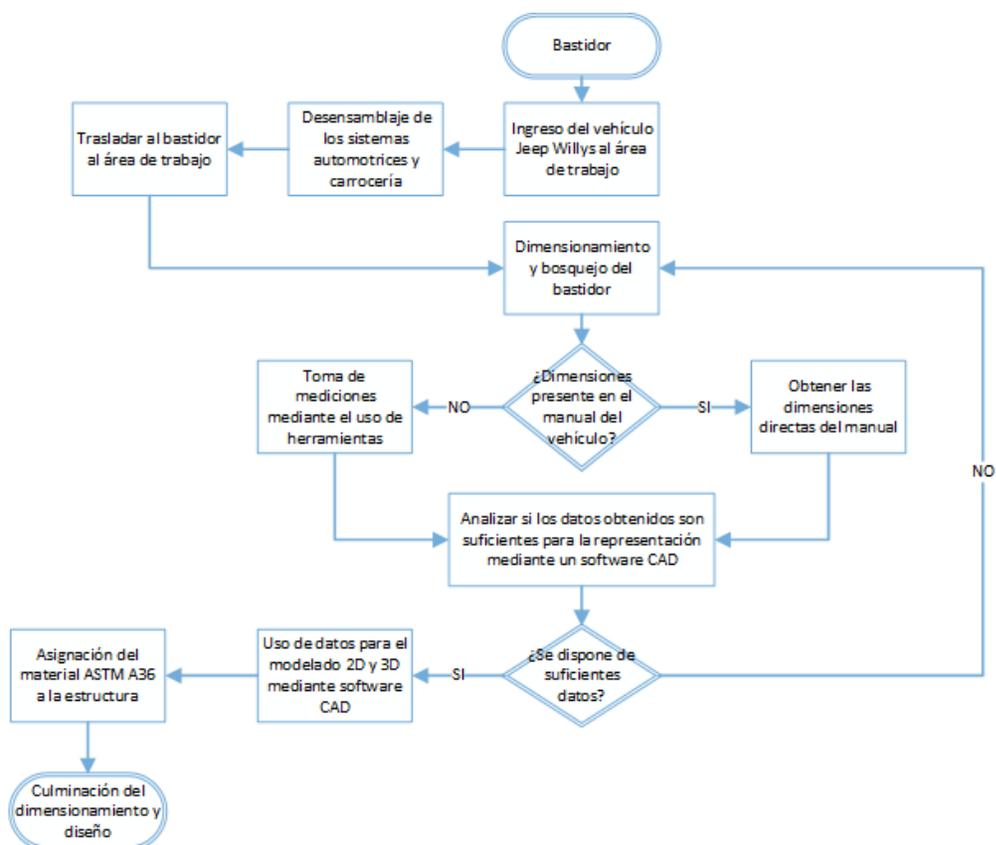
*Nota.* Procedimiento realizado para el estudio de las deformaciones y tensiones presentes en la estructura del vehículo

### 3.2 Dimensionamiento y Diseño del Bastidor

Para la representación del bastidor en sólidos 2D y 3D se lo realizó mediante el uso de un software computacional CAD, se obtuvo resultados que se aproximan a los reales.

**Figura 12**

*Diagrama para el Dimensionamiento del Bastidor*

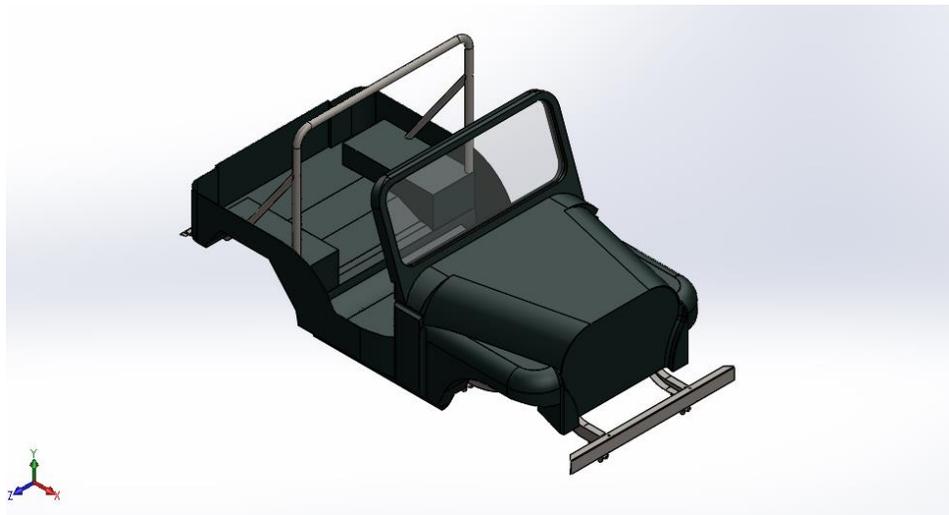


*Nota.* Procedimiento realizado para el dimensionamiento y diseño del bastidor mediante el uso de un software CAD.

Se presenta el modelado del bastidor y carrocería del Jeep CJ3-A, el cual considera dimensiones de acuerdo manual de fabricante y algunas medidas obtenidas de forma manual, al igual que el material de fabricación de dichos componentes establecidos en el mismo que luego permitieron dar paso al modelado 3D del Jeep representado en la Figura 13.

### Figura 13

*Modelado del Jeep CJ3-A*



*Nota.* Modelado del Jeep desarrollado a partir de las dimensiones tomadas e investigadas en manuales y realizada en un software de simulación CAD.

### 3.3 Designación de Carga Muerta (CM)

Se la representa mediante la masa o peso total de los componentes que conforman la carrocería, tales como Asientos, complementos, tablero, vidrio, motor, transmisión, diferencial, transfer, además de otros mencionados en la Tabla 6.

**Tabla 6***Carga Muerta*

<b>Elemento</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Bastidor	69,414	kg
Carrocería	583,347	kg
Elementos varios	450	kg
Total	1102,761	kg
<b>Carga Muerta</b>	<b>10818,085</b>	<b>N</b>

*Nota.* La tabla detalla los valores de las cargas muertas a través de los diferentes componentes considerados.

**3.4 Designación de la Carga Viva (CV)**

Se toma en consideración el peso de los ocupantes del vehículo, así como el de su equipaje, en base a la normativa INEN 1323 se los considera con un valor de 70 kg y 5 kg respectivamente, detallados en la Tabla 7.

**Tabla 7***Carga Viva*

<b>Elemento</b>	<b>Valor</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor total</b>	<b>Unidad</b>
	<b>unitario</b>			
Pasajeros	70	4	280	kg
Equipaje	5	4	20	kg
Total	-	-	300	kg

<b>Elemento</b>	<b>Valor</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor total</b>	<b>Unidad</b>
	<b>unitario</b>			
<b>Carga Viva</b>	-	-	<b>2943</b>	<b>N</b>

*Nota.* La tabla detalla los pesos de los ocupantes y el equipaje que transportara el vehículo.

### 3.5 Elementos para el Análisis Estático

Los elementos para el análisis estático se encuentran representados en la Tabla 8 de los cuales se obtiene una carga total de 13,761 KN. Se realizó el modelado del bastidor y la carrocería para determinar sus respectivas masas en función del material aplicado.

**Tabla 8**

*Cargas Utilizadas en el Análisis Estático*

<b>Elemento</b>	<b>Valor (kg)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Carga (N)</b>
Bastidor	69,414	1	680,951
Carrocería	583,347	1	5722,634
Elementos varios	450	1	4414,5
Pasajeros	70	4	2746,8
Equipaje	5	4	196,2
<b>Carga Total</b>	-	-	<b>13761,085</b>

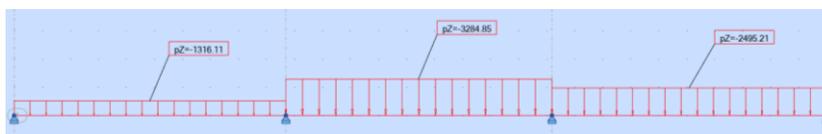
*Nota.* La tabla detalla los componentes con sus respectivas cargas, mismas que se emplearán para el análisis estático.

### 3.6 Análisis Estático en los Largueros del Bastidor

Se determinaron las cargas que estarán aplicadas al bastidor, para este análisis las mismas se distribuyen en los puntos de acción correspondientes, con lo cual se pueden obtener los momentos cortantes y flexionantes máximos.

**Figura 14**

*Viga Representada en 2D*



*Nota.* Mediante un diagrama de cuerpo libre se representa la distribución de las cargas que actúan sobre el larguero del bastidor.

#### 3.6.1 Cálculo de las Reacciones en los Apoyos

Para determinar las fuerzas (reacciones, momentos), el primer aspecto a considerar es que se tendrá una viga hiperestática, mediante la misma se puede emplear el método de los tres momentos.

Para la resolución de la viga hiperestática se emplea la Ecuación 9 presentada en el Capítulo II, y se utiliza la Figura 15 para establecer los tramos en la viga.

##### TRAMO (A – B – C)

$$M_A * L_1 + 2M_B(0,97 + 0,95) + M_C(0,95) = -\frac{6 * 1316,11 * (0,97)^3}{24} - \frac{6 * 3284,85 * (0,95)^3}{24}$$

$$3,84 M_B + 0,95 M_C = -1004,38$$

##### TRAMO (B – C – D)

$$0,95 M_B + 2 M_C(0,95 + 0,98) + 0,98 M_D = \frac{6 * 3284,85 * (0,95)^3}{24} - \frac{6 * 2495,21 * (0,98)^3}{24}$$

$$0,95 M_B + 3,86 M_C = -1291.20$$

## RESOLVIENDO

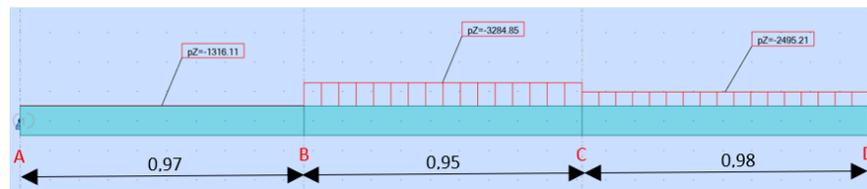
$$M_B = -190,39 Nm$$

$$M_C = -287,64 Nm$$

Representación de la viga Hiperestática, los puntos de apoyo y dimensiones respectivas entre cada apoyo para el análisis estático se encuentran detallados en la Figura 15.

**Figura 15**

*Tramos de la Viga*



*Nota.* Representación de los 3 tramos de la viga, con sus respectivas medidas y cargas.

Mediante el uso de un software CAE se determinan los momentos generados en los puntos de apoyo de la viga, representados en la Figura 16.

**Figura 16**

*Momentos que Influyen en la Viga*



*Nota.* En la figura se observan los momentos que se dan en cada una de las secciones o tramos de la viga.

Con los datos previamente calculados se procede a realizar una sumatoria de momentos y fuerzas para despejar las reacciones presentes en la viga.

$$\sum MA = 0$$

$$V_B(0,97) - 190,39 - 1276,62(0,485) = 0$$

$$V_B = 834,591 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$R_A - 1276,62 + 809,55 = 0$$

$$R_A = 442,035 \text{ N}$$

$$\sum MB = 0$$

$$V_C(0,95) + 190,39 - 1479,74 - 394,95 = 0$$

$$V_C = 1772,947 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$V_{B1} + 1772,947 - 3178,96 = 0$$

$$V_{B1} = 1406,13 \text{ N}$$

$$R_B = 2292,63 \text{ N}$$

$$\sum MC = 0$$

$$R_D(0,98) + 269,088 - 1198,258 = 0$$

$$R_D = 929,17 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$V_{C1} + 776,4 - 2292,63 = 0$$

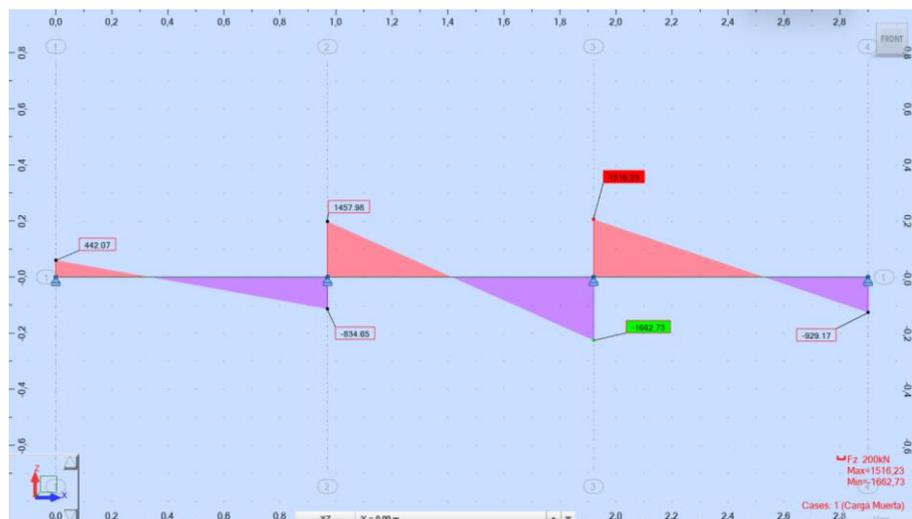
$$V_{C1} = 1516,23 \text{ N}$$

$$R_C = 3178,96 \text{ N}$$

Para comprobar el valor de los momentos y las reacciones calculadas, se empleó un programa de simulación CAE, lo cual se evidencia mediante las Figuras 17 y 18.

**Figura 17**

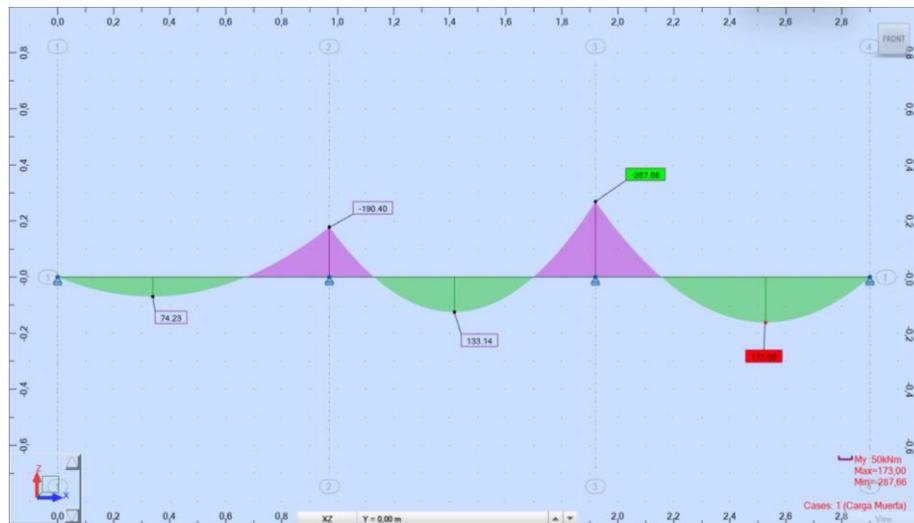
*Diagrama de Fuerzas Cortantes*



*Nota.* La figura presenta un diagrama fuerza cortante y sus reacciones mediante el uso de un software de simulación CAE.

### Figura 18

*Diagrama de Momentos*



*Nota.* Diagrama de momentos presentes en la viga mediante el uso de un software de simulación CAE.

#### 3.6.2 Momento Máximo en la Viga

En base a los valores obtenidos mediante el uso del programa de simulación CAE se determinaron el momento máximo y el esfuerzo cortante máximo.

$$M_{max_t} = 173 \text{ Nm}$$

$$S_U = 400 \text{ MPa}$$

$$S_y = 250 \text{ MPa}$$

Para un mejor diseño y análisis de la estructura se propuso emplear un factor de diseño igual a 3, de tal forma que soporte las cargas estáticas a las que está sometida.

### 3.6.3 Cálculo de los Esfuerzos Aplicados a la Viga

Para poder calcular los diferentes esfuerzos que se encuentran aplicados en el larguero del bastidor se utilizan diversas ecuaciones las cuales se detallan en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Esfuerzos Aplicados a la Viga*

<b>Tipo de esfuerzo</b>	<b>Valores obtenidos</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Valor calculado</b>
Esfuerzo de diseño	$S_y = 250 \text{ MPa}$ $N = 3$	Ecuación 10	83,333 MPa
Esfuerzo flexionante máximo	$M_{max} = 173 \text{ Nm}$ $C = 50 \times 10^{-3} \text{ m}$ $I = 1,6 \times 10^{-6} \text{ m}^4$	Ecuación 11	54,06 MPa
Primer momento	$\bar{Y} = 0,048 \text{ m}$ $A' = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	Ecuación 13	$9,6 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
Esfuerzo cortante máximo	$V = 1516,23 \text{ N}$ $Q = 9,6 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ $I = 1,6 \times 10^{-6} \text{ m}^4$ $b = 0,004 \text{ m}$	Ecuación 12	2.274 MPa
Esfuerzo equivalente de Von Mises	$\sigma_x = 54,06 \text{ MPa}$ $\sigma_y = 0$ $\tau_{xy} = 2.274 \text{ MPa}$	Ecuación 14	54,204 MPa

*Nota.* La tabla presenta los esfuerzos calculados en la viga, mediante el uso de ecuaciones y datos investigados.

### 3.6.4 Análisis del Factor de Diseño

Se determina en función del límite de fluencia del acero A36 y el esfuerzo equivalente de Von Mises ya calculado, el cálculo del factor de diseño se encuentra desarrollado en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Factor de Diseño Calculado*

Descripción	Valores obtenidos	Ecuación	Valor calculado
Factor de diseño	$\frac{S_y = 250 \text{ MPa}}{\sigma' = 54,204 \text{ MPa}}$	Ecuación 15	4,61

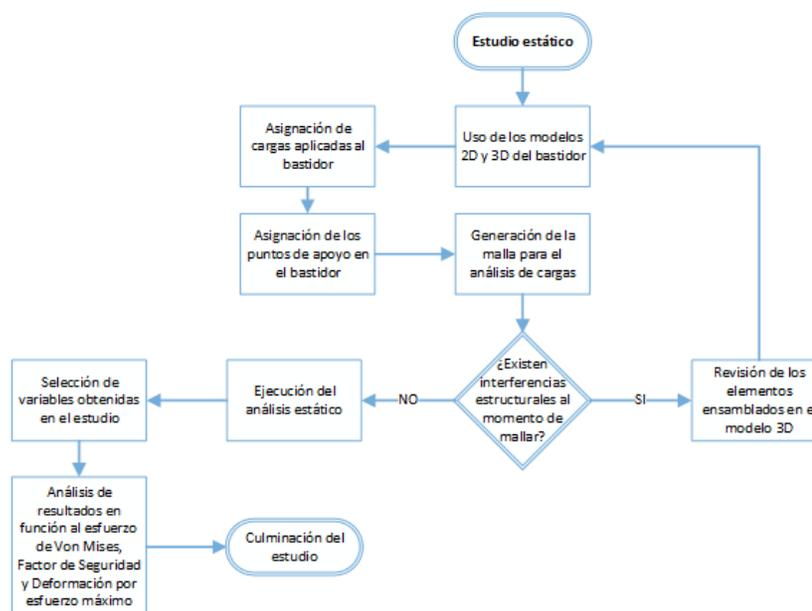
*Nota.* Cálculo del factor de diseño de la viga en función del acero estructural.

### 3.7 Estudio Estático del Bastidor Jeep Willys CJ3-A Mediante Elementos Finitos

El estudio estático de este bastidor conlleva cierto proceso dentro del cual se analiza la parte estructural, mecánica e individual de los elementos, donde el proceso de detalla en la Figura 19.

**Figura 19**

*Diagrama Correspondiente al Estudio Estático del Bastidor*



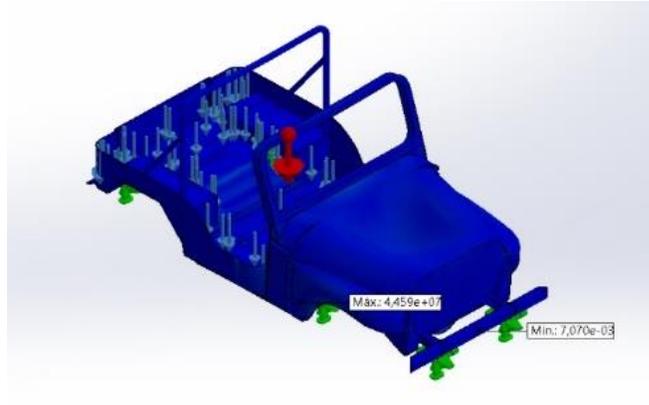
*Nota.* Procedimiento utilizado en el análisis estático del bastidor

### **3.7.1 Consideraciones Previas para la Simulación del Bastidor**

Para determinar los aspectos anteriormente descritos, como el esfuerzo de Von Mises, la deformación y el factor de seguridad se debe tener presente como actúan las fuerzas y en qué posición, mismas que deberán encontrarse en forma distribuida sobre todo el bastidor y que los puntos con mayor influencia en el análisis serán las bases de sujeción del sistema de amortiguación.

### **3.7.2 Asignación de Cargas**

Para la asignación de cargas se utilizaron los valores obtenidos en función de la carga viva y la carga muerta presentes en el vehículo, como se aprecia en la Figura 20.

**Figura 20***Aplicación de Fuerzas en la Estructura del Vehículo*

*Nota.* La figura muestra los diferentes puntos en donde se aplican las cargas sobre la estructura del bastidor y la carrocería.

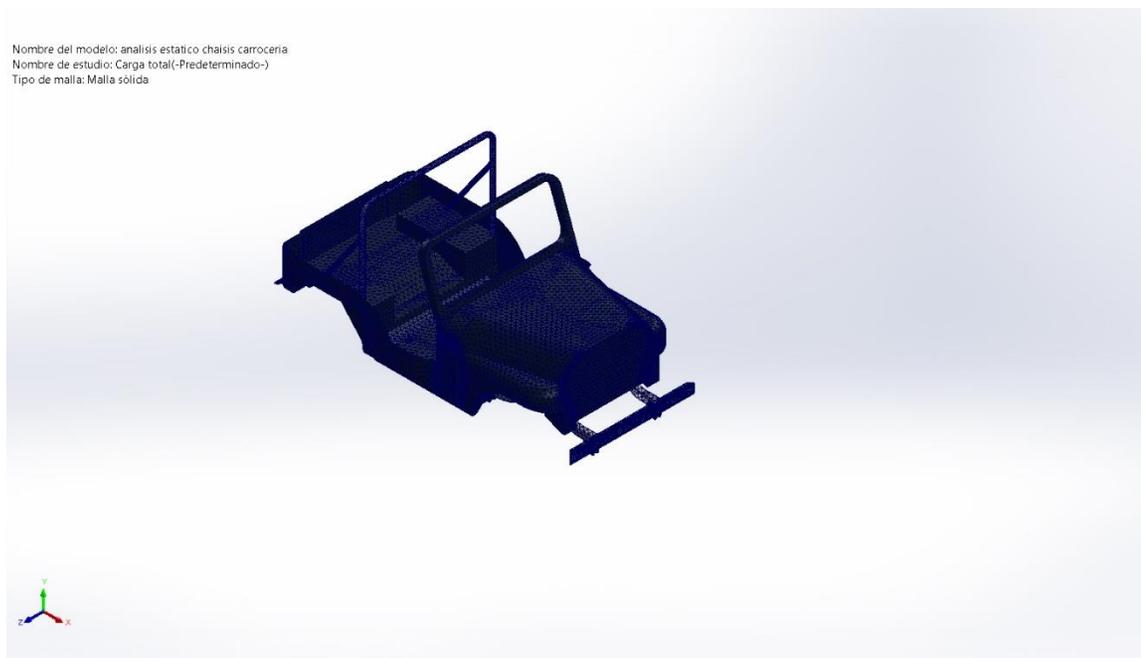
**3.7.3 Determinación del Mallado**

El software de simulación CAD usado ofrece la posibilidad de crear un mallado para la estructura de manera automática y en función a la geometría y cargas que están siendo aplicadas, por lo tanto, no es necesaria la selección previa de una malla genérica.

Uno de los aspectos más importantes es que dicha estructura no presente interferencias por perfiles sobre puestos, ya que esto producirá errores al momento de crear la malla, obteniendo por consecuencia la mala o nula ejecución del análisis estructural.

## Figura 21

### Aplicación del Mallado en la Estructura



*Nota.* Mallado de la carrocería y el bastidor del vehículo mediante el uso de un software CAD.

La malla generada por el software CAD utilizada para la estructura ensamblada presenta los datos generados por el programa, detallados en la Tabla 11. Para la obtención de resultados realistas y coherentes.

**Tabla 11**

#### Información de Malla

Características de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Número de nodos	281173
Número de elementos	138079

Características de malla	Malla sólida
Puntos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	46,2915 mm
Tamaño mínimo del elemento	9,25831 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

*Nota.* Datos generados mediante el informe de análisis estático proporcionado por el software CAD.

### 3.8 Análisis de los Valores Obtenidos en la Simulación

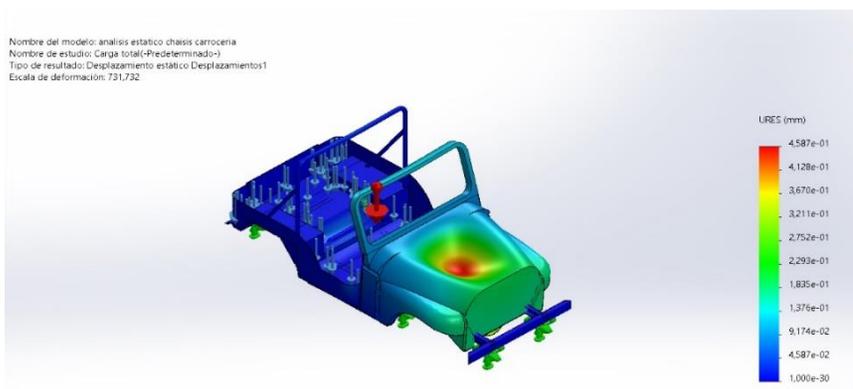
En este apartado se analizaron tres aspectos de prueba los cuales son: la deformación, el esfuerzo de Von Mises y el factor de seguridad.

#### 3.8.1 Deformación por Esfuerzo Máximo

De los datos obtenidos del análisis estático, el valor máximo de deformación fue de 0,4587 mm; que en función de una tolerancia de 1 mm respecto al material, se establece que la deformación presente en la estructura será de carácter reversible garantizando el diseño del bastidor.

### Figura 22

#### Deformación por Esfuerzo Máximo



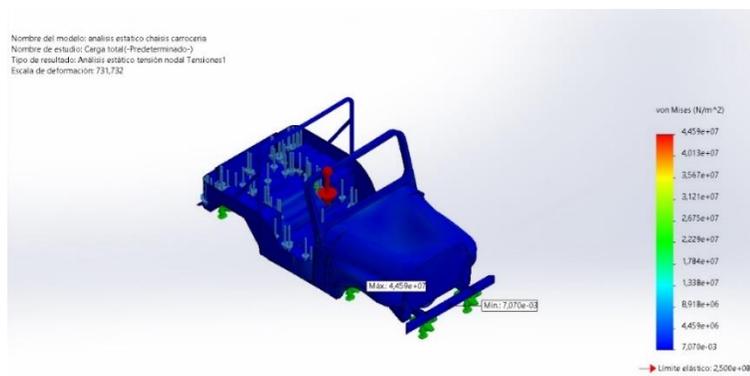
*Nota.* La figura muestra la estructura del vehículo y la deformación presente en el mismo producto del esfuerzo máximo.

### 3.8.2 Esfuerzo de Von Mises

De los datos obtenidos del análisis estático del bastidor, los valores máximo y mínimo del esfuerzo del Von Mises fueron  $44.59 \text{ MPa}$  y  $0.00707 \text{ MPa}$  respectivamente; en función del valor límite de fluencia del acero correspondiente a  $250 \text{ MPa}$ , se establece que el material empleado en la construcción del bastidor no cederá ante las cargas aplicadas y garantizará su diseño debido a que no se sobrepasa el límite de fluencia.

**Figura 23**

*Esfuerzo Máximo de Von Mises*



*Nota.* Representación de los valores máximo y mínimo respecto al esfuerzo de Von Mises presentes en la estructura del vehículo.

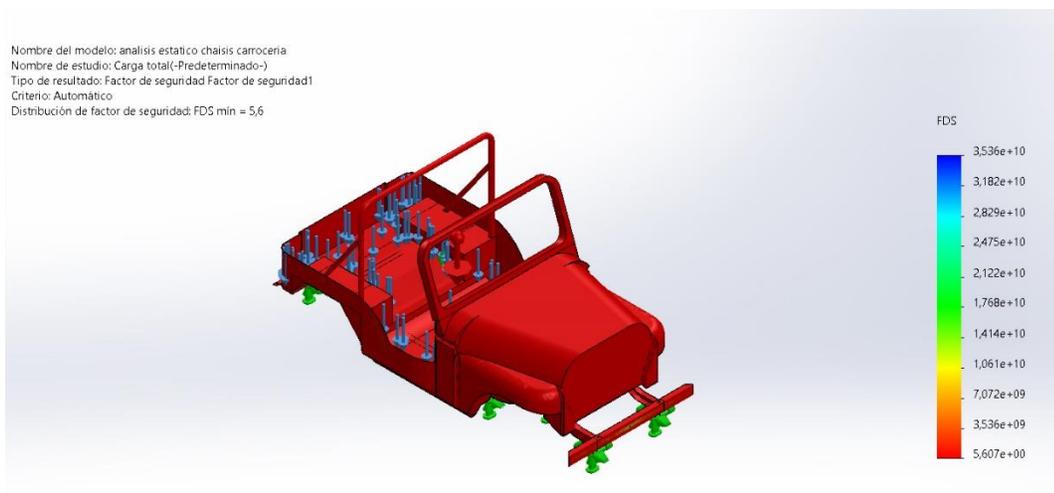
### 3.8.3 Factor de Seguridad

De los datos obtenidos del análisis estático el valor mínimo para el factor de seguridad fue de 5,607; que en función de los factores de seguridad establecidos en Mott el factor mínimo de seguridad para este tipo de estructuras es 2, se establece que el factor de seguridad para el diseño del bastidor es mayor al sugerido, de tal forma que

se puede garantizar el cumplimiento del requisito mínimo en cuanto al factor de seguridad.

## Figura 24

### Factor de Seguridad



*Nota.* Representación del factor de seguridad mínimo y máximo determinado por el programa de análisis CAD.

En base a los tres parámetros analizados se ha elaborado la Tabla 12, en donde se presenta un resumen de los valores obtenidos mediante el programa de simulación CAD.

**Tabla 12**

### Resultados del Análisis Estático

Resultados Obtenidos en el Análisis Estático	
Deformación por Esfuerzo máximo	Min: 0,000 mm – Máx: 0,4587 mm
Esfuerzo de Von Mises	Min: 0,00707 (MPa) – Máx: 44,59 (MPa)
Factor de Seguridad	Min: 5,607 – Máx. 35,36

*Nota.* Valores mínimos y máximos en función de los resultados obtenidos en el análisis estático.

## Capítulo IV

### 4. Análisis Dinámico del Bastidor y la Carrocería

#### 4.1 Análisis Dinámico del Bastidor

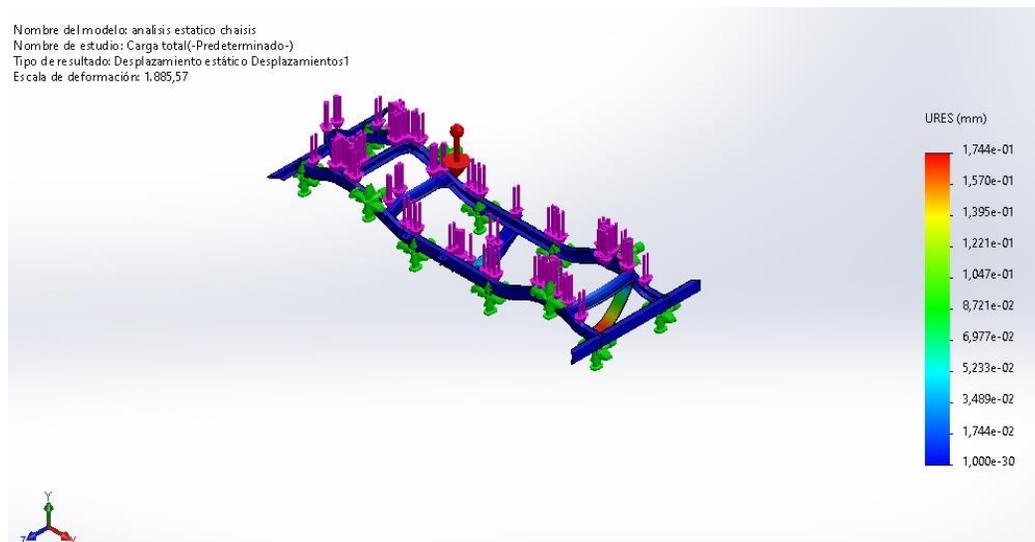
Para este análisis se consideró que los principales componentes que representaran a las cargas dinámicas son: el motor y la transmisión.

##### 4.1.1 Deformación por Esfuerzo Máximo

De los datos obtenidos del análisis dinámico, el valor máximo de deformación fue de  $0,1744 \text{ mm}$ ; que en función de una tolerancia de  $1 \text{ mm}$  respecto al material, se establece que la deformación presente en la estructura será de carácter reversible garantizando el diseño del bastidor.

#### Figura 25

##### Deformación por Esfuerzo Máximo



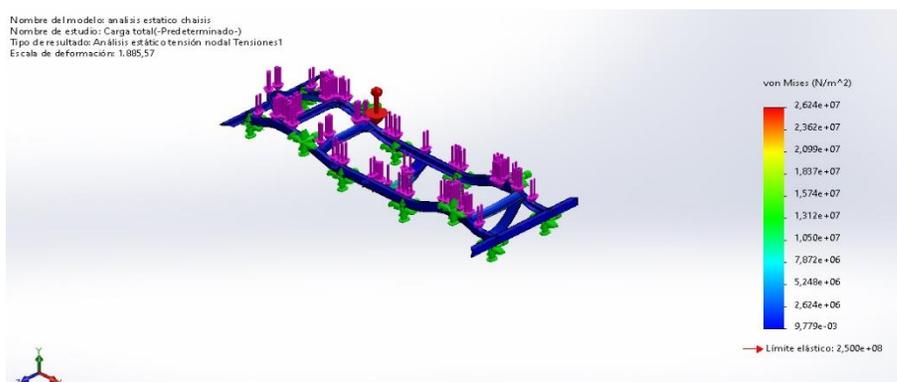
*Nota.* La figura muestra el resultado en cuanto al desplazamiento obtenido en la simulación dinámica del bastidor del vehículo.

### 4.1.2 Esfuerzo de Von Mises

De los datos obtenidos del análisis dinámico, los valores máximo y mínimo del esfuerzo del Von Mises fueron  $26,24 \text{ MPa}$  y  $0,009777 \text{ MPa}$  respectivamente; en función del valor límite de fluencia del acero correspondiente a  $250 \text{ MPa}$ , se establece que el material empleado en la construcción del bastidor no cederá ante las cargas aplicadas y garantizará su diseño debido a que no se sobrepasa el límite de fluencia.

**Figura 26**

*Esfuerzo de Von Mises*



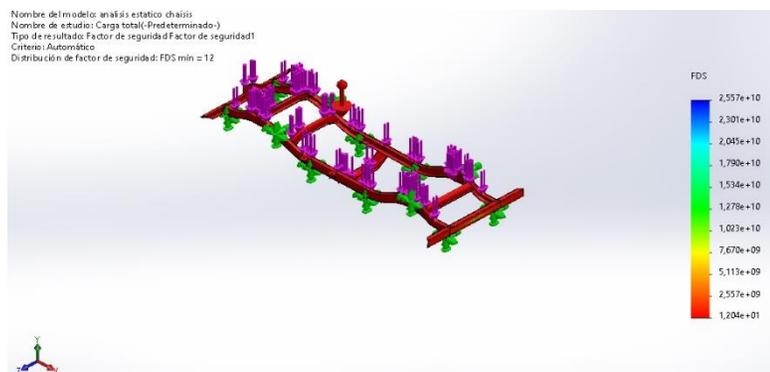
*Nota.* Representación de la simulación y la obtención de resultados en función a los esfuerzos.

### 4.1.3 Factor de Seguridad Dinámico

De los datos obtenidos del análisis dinámico el valor mínimo para el factor de seguridad fue de 12,04; que en función de los factores de seguridad establecidos en Mott el factor mínimo de seguridad para este tipo de estructuras es 2, se establece que el factor de seguridad para el diseño del bastidor es mayor al sugerido, de tal forma que se puede garantizar el cumplimiento del requisito mínimo en cuanto al factor de seguridad.

## Figura 27

### Factor de Seguridad Dinámico



*Nota.* La figura muestra el resultado en cuanto al factor de seguridad obtenido en la simulación dinámica del bastidor del vehículo.

## 4.2 Carga de Giro (G)

Para calcular la carga de giro se necesita de la Ecuación 1 y la Tabla 4, utilizando una velocidad máxima de 90 km/h según la normativa INEN 1323. El cálculo de la carga de giro de detalla en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Cálculo de la Carga de Giro*

Descripción	Valores obtenidos	Ecuación	Valor calculado
	$Mt = 1402,761 \text{ kg}$		
Carga de Giro	$V = 90 \text{ km/h}$	Ecuación 1	2504,930 N
	$Rc = 350 \text{ m}$		

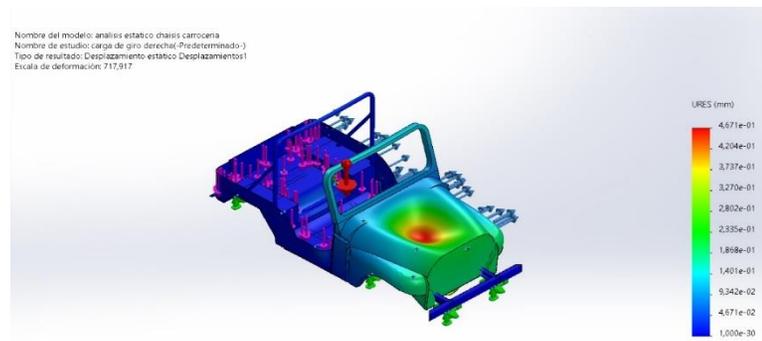
*Nota.* Cálculo de la carga de giro en base a la normativa INEN 1323.

#### 4.2.1 Deformación por esfuerzo máximo

De los datos obtenidos del análisis dinámico, el valor máximo de deformación fue de  $0,4761 \text{ mm}$ ; que en función de una tolerancia de  $1 \text{ mm}$  respecto al material, se establece que la deformación presente en la estructura será de carácter reversible garantizando el diseño del bastidor.

#### Figura 28

*Deformación por Esfuerzo Máximo Aplicando la Carga de Giro*



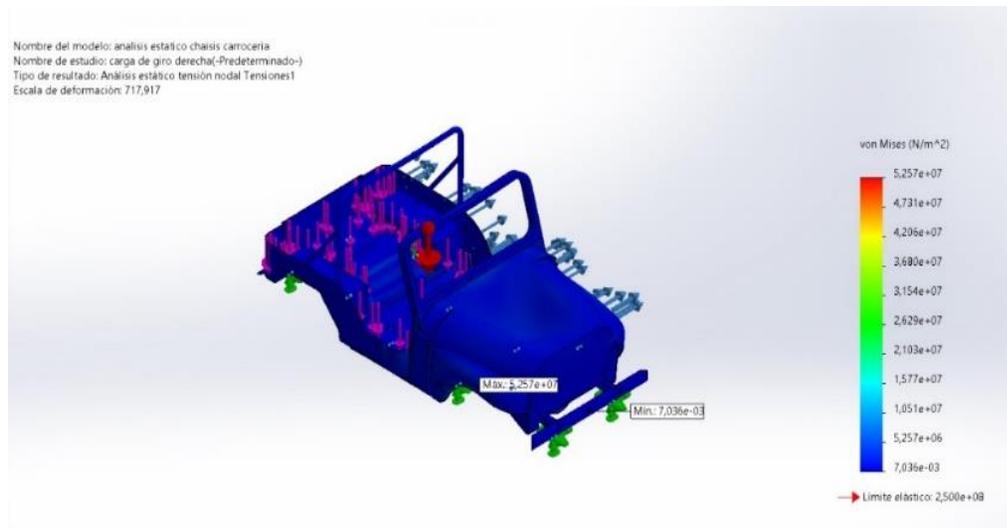
*Nota.* La figura muestra el resultado en cuanto a la deformación máxima obtenida en la simulación dinámica del bastidor del vehículo mediante la aplicación de la carga de giro.

#### 4.2.2 Esfuerzo de Von Mises

De los datos obtenidos mediante del análisis dinámico, los valores máximo y mínimo del esfuerzo del Von Mises fueron  $52,257 \text{ MPa}$  y  $0,07036 \text{ MPa}$  respectivamente; en función del valor límite de fluencia del acero correspondiente a  $250 \text{ MPa}$ , se establece que el material empleado en la construcción del bastidor no cederá ante las cargas aplicadas y garantizará su diseño debido a que no se sobrepasa el límite de fluencia.

**Figura 29**

*Esfuerzo Máximo de Von Mises Aplicando la Carga de Giro*



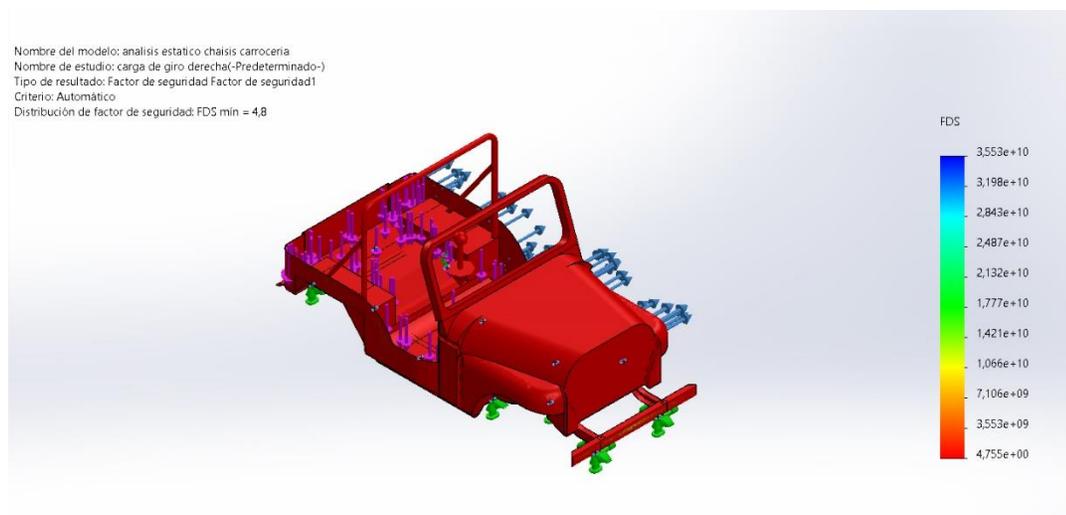
*Nota.* La figura muestra el resultado en cuanto al esfuerzo máximo obtenido en la simulación dinámica del bastidor del vehículo mediante la aplicación de la carga de giro.

#### **4.2.3 Factor de Seguridad**

De los datos obtenidos del análisis dinámico el valor mínimo para el factor de seguridad fue de 4,755; que en función de los factores de seguridad establecidos en Mott el factor mínimo de seguridad para este tipo de estructuras es 2, se establece que el factor de seguridad para el diseño del bastidor es mayor al sugerido, de tal forma que se puede garantizar el cumplimiento del requisito mínimo en cuanto al factor de seguridad.

### Figura 30

#### Factor de Seguridad Aplicando la Carga de Giro



*Nota.* La figura muestra el resultado en cuanto al factor de seguridad obtenido en la simulación dinámica del bastidor del vehículo mediante la aplicación de la carga de giro.

Para una mejor comprensión en la Tabla 14 se realizó una recopilación de los valores máximos y mínimos de los aspectos para el análisis de la influencia de la carga de giro en la estructura del Jeep.

### Tabla 14

#### Resultados del Análisis Dinámico Aplicando la Carga de Giro

Resultados Obtenidos en la Carga de Giro	
Deformación por Esfuerzo máximo	Min: 0,000 mm – Máx: 0,4761 mm
Esfuerzo de Von Mises	Min: 0,07036 (MPa) – Máx: 52,257 (MPa)
Factor de Seguridad	Min: 4,755 – Máx. 35,53

*Nota.* Valores mínimos y máximos en función de los resultados obtenidos en el análisis de la carga de giro.

#### 4.3 Carga de Frenado (F)

Para determinar esta carga se asume que el vehículo disminuye su velocidad en un rango  $\geq 4 \text{ m/s}^2$ . El cálculo de la carga de frenado se detalla en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Cálculo de la Carga de Frenado*

Descripción	Valores obtenidos	Ecuación	Valor calculado
Carga de Frenado	$\frac{Mt = 1402,761 \text{ kg}}{af = 4 \text{ m/s}^2}$	Ecuación 2	5611,044 N

*Nota.* Cálculo de la carga de frenado en base a la normativa INEN 1323.

#### 4.4 Carga de Aceleración brusca (Ab)

Esta carga es la calculada en la sección 4.3 con signo negativo, se representa en la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Cálculo de la Carga de Aceleración Brusca*

Descripción	Valores obtenidos	Ecuación	Valor calculado
Carga de Aceleración Brusca	$F = 5611,044 \text{ N}$	Ecuación 3	-5611,044 N

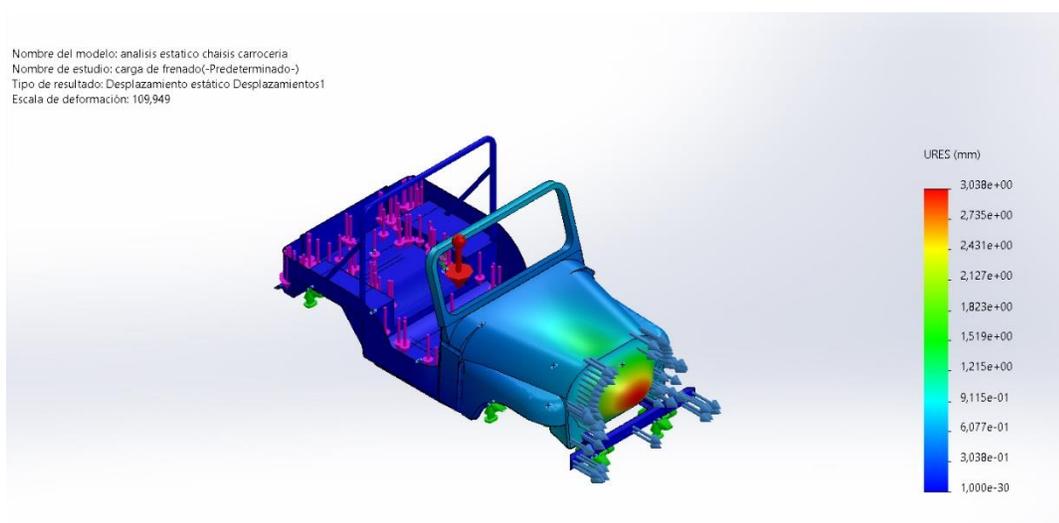
*Nota.* Cálculo de la carga de aceleración brusca en base a la normativa INEN 1323.

#### 4.4.1 Deformación por Esfuerzo Máximo

De los datos obtenidos del análisis dinámico, el valor máximo de deformación fue de  $3,038 \text{ mm}$ ; que en función de una tolerancia de  $1 \text{ mm}$  respecto al material, se establece que la deformación presente en la estructura será de carácter irreversible demostrando que en este caso de carga el diseño del vehículo puede fallar ocasionando daños a los ocupantes.

#### Figura 31

*Deformación por Esfuerzo Máximo Aplicando la Carga de Frenado*



*Nota.* La figura muestra el resultado en cuanto a la deformación máxima obtenida en la simulación dinámica del bastidor del vehículo mediante la aplicación de la carga de aceleración brusca.

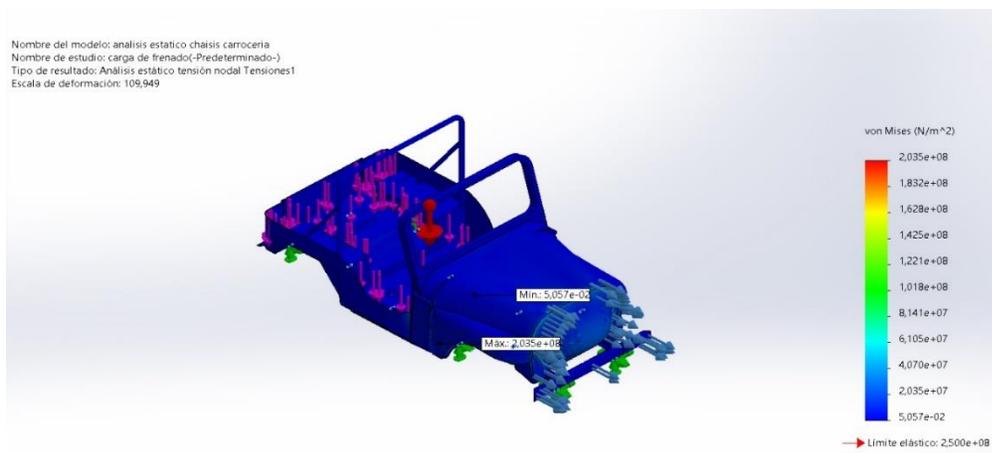
#### 4.4.2 Esfuerzo de Von Mises

De los datos obtenidos del análisis dinámico, los valores máximo y mínimo del esfuerzo del Von Mises fueron  $203,5 \text{ MPa}$  y  $0,05057 \text{ MPa}$  respectivamente; en función del valor límite de fluencia del acero correspondiente a  $250 \text{ MPa}$ , se establece que el

material empleado en la construcción del bastidor no cederá ante las cargas aplicadas y garantizará su diseño debido a que no se sobrepasa el límite de fluencia.

### Figura 32

#### *Esfuerzo Máximo de Von Mises Aplicando la Carga de Frenado*



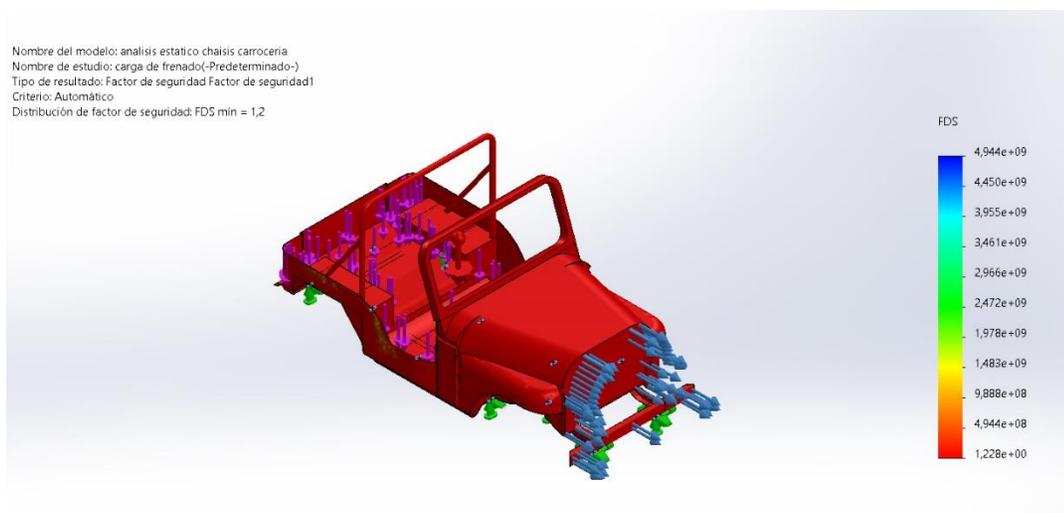
*Nota.* La figura muestra el resultado en cuanto al esfuerzo máximo obtenido en la simulación dinámica del bastidor del vehículo mediante la aplicación de la carga determinada en ítem anterior.

#### **4.4.3 Factor de Seguridad**

De los datos obtenidos del análisis dinámico el valor mínimo para el factor de seguridad fue de 1,228; que en función de los establecidos en Mott el mínimo para este tipo de estructura es 2, estableciendo que el factor de seguridad para el diseño del bastidor es menor al sugerido, de tal forma que no se puede garantizar la seguridad del diseño y de los ocupantes.

### Figura 33

#### Factor de Seguridad Aplicando la Carga de Frenado



*Nota.* La figura muestra el resultado en cuanto al factor de seguridad obtenido en la simulación dinámica del bastidor del vehículo mediante la aplicación de la carga de aceleración brusca.

Para una mejor comprensión en la Tabla 17 se realizó una recopilación de los valores máximos y mínimos de los aspectos para el análisis de la influencia de la carga de frenado en la estructura del Jeep.

**Tabla 17**

#### Resultados del Análisis Dinámico Aplicando la Carga de Frenado

Resultados Obtenidos en la Carga de frenado	
Deformación por Esfuerzo máximo	Min: 0,000 mm – Máx: 3,038 mm
Esfuerzo de Von Mises	Min: 0,05057 (MPa) – Máx: 203,5 (MPa)
Factor de Seguridad	Min: 1,228 – Máx. 49,44

*Nota.* Valores mínimos y máximos en función de los resultados obtenidos en el análisis de la carga de frenado.

#### 4.5 Carga por Resistencia del Aire Frontal (Raf)

Para calcular esta carga se hace uso de la Ecuación 4, que en conjunto con la simulación más los datos obtenidos de este análisis se acercan a resultados acordes a la realidad y lo descrito en la normativa INEN 1323.

**Tabla 18**

*Datos Climatológicos*

Hora	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Presión (hPa)
19:00 h	8	91	1021
20:00 h	9	87	1020
21:00 h	10	80	1020
22:00 h	12	73	1020

*Nota.* En la tabla se detallan los datos climatológicos necesarios para calcular la densidad, datos que se tomaron el 15 de agosto de 2021 a las 21h00, en la ciudad de Quito. Adaptado de Pronóstico de tiempo Internet Explorer.

Para determinar la densidad se ocuparán los datos proporcionados por las Tablas 18 y 19.

**Tabla 19***Cálculo de la Densidad del Aire*

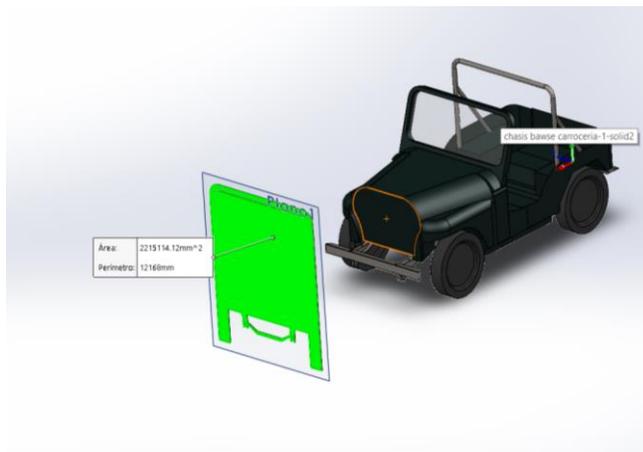
Descripción	Valores obtenidos	Ecuación	Valor calculado
Densidad del aire	$HR = 80\%$ $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $P = 1020\text{ hPa}$	Calculadora en línea	$1,25\text{ kg/m}^3$

*Nota.* En la figura se presenta la densidad del aire en Quito, obtenida mediante el uso de una calculadora en línea. Adaptado de Herramientas de Ingeniería.

Luego de haber realizado los respectivos cálculos se puede decir que la densidad del aire obtenida para el estudio fue de:

$$p = 1,25\text{ kg/m}^3$$

No obstante, para encontrar el área con la que se debe trabajar se necesita del perfil del vehículo dentro del programa de simulación, como se observa en la Figura 34.

**Figura 34***Área del Vehículo*

*Nota.* En la figura se detalla cual es el área correspondiente a la proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal.

El área con la que se trabajó en la ecuación 4, es igual a:

$$Af = 2,2161 \text{ m}^2$$

En la Tabla 20 se desarrolla el cálculo de la carga por resistencia frontal del aire.

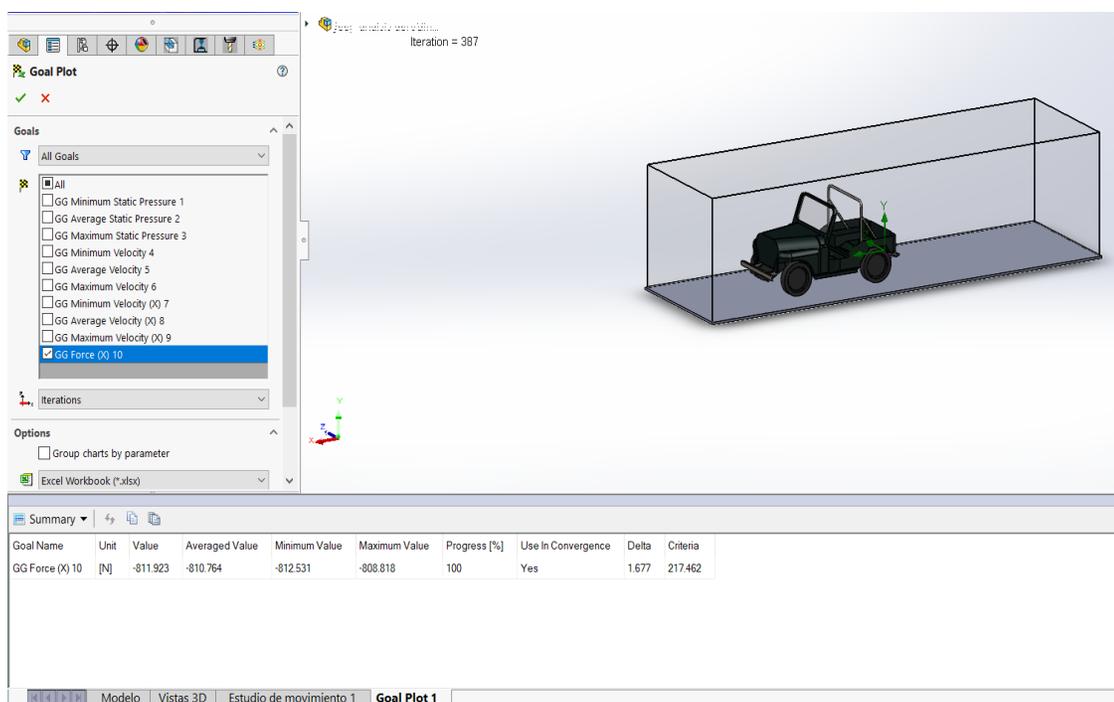
**Tabla 20**

*Cálculo de la Carga por Resistencia del Aire Frontal*

Descripción	Valores obtenidos	Ecuación	Valor calculado
	$Cx = 0,93$		
Carga por resistencia del aire frontal	$p = 1,25 \frac{kg}{m^3}$	Ecuación 4	805,067 N
	$Af = 2,2161 \text{ m}^2$		
	$V = 25 \text{ m/s}$		

*Nota.* Cálculo de la carga por resistencia del aire frontal en base a la normativa INEN 1323.

Ahora mediante la simulación realizada en el programa de simulación CAD en la Figura 35 se pudo corroborar si el valor obtenido es cercano a la realidad.

**Figura 35***Simulación Aerodinámica del Jeep*

*Nota.* Simulación aerodinámica del vehículo Jeep Willys CJ3-A.

Según los datos obtenidos mediante cálculos el valor de la carga por resistencia del aire frontal es de 805,067 N, en función de la determinada mediante el software correspondiente al valor de 811,923 N, se establece que los valores calculados y obtenidos mediante la simulación presentan un margen de error mínimo que indica la buena aerodinámica del vehículo en condiciones reales respecto a la normativa INEN 1323.

#### 4.6 Análisis de Impacto Frontal

Para la simulación del impacto frontal del Jeep, se necesitan describir 3 fases, las cuales se detallan a continuación.

#### **4.3.1 Fase I: Modelado 3D**

Para la primera fase, la cual consiste en el modelado 3D del vehículo se utilizó el un software CAD, el modelado del Jeep se realizó mediante los componentes como superficies, que representan elementos 2D sin espesor.

#### **Figura 36**

*Modelado 3D del Vehículo Jeep Willys CJ3-A*



*Nota.* Modelado 3D del vehículo, el cual se obtuvo mediante el software CAD.

#### **4.3.2 Fase II: Revisión del Modelo 3D**

En esta fase, es necesario que se realice una revisión minuciosa del modelado 3D, debido a que se pueden encontrar diversos errores, los cuales dificultaran la simulación que se requiere. Algunos de los errores que deben ser revisados y de ser el caso, corregidos, son los siguientes:

- Duplicados
- Interferencias
- Separaciones
- Elementos Basura

- Caras incorrectas

#### **4.3.3 Fase III: Mallado**

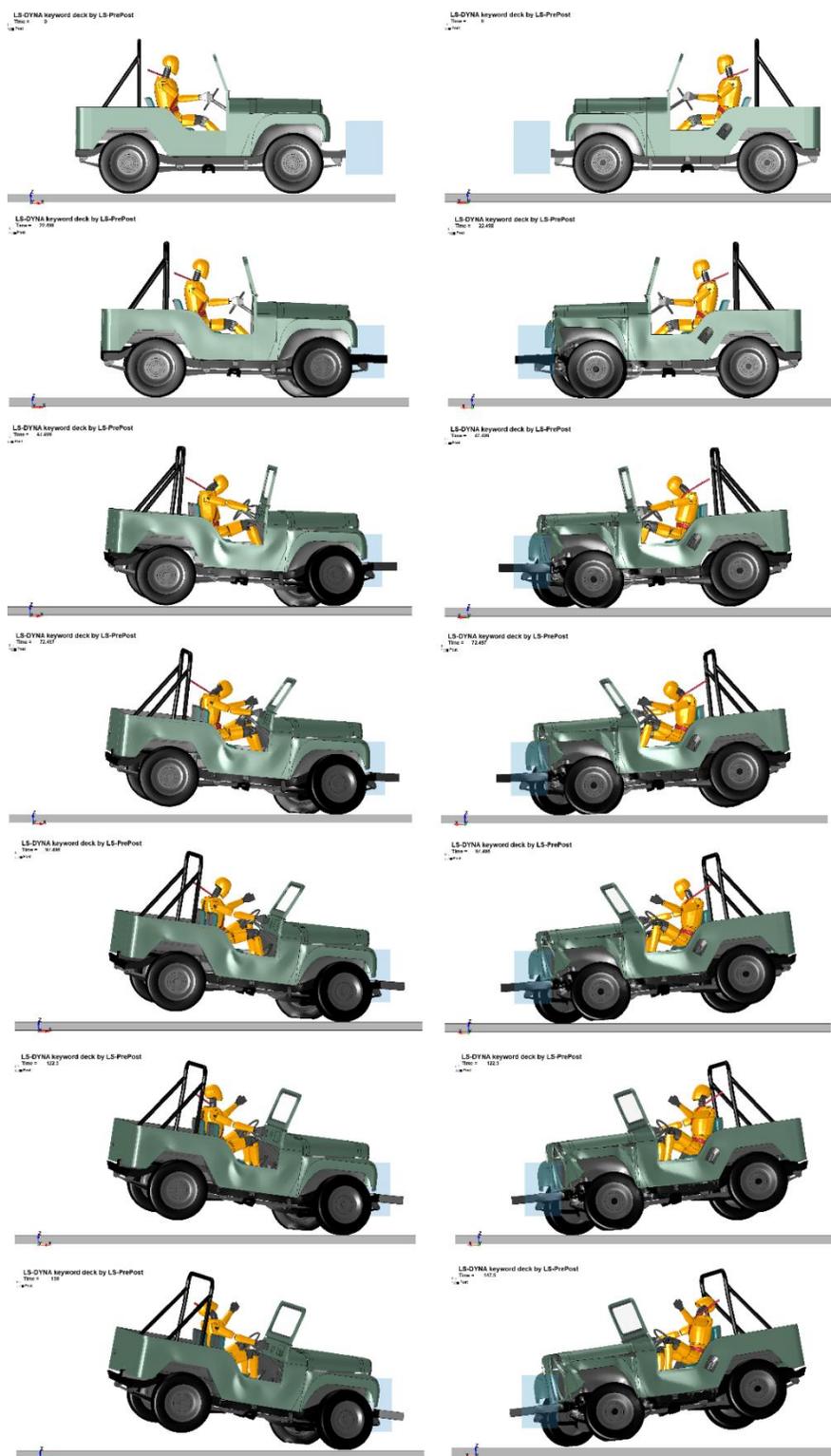
Como es sabido en toda simulación se requiere que el componente que va a ser simulado se le aplique una malla, la cual facilitará el estudio de los componentes, mediante análisis finito, lo cual permitirá el estudio de las diferentes variables en función del programa a ser utilizado.

#### **4.3.4 Simulación**

La simulación del impacto frontal del vehículo se lo realizó haciéndolo chocar contra una estructura rectangular la cual se encuentra a 200 mm sobre la superficie del suelo y sus medidas son 650 x 1000 x 450 mm, esto en base al reglamento No. 94 de La Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas, en el mismo reglamento se establece que la velocidad a la que se debe realizar la prueba es de 56 km/h, a continuación se presentan capturas del análisis realizado en diferentes intervalos de tiempo y vistas.

Figura 37

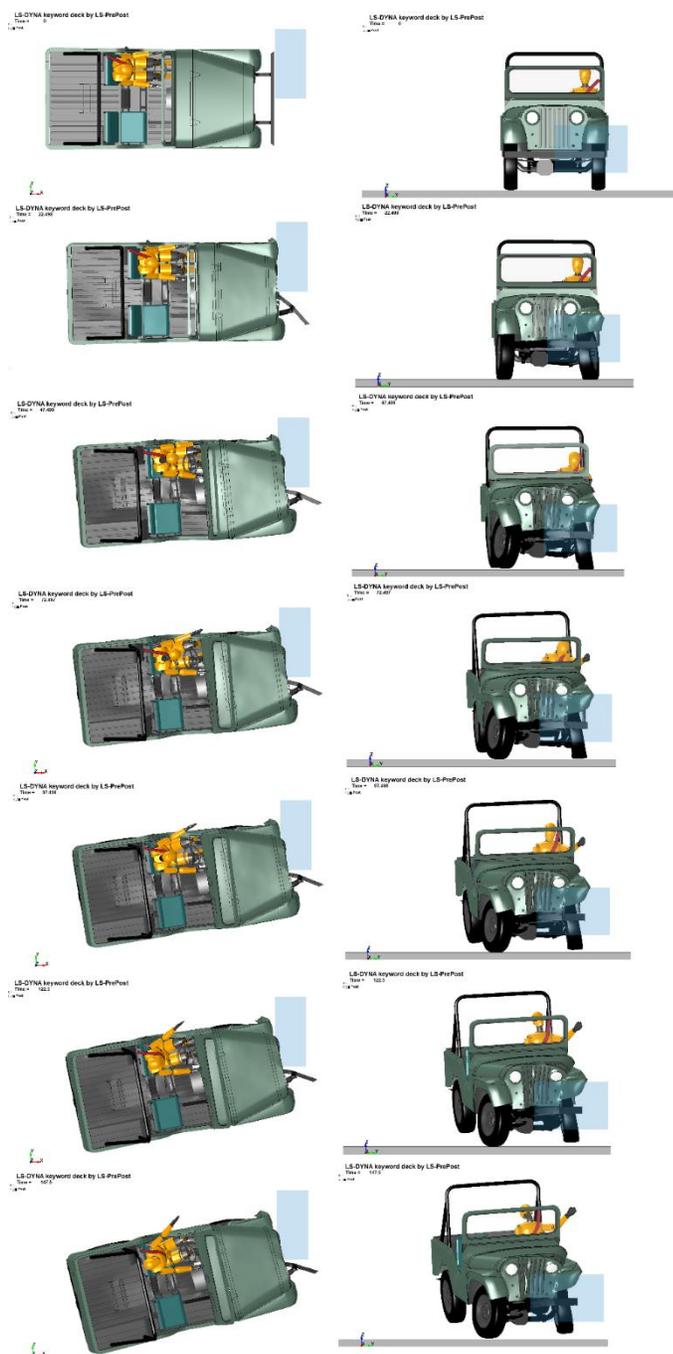
## Secuencia de Simulación de Impacto Frontal (Vistas Laterales)



Nota. Secuencia de simulación en impacto frontal según ECE R94, gráficos izquierda vista derecha, gráficos derecha vista izquierda.

**Figura 38**

*Secuencia de Simulación de Impacto Frontal (Vista Frontal y Superior)*



*Nota.* Secuencia de simulación en impacto frontal según ECE R94, gráficos vista superior, gráficos derecha vista frontal.

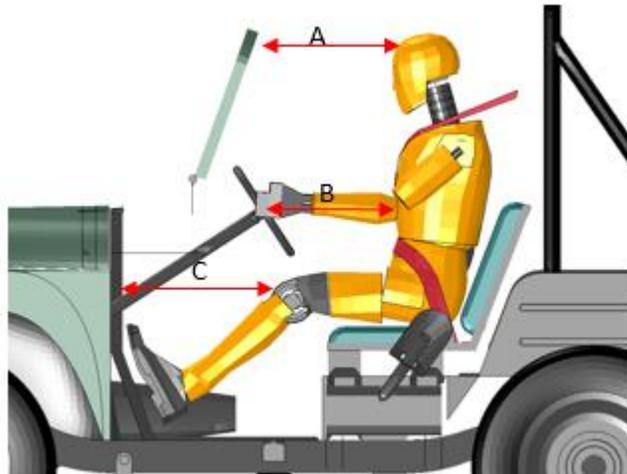
#### 4.7 Análisis de Resultados del Impacto Frontal según Normativa Europea R94

Se toma a consideración los espacios dentro del habitáculo, los cuales nos permitirán analizar la seguridad que brinda la carrocería y el chasis al ocupante, dentro de los cuales podemos mencionar:

- **A** distancia medida desde la cabeza del conductor a la visera de la carrocería,
- **B** distancia medida entre el pecho al parte central del volante,
- **C** distancia medida entre las rodillas y la parte más cercana de la carrocería del automóvil.

#### Figura 39

*Distancias Consideradas en el Análisis del Impacto Frontal*



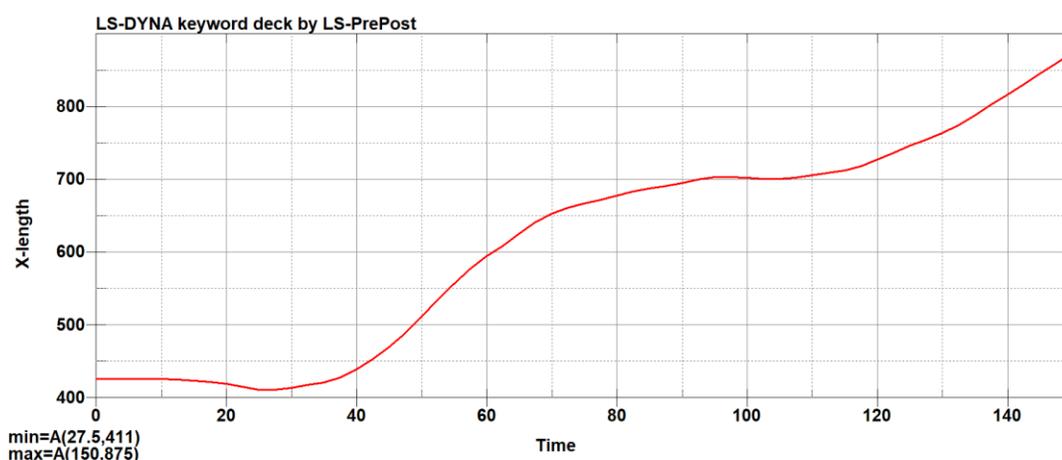
*Nota.* En la figura se muestran las distancias existentes entre la carrocería del vehículo y el ocupante del mismo.

#### 4.7.1 Análisis de la Distancia A

En base al diagrama de Distancia x Tiempo, se puede establecer que la cabeza del conductor nunca llega a golpearse con la visera o parabrisas del vehículo, debido a que la distancia mínima entre los dos es de aproximadamente 411 mm. Por ende, se puede afirmar que el conductor no sufrirá de golpes en la cabeza.

**Figura 40**

*Diagrama Distancia vs Tiempo (A)*



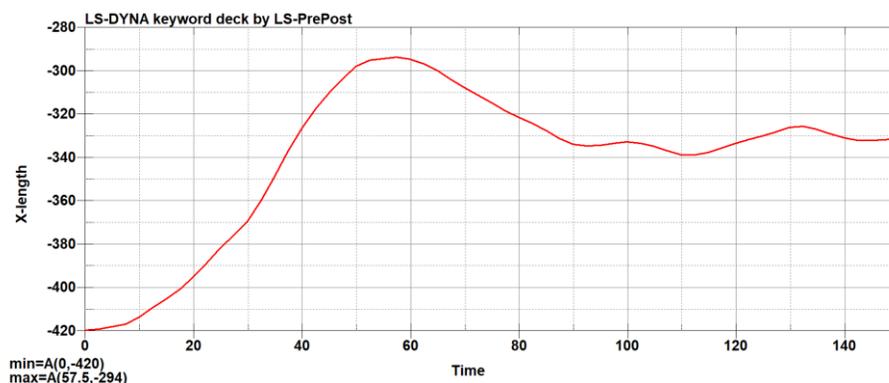
*Nota.* En la figura se representa la distancia medida desde la cabeza del conductor a la visera de la carrocería.

#### 4.7.2 Análisis de la Distancia B

En base al diagrama de Distancia x Tiempo, se puede establecer que el pecho del conductor nunca llega a golpearse con el volante del vehículo, debido a que la distancia mínima entre los dos es de aproximadamente 294 mm. Por ende, se puede afirmar que el conductor no sufrirá de ningún golpe en el pecho.

**Figura 41**

*Diagrama Distancia vs Tiempo (B)*



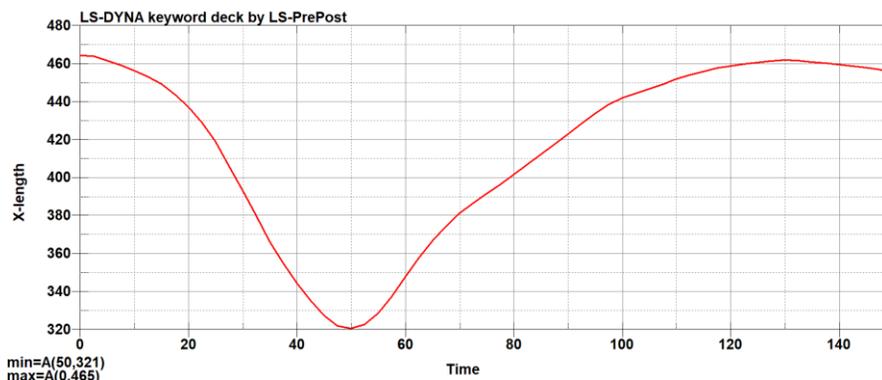
*Nota.* En la figura se representa la distancia medida entre el pecho y parte central del volante.

#### **4.7.3 Análisis de la Distancia C**

En base al diagrama de Distancia x Tiempo, se puede establecer que las rodillas del conductor nunca llegan a golpearse con la parte más próxima de la carrocería, debido a que la distancia mínima entre los dos es de aproximadamente 321 mm. Por ende, se puede afirmar que el conductor no sufrirá de ningún tipo de golpe en sus rodillas y por consiguiente en las piernas.

**Figura 42**

*Diagrama Distancia vs Tiempo (C)*



*Nota.* Representación del cambio de longitud, para la distancia medida perpendicularmente desde las rodillas a la parte más próxima a carrocería del vehículo.

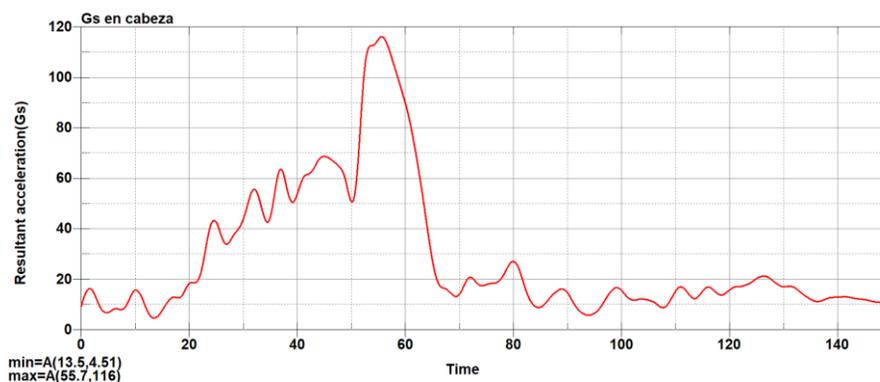
En función de las distancias obtenidas en los diferentes puntos de referencia, se considera que el vehículo es seguro, ya que no existe contacto entre el conductor y los diferentes componentes o superficies del mismo, cabe recalcar que mediante la simulación se demostró que el área de seguridad de los ocupantes no sufre ninguna deformación considerable, esto debido a la rigidez del vehículo.

#### **4.7.4 Análisis de las Aceleraciones Gs Presentes en el Ocupante**

Mediante el uso del software CAD para el estudio del impacto frontal y mediante el uso de los comandos que provee el mismo se puede obtener los diagramas en función de la parte superior y media del cuerpo, siendo estas las zonas más críticas en el caso de una colisión. Aspectos evaluados que se representan en las Figuras 43 y 44.

**Figura 43**

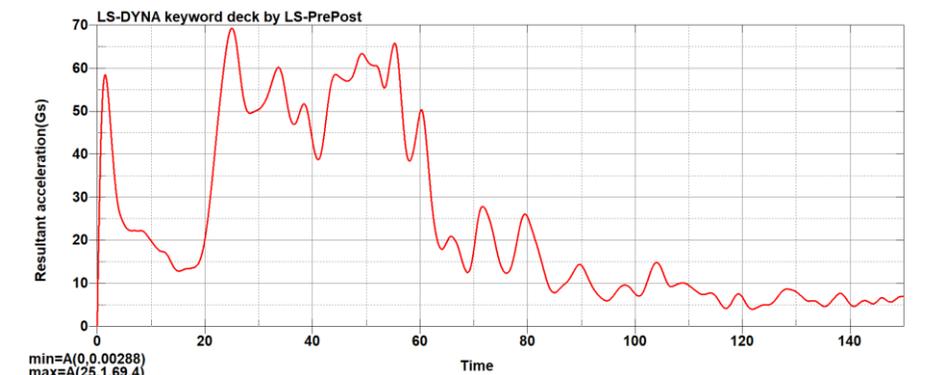
*Fuerza Gs en la Cabeza*



*Nota.* Diagrama de la fuerza Gs presente en la cabeza del ocupante durante el periodo del impacto.

## Figura 44

### Fuerza Gs en el Pecho



*Nota.* Diagrama de la fuerza Gs presente en el pecho del ocupante durante el periodo del impacto.

Los datos obtenidos anteriormente de las fuerzas Gs (aceleración), se tiene que realizar una comparación con los valores admisibles presentes en el reglamento No. 94 de La Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas. Aspectos analizados en la Tabla 21.

**Tabla 21**

### Análisis de Fuerzas Gs a 56 km/h

Ubicación de la fuerza	Valor permisible (Gs)	Valor obtenido (Gs)
Cabeza	80	116
Pecho	60	69.4

*Nota.* Tabla comparativa de las fuerzas Gs obtenidas de la simulación con los valores permisibles presentes en el reglamento No. 94.

En función a la tabla comparativa, se puede establecer que las fuerzas  $G_s$  obtenidas superan a las permisibles, por ende, se considera que el chasis y la carrocería del vehículo no son seguros, ya que estos valores reflejan lesiones graves o directamente la muerte del ocupante, cabe mencionar que esto sucede por la rigidez que presenta la estructura, no pudiendo absorber la energía del impacto trasladándola al ocupante.

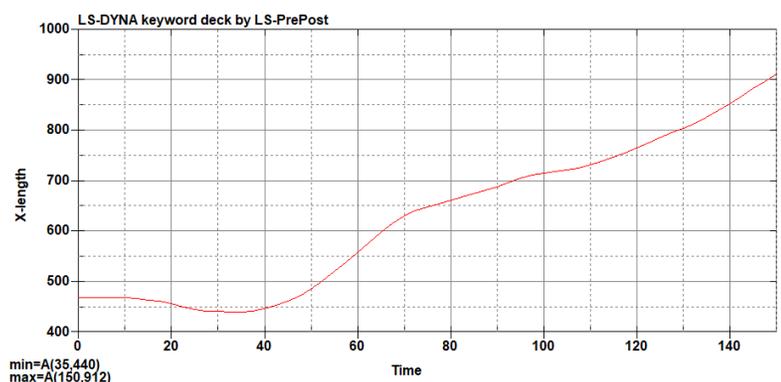
## 4.8 Análisis del Impacto Frontal en Función de la Hipótesis Planteada

### 4.8.1 Análisis de la Distancia A

En base al diagrama de Distancia x Tiempo, se puede establecer que la cabeza del conductor nunca llega a golpearse con la visera o parabrisas del vehículo, debido a que la distancia mínima entre los dos es de aproximadamente 440 mm. Por ende, se puede afirmar que el conductor no sufrirá de golpes en la cabeza.

### Figura 45

Diagrama Distancia vs Tiempo (A)



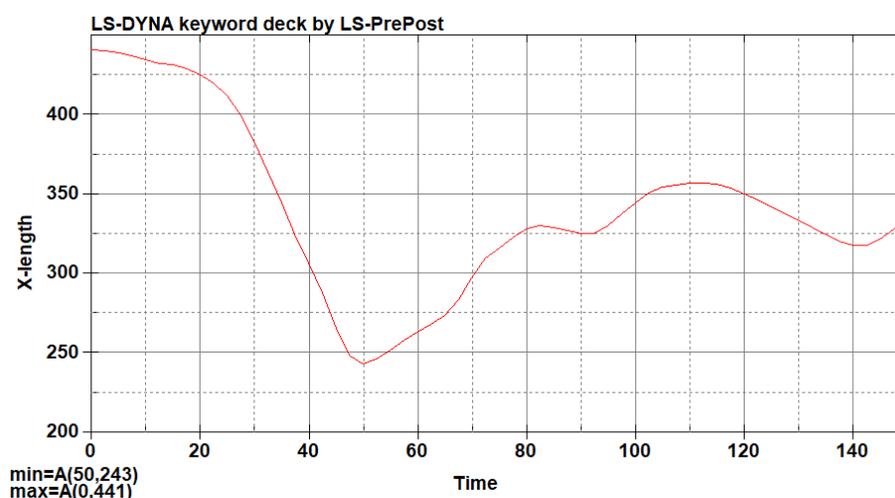
*Nota.* En la figura se representa la distancia medida desde la cabeza del conductor a la visera de la carrocería.

### 4.8.2 Análisis de la Distancia B

En base al diagrama de Distancia x Tiempo, se puede establecer que el pecho del conductor nunca llega a golpearse con el volante del vehículo, debido a que la distancia mínima entre los dos es de aproximadamente 243 mm. Por ende, se puede afirmar que el conductor no sufrirá de ningún golpe en el pecho.

**Figura 46**

*Diagrama Distancia vs Tiempo (B)*



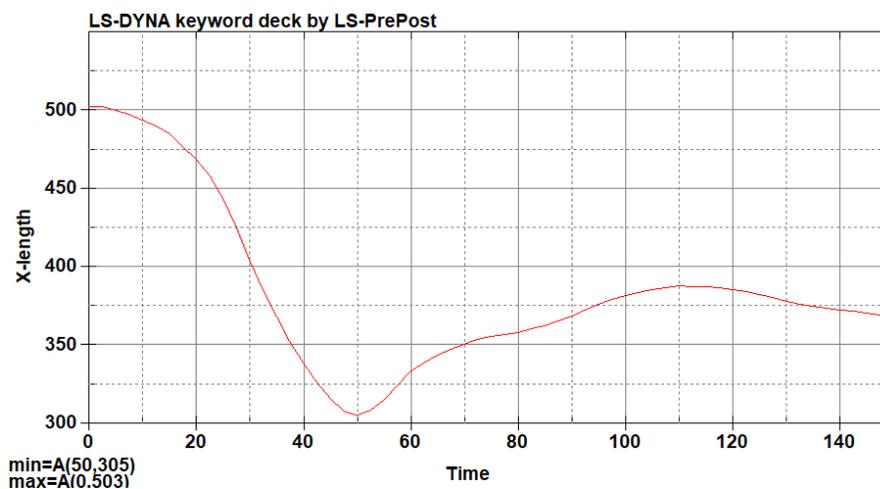
*Nota.* En la figura se representa la distancia medida entre el pecho y parte central del volante.

### 4.8.3 Análisis de la Distancia C

En base al diagrama de Distancia x Tiempo, se puede establecer que las rodillas del conductor nunca llegan a golpearse con la parte más próxima de la carrocería, debido a que la distancia mínima entre los dos es de aproximadamente 305 mm. Por ende, se puede afirmar que el conductor no sufrirá de ningún tipo de golpe en sus rodillas y por consiguiente en las piernas.

**Figura 47**

*Diagrama Distancia vs Tiempo (C)*

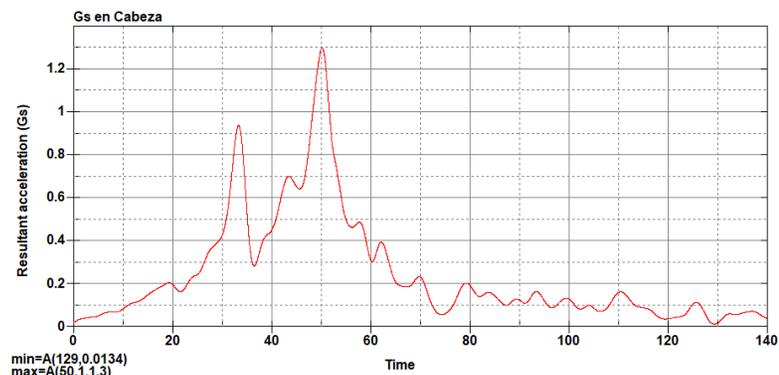


*Nota.* Representación del cambio de longitud, para la distancia medida perpendicularmente desde las rodillas a la parte más próxima a carrocería del vehículo.

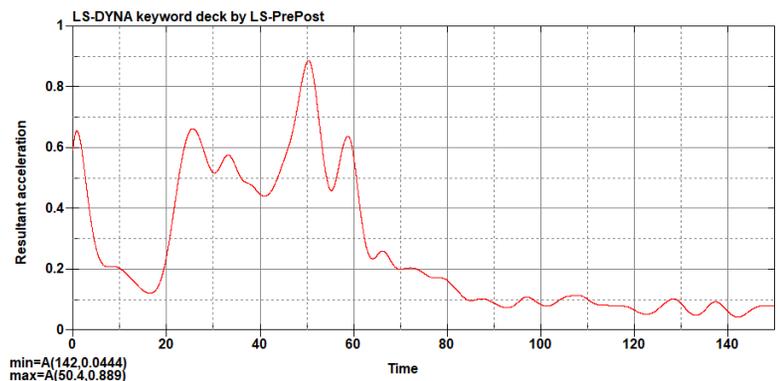
En función de las distancias obtenidas en los diferentes puntos de referencia, se considera que el vehículo es seguro, ya que no existe contacto entre el conductor y los diferentes componentes o superficies del mismo.

#### **4.8.4 Análisis de las Aceleraciones Gs Presentes en el Ocupante**

Mediante el uso del software CAD para el estudio del impacto frontal y mediante el uso de los comandos que provee el mismo se puede obtener los diagramas en función de la parte superior y media del cuerpo, siendo estas las zonas más críticas en el caso de una colisión. Aspectos evaluados que se representan en las Figuras 48 y 49.

**Figura 48***Fuerza Gs en la Cabeza*

*Nota.* Diagrama de la fuerza Gs presente en la cabeza del ocupante durante el periodo del impacto.

**Figura 49***Fuerza Gs en el Pecho*

*Nota.* Diagrama de la fuerza Gs presente en el pecho del ocupante durante el periodo del impacto.

Los datos obtenidos anteriormente de las fuerzas Gs (aceleración), se tiene que realizar una comparación con los valores admisibles presentes en el reglamento No. 94 de La Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas. Aspectos analizados en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Análisis de Fuerzas Gs a 60 km/h*

<b>Ubicación de la fuerza</b>	<b>Valor permisible (Gs)</b>	<b>Valor obtenido (Gs)</b>
Cabeza	80	130
Pecho	60	88.9

*Nota.* Tabla comparativa de las fuerzas Gs obtenidas de la simulación con los valores permisibles presentes en el reglamento No. 94.

En función a la tabla comparativa, se puede establecer que las fuerzas Gs obtenidas superan a las permisibles, por ende, se considera que el chasis y la carrocería del vehículo no son seguros, ya que estos valores reflejan lesiones graves o directamente la muerte del ocupante.

#### **4.9 Optimización del Bastidor y la Carrocería**

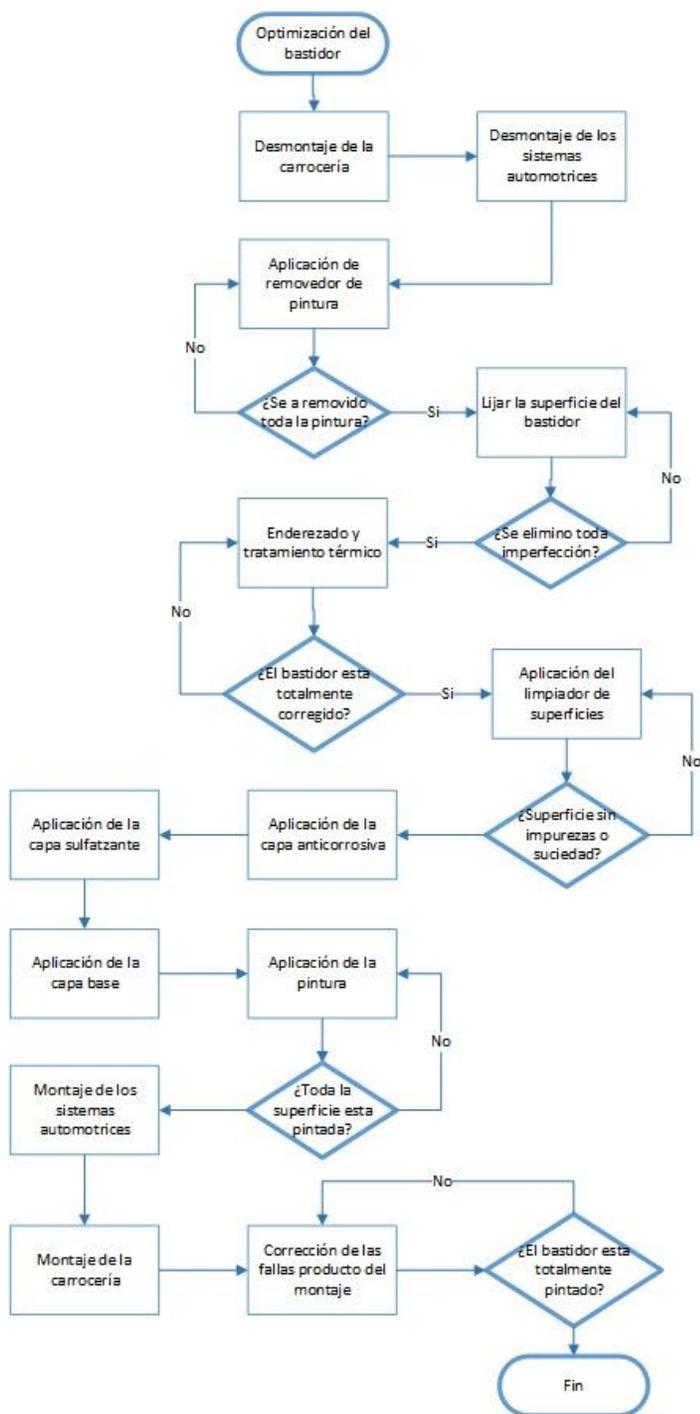
Se detalla el proceso que se llevó a cabo para la optimización de la estructura del Jeep, en dicha estructura, se encuentra el bastidor y la carrocería.

##### **4.6.1 Diagrama de Flujo para Optimización del bastidor**

El proceso realizado para la optimización del bastidor se lo establece mediante un diagrama de flujo representado en la Figura 50.

Figura 50

Diagrama Optimización del Bastidor



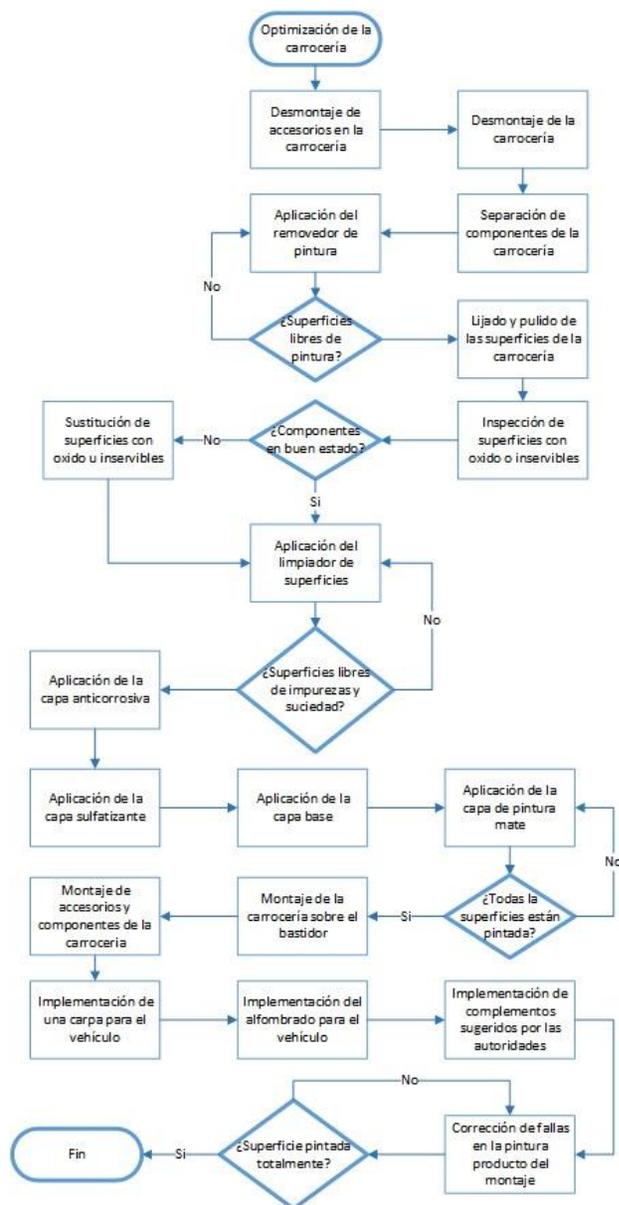
Nota. Diagrama de flujo para la optimización del bastidor

#### 4.6.2 Diagrama de Flujo para Optimización de la Carrocería

El proceso realizado para la optimización de la carrocería se lo detalla mediante un diagrama de flujo representado en la Figura 51.

**Figura 51**

*Diagrama Optimización de la Carrocería*



*Nota.* Diagrama de flujo para optimización de la carrocería

#### **4.6.3 Visualización del Estado Inicial vs el Estado Final del Vehículo**

La adquisición del vehículo y el estado en el que se encontraba durante su almacenamiento se puede observar en la figura 52.

##### **Figura 52**

*Estado Inicial de la Estructura del Vehículo*



*Nota.* Evidencia fotográfica del estado inicial del Jeep CJ3-A antes de realizada la restauración y optimización.

El estado del Jeep restaurado y optimizado para su entrega a la institución se aprecia en la Figura 53.

##### **Figura 53**

*Estado Final de la Estructura del Vehículo*



*Nota.* Evidencia fotográfica del estado final del vehículo Jeep Willys CJ3-A luego de la restauración y optimización.

#### 4.6.4 Tabla de Procesos para la Optimización del Bastidor y la Carrocería

El desarrollo de los procesos para la restauración del bastidor y carrocería en función de los componentes intervenidos se encuentran detallados en la Tabla 23, al igual que su estado durante la finalización de cada proceso.

**Tabla 23**

*Procesos Llevados a Cabo para la Optimización*

BIENES INTERVENIDOS	ESTADO			FECHA DE REALIZACIÓN	OBSERVACIONES (HISTÓTICO/NOVEDADES)
	Bueno	Regular	Malo		
1 Chasis - Remoción de la pintura original		X		24/5/2021	Para la remoción de la pintura se utilizó un removedor para pintura de la marca WESCO
2 Chasis - Enderezada de parachoques frontal y trasero		X		26/5/2021	Se utilizó un soplete con oxiacetileno, para calentar la superficie, y facilitar su enderezamiento
3 Chasis - Proceso de soldadura presentes en el componente		X		28/5/2021	Para este proceso se utilizó la soldadura de tipo MIG, con alambre para acero de 9 mm.
4 Carrocería - Remoción de la pintura original		X		31/5/2021	Para la remoción de la pintura se utilizó un removedor para pintura de la marca WESCO

BIENES INTERVENIDOS	ESTADO			FECHA DE REALIZACIÓN	OBSERVACIONES (HISTÓTICO/NOVEDADES)
	Bueno	Regular	Malo		
5 Chasis - Aplicación de masilla en el parachoques frontal y trasero	X			7/6/2021	Se utilizó dos tipos de masilla, la primera es masilla plástica Sherwin-Williams, y la segunda es masilla Poliéster Titanium, y el catalizador en pasta de la marca UNIDAS
6 Chasis - Implementación de la capa antioxidante	X			9/6/2021	Se utilizó un antioxidante de la marca Sherwin-Williams, con su activador, en una relación de 50:50
7 Chasis - Implementación de la capa sulfatizante	X			9/6/2021	Se utilizó un endurecedor Primer de marca Sherwin-Williams, en conjunto con PRIMER HS ULTRA PERFORMANCE, en una relación 25:75
8 Chasis - Aplicación de la capa base de pintura	X			10/6/2021	Se colocó la capa base con una pintura de color negro
9 Carrocería - Enderezada del cuerpo principal		X		14/6/2021	Se realizó el enderezamiento del cuerpo principal de la carrocería mediante el golpeteo del material
10 Carrocería - Proceso de soldadura del cuerpo principal		X		16/6/2021	Se utilizó la soldadura de tipo MIG, con alambre para acero de 9 mm.

BIENES INTERVENIDOS	ESTADO			FECHA DE REALIZACIÓN	OBSERVACIONES (HISTÓTICO/NOVEDADES)
	Bueno	Regular	Malo		
11 Carrocería - Aplicación de masilla en el cuerpo principal	X			21/6/2021	Se utilizó dos tipos de masilla, la primera es masilla plástica Sherwin-Williams, y la segunda es masilla Poliéster Titanium, y el catalizador en pasta de la marca UNIDAS
12 Carrocería - Enderezada de Capó		X		21/6/2021	Se realizó el enderezamiento del capó mediante el golpeteo del material
13 Carrocería - Proceso de soldadura del capó		X		21/6/2021	Se utilizó la soldadura de tipo MIG, con alambre para acero de 9 mm.
14 Carrocería - Aplicación de masilla en el capó	X			22/6/2021	Se utilizó dos tipos de masilla, la primera es masilla plástica Sherwin-Williams, y la segunda es masilla Poliéster Titanium, y el catalizador en pasta de la marca UNIDAS
15 Carrocería - Implementación de la capa antioxidante sobre el capó	X			23/6/2021	Se utilizó un antioxidante de la marca Sherwin-Williams, con su activador, en una relación de 50:50

BIENES INTERVENIDOS	ESTADO			FECHA DE REALIZACIÓN	OBSERVACIONES (HISTÓTICO/NOVEDADES)
	Bueno	Regular	Malo		
16 Carrocería - Implementación de la capa sulfatizante	X			23/6/2021	Se utilizó un endurecedor Primer de marca Sherwin-Williams, en conjunto con PRIMER HS ULTRA PERFORMANCE, en una relación 25:75
17 Carrocería - Aplicación de una base inicial de pintura.	X			5/7/2021	Se agrega un 50% de la capa entre el antioxidante y el activador.
18 Carrocería - Aplicación de la pintura	X			19/7/2021	Luego de aplicada la pintura se necesita de 2 horas de secado a 40 - 50 °C, para su posterior manipulación.
19 Carrocería - Aplicación de barniz de protección mate	X			4/8/2021	Luego de aplicado el barniz mate se necesita de una hora de secado, para la manipulación de la estructura.

*Nota.* En la presente tabla se da a conocer de manera resumida cuáles fueron los procesos llevados a cabo para la optimización del bastidor y la carrocería.

Una vez realizado el proceso de restauración y optimización del Jeep CJ3-A de su bastidor y carrocería, se obtiene como producto final, un vehículo en condiciones óptimas de uso, considerando aspectos de seguridad en caso de colisión a impacto frontal, con características estéticas de: pintura mate verde olivo aplicada a la superficie con distintivos militares, acabados en el habitáculo panel de instrumentos y accesorios en su parte externa e interna, similar versiones utilizadas por fuerzas armadas para el Jeep Willys.

## Capítulo V

### 5. Marco Administrativo

#### 5.1 Recursos

Para la sustentación, ejecución y validación de la investigación se detallará de forma entendible y organizada los recursos empleados, descritos en los siguientes ítems.

##### 5.1.1 Recursos Humanos

En la tabla 24 se presenta a los autores y personal colaborador para el desarrollo de la investigación.

**Tabla 24**

*Recursos Humanos*

Ord.	Descripción	Función
1	Castellano Moreta, Rodrigo Neptalí	Investigador
2	Padilla Padilla, Jonathan Alfonso	Investigador
		Director del trabajo de titulación
3	Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio. Msc.	Investigador análisis estático y dinámico CAD

*Nota.* La tabla enlista al talento humano que desarrollo y superviso la investigación.

### 5.1.2 Recursos Tecnológicos

Para la obtención de resultados coherentes y realistas fue necesario hacer uso de equipos y softwares que garanticen la presente investigación, los cuales se describen en la tabla 25.

**Tabla 25**

*Recursos Tecnológicos*

<b>Ord.</b>	<b>Nombre</b>
1	Software Análisis estático y dinámico
2	Software impacto frontal
3	Office
4	Laptop
5	Internet
6	Cámara

*Nota.* Recursos tecnológicos necesarios en el proyecto

### 5.1.3 Recursos Materiales

Para el desarrollo del proyecto enfocado en la restauración y optimización del bastidor y carrocería del vehículo Jeep Willys CJ3-A se emplearon elementos necesarios para alcanzar dicho objetivo, mismos que se detallan en la tabla 26.

**Tabla 26***Recursos Materiales*

<b>Ord.</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unidad (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
1	Removedor de pintura 120101	4	17,43	69,72
2	Masilla plástica Sherwin Williams 6032 – 1G y Titanium TP - 300A	2	40	80,00
3	Catalizador en pasta para masilla	2	14,62	29,24
4	Anticorrosivo Sherwin Williams	1	68,32	68,32
5	Sulfatizante Sherwin Williams	1	18,48	18,48
6	Pintura Sherwin Williams	1	73,68	73,68
<b>Total</b>				<b>339,44</b>

*Nota.* Recursos materiales empleados para la culminación de la presente investigación.

Los demás materiales, equipos y bienes empleados en desarrollo del proyecto fueron alquilados y su valor está en función de las horas de trabajo, y comprenden el valor restante del total empleado.

## **5.2 Presupuesto**

Para la ejecución del proyecto titulado “ANÁLISIS, DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL BASTIDOR Y LA CARROCERÍA DEL JEEP WILLYS CJ3A”. Se presenta la Tabla

27 donde se detallan los valores unitarios y el total invertido para la culminación de la presente investigación.

**Tabla 27**

*Presupuesto Total*

<b>Orden</b>	<b>Descripción</b>	<b>Trabajos Realizados</b>	<b>Valor (\$)</b>
1	Latonería y Pintura	Trabajos de pintura	800
2		Trabajos de enderezada	250
3		Tratamiento antioxidante carrocería	400
4		Tratamiento antioxidante bastidor	350
<b>Total</b>			1800

*Nota.* Presupuesto total culminada la investigación.

### **5.3 Financiamiento**

El financiamiento para el desarrollo y culminación de la investigación es autofinanciado por los tesisistas con un valor total de 1800,00 USD.

## Capítulo VI

### 6. Conclusiones y Recomendaciones

#### 6.1 Conclusiones

- El uso de los modelos 3D a escala 1:1 del Jeep CJ3-A desarrollados en un software CAD permitieron el análisis de las cargas descritas en la normativa INEN 1323, para establecer la fiabilidad del diseño utilizado en este vehículo.
- El estudio del comportamiento de las cargas a través de un análisis estático permitió determinar la influencia que tienen al ser aplicadas en la estructura y como afectan al material de fabricación en función de los valores de deformación, esfuerzo, factor de diseño e impacto frontal en el Jeep.
- La optimización de los sistemas vehiculares, de carrocería y bastidor mediante reparación, sustitución y readaptación de los mismos permitió obtener un vehículo funcional para la Institución (ESPE), brindando la oportunidad de ser utilizado en exhibiciones y/o presentaciones.
- Mediante el análisis de impacto frontal y en base a las fuerzas de aceleración (Gs) obtenidas en la prueba de  $60 \text{ km/h}$  se determinó que el vehículo no es apto para transitar como “vehículo de uso diario” debido a que dichas fuerzas superan el rango permisible establecido en la normativa R94, lo que conlleva a que la seguridad del ocupante se encuentre comprometida.
- Para el análisis se determinó que es necesario el uso de dos softwares CAD, uno enfocado en el análisis estático y dinámico, y otro enfocado al estudio del impacto frontal, facilitando la optimización de los procesos de simulación y obtención de nuevas variables utilizadas para el análisis de bastidores y carrocerías.
- En función del análisis estático realizado mediante el software CAD, y tomando en cuenta las cargas presentes en la estructura del vehículo se obtuvieron diversos

resultados en base a la deformación, el esfuerzo de Von Mises y el factor de seguridad, siendo los siguientes: se obtuvo una deformación máxima de  $0,4587 \text{ mm}$ , un esfuerzo máximo de  $44,59 \text{ MPa}$  y un factor de seguridad mínimo de  $5,607$ , demostrando que dichos valores se encuentran dentro de los rangos permisibles validando el diseño del vehículo.

- En función del análisis dinámico realizado mediante el software CAD, y tomando en cuenta la carga de frenado presente en la estructura del vehículo se obtuvieron diversos resultados en base a la deformación, el esfuerzo de Von Mises y el factor de seguridad, siendo los siguientes: se obtuvo una deformación máxima  $3,038 \text{ mm}$ , un esfuerzo máximo de  $203,5 \text{ MPa}$  y un factor de seguridad mínimo de  $1,228$ , demostrando que la deformación máxima y el factor de seguridad no cumplen con las condiciones para el diseño del vehículo.
- Durante el análisis del impacto frontal mediante el uso de diferentes softwares considerando la normativa europea R94, a una velocidad de  $56 \text{ km/h}$  se determinó que el conductor del vehículo no llega a sufrir de golpes directos como producto del impacto, debido a que no existe contacto entre la carrocería y el ocupante.
- En conclusión y previo análisis de los resultados obtenidos se determinó que el vehículo Jeep Willys CJ3-A no cumple con las condiciones para su libre circulación, por ende, este vehículo debería ser usado solo para exhibiciones o presentaciones que no involucren mayor riesgo para los ocupantes.

## 6.2 Recomendaciones

- Para el estudio del impacto frontal se recomienda disponer de un computador que posea las siguientes características: memoria RAM mínimo 8GB, procesador de 8 núcleos y una tarjeta de video, para obtener mayor eficiencia y menor tiempo de procesamiento.
- Para el desarrollo de pruebas de impacto frontal es necesario trabajar el modelado 3D del Jeep CJ3-A con elementos de tipo superficie y no como sólidos, debido a que el programa presenta mayor cantidad de interferencias al momento de generar el mallado en la estructura.
- Para continuar el desarrollo del estudio de impacto frontal se recomienda realizar el análisis en función de diagramas que determinen la energía liberada durante el impacto, esto se puede profundizar con el uso de normativas extranjeras.
- Implementar nuevos sistemas de seguridad activa y pasiva, tales como cinturones de seguridad, nuevos asientos que estén adecuados con apoyacabezas y un sistema de airbag para salvaguardar la integridad de los ocupantes, mismos que se podrían utilizar para un nuevo análisis mediante el uso de software CAD.
- Diseñar y construir una jaula de seguridad en función a nuevos diseños que se presentan en los diferentes medios de investigación orientados al sector automotriz, que permitan aumentar la seguridad de los ocupantes.

## Bibliografía

- Beer, F. P., Johnston, E. R., & Cornwell, P. J. (2015). *Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica* (Onceava ed.). México, D.F.: McGraw-Hill.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., & Mazurek, D. F. (2010). *Mecánica Vectorial para Ingenieros: Estática* (Novena ed.). México, D.F.: McGraw-Hill.
- Bohórquez Suarez, D. I., & Carranza Escobar, C. R. (2019). *Análisis y reconstrucción estructural del bastidor de un vehículo Jeep modelo Willys del año 1952 por elementos finitos* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio Institucional, Latacunga. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21166/1/T-ESPEL-MAIL-0671.pdf>. Recuperado el 17 de Noviembre del 2021.
- Budynas, R. G., & Keith Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Novena ed.). México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Cascajosa Soriano, M. (2005). *Ingeniería de vehículos, sistemas y cálculos* (Segunda ed.). Madrid, España: Tébar Flores, S.L.
- Cepeda Miranda, J. L. (2006). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DEL AUTOBÚS FELINE PARA LA EMPRESA CARROCERA MIRAL BUSES* [Tesis de grado, Escuela Politécnica del Ejercito]. Repositorio Institucional, Sangolquí. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/734>. Recuperado el 23 de Noviembre del 2021.
- Cuadrilla Corona, M. A. (16 de Mayo de 2011). *Análisis estructural por medio del método del elemento finito del monocasco de un auto fórmula 3* [Tesis de Grado,

Escuela Superior de Ingeniería y Mecánica Unidad Azcapotzalco]. Repositorio Institucional, México, D.F. Obtenido de Instituto Politécnico Nacional - Unidad Azcapotzalco, México:

<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/9962/1/85.pdf>. Recuperado el 30 de Noviembre del 2021.

Díaz de la Cruz Cano, J. M., & Sánchez Pérez, Á. M. (2016). *Mecánica para Ingenieros* (Primera ed.). Madrid: Dextra.

Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2016). *Mecánica de materiales* (Octava ed.). México D.F.: Cengage \ Learning.

Happian-Smith, J. (2002). *An introduction to Modern Vehicle Desing*. Oxford: Read Education and Professional Publishing Ltd.

Hibbeler, R. C. (2004). *Mecánica Vectorial para Ingenieros : Estática* (Décima ed.). México, D.F.: Pearson Educación.

Hibbeler, R. C. (2010). *INGENIERÍA MECÁNICA ESTÁTICA* (Decimosegunda ed.). México: Pearson Educación.

Jenkins, W. M. (1980). *Análisis y Mecánica de las Estructuras*. México, D.F.: Electracomp.

Kassimali, A. (2015). *Análisis estructural* (Quinta ed.). México D.F.: Cengage \ Learning.

López Villacís, G. E., & López Pazmiño, L. D. (2015). *Análisis de la estructura del chasis Hino AK8JRSA y su incidencia en el comportamiento mecánico general del bus interprovincial en la industria Metálica Cepeda* [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional, Ambato. Obtenido de Repositorio Universidad Técnica de Ambato:

<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/10369>. Recuperado el 14 de Diciembre del 2021.

Mejía, F. (2 de Enero de 2008). *LA HISTORIA DE LA MARCA JEEP WILLEYS*.

Recuperado el 3 de Abril de 2021, de Obelisco Classic Car Club Cali Colombia:

[https://obeliscoclassicarclub.blogspot.com/2013/12/investigacion-y-edicion-francisco-mejia.html?fbclid=IwAR3REr77utoQ-](https://obeliscoclassicarclub.blogspot.com/2013/12/investigacion-y-edicion-francisco-mejia.html?fbclid=IwAR3REr77utoQ-cddm8BAwUnuHnO4gmVNuNxy8VbPbk0-zOTBVZdDA6OQntQ)

[cddm8BAwUnuHnO4gmVNuNxy8VbPbk0-zOTBVZdDA6OQntQ](https://obeliscoclassicarclub.blogspot.com/2013/12/investigacion-y-edicion-francisco-mejia.html?fbclid=IwAR3REr77utoQ-cddm8BAwUnuHnO4gmVNuNxy8VbPbk0-zOTBVZdDA6OQntQ). Recuperado el 28 de Diciembre del 2021.

Motor Ibérica. (1963). *Manual de taller Jeep CJ-3/CJ-6*. San Pedro: Motor Ibérica S.A.

Obtenido de <https://es.slideshare.net/blancaisabelcig/manual-de-taller-sp1055avexp-jeep-cj3-cj6>. Recuperado el 4 de Enero del 2022.

Motor Perkins. (1982). *Catálogo de recambios, Jeep-Bravo, Cj3b-Cj6*. Motor Perkins

4.108. Obtenido de <https://es.slideshare.net/blancaisabelcig/catalogo-de-recambios-08191000-cj3bcj6>. Recuperado el 11 de Enero del 2022.

Mott, R. L. (2006). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS* (Cuarta ed.). México: Pearson Educación.

Mott, R. L. (2009). *Resistencia de Materiales* (Quinta ed.). México: Pearson Educación.

Myszka, D. H. (2012). *Máquinas y Mecanismos* (Cuarta ed.). México, D.F.: Pearson Educación.

NTE INEN. (2009). *INEN 1323. VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS*. Quito, ECUADOR: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. Obtenido de INSTITUTO ECUATORIANO DE

NORMALIZACIÓN: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-1323-1.pdf>. Recuperado el 24 de Noviembre del 2021.

Peréz Terrel, W. (2005). *Física: Teoría y Práctica* (Tercera ed.). Lima: Unicencia.

Pytel, A., & Kiusalaas, J. (1999). *Ingeniería Mecánica: Estática* (Segunda ed.). México D.F.: Thomson.

Sandoya Onofre, M. A. (2016). *DESARROLLO DE UN FACELIFT DEL VEHÍCULO BMW X5 F15 Y ANÁLISIS DE AERODINÁMICA A TRAVÉS DE LA PLATAFORMA AUTODESK* [Tesis de Grado, Universidad Internacional del Ecuador]. Repositorio Institucional, Guayaquil. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1516/1/T-UIDE-088.pdf>. Recuperado el 18 de Noviembre del 2021.

Shigley, J. E., & Mitchell, L. D. (1985). *Diseño en ingeniería mecánica* (Cuarta ed.). México, D.F.: McGraw-Hill.

Soutas-Little, R. W., Inman, D. J., & Balint, D. S. (2009). *Ingeniería Mecánica: Estática Edición Computacional*. México, D. F.: Cengage Learning.

UNECE. (2012). *Regulation No 94 of Economic Commission for Europe of the United Nations - Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the occupants in the event of a frontal collision*. España: Official Journal of the European Union. Obtenido de <https://unece.org/status-1958-agreement-and-annexed-regulations>. Recuperado el 3 de Febrero del 2022.

Westerman, B. (1941). *The Civilian Jeep Model CJ-3A: A guide to its features and evolution, 1949 - 1953*. Willys-Overland. Obtenido de <https://cj3a.info/book/index.html>. Recuperado el 2 de Enero del 2022.

WILLYS - VIASA. (1949). *Manual de Instrucciones: Jeep Universal*. Zaragoza, España:

Vehículos Industriales y Agrícolas, S.A. Obtenido de

[https://es.scribd.com/document/264549005/Manual-de-Instrucciones-Jeep-](https://es.scribd.com/document/264549005/Manual-de-Instrucciones-Jeep-Universal-Willys-Viasa)

[Universal-Willys-Viasa](https://es.scribd.com/document/264549005/Manual-de-Instrucciones-Jeep-Universal-Willys-Viasa). Recuperado el 1 de Febrero del 2022.

WILLYS-OVERLAND. (1949). *Manual Jeep MB - Ford GPW*. WILLYS-OVERLAND.

Obtenido de [https://es.slideshare.net/blancaisabelcig/ord-9-snl-g503-1-parte-](https://es.slideshare.net/blancaisabelcig/ord-9-snl-g503-1-parte-ford-gpw-willys-mb-octubre-1949-planos-en-espaol-e-ingls?from_action=save)

[ford-gpw-willys-mb-octubre-1949-planos-en-espaol-e-ingls?from\\_action=save](https://es.slideshare.net/blancaisabelcig/ord-9-snl-g503-1-parte-ford-gpw-willys-mb-octubre-1949-planos-en-espaol-e-ingls?from_action=save).

Recuperado el 5 de Febrero del 2022.

Willys-Overland. (1963). *MANUAL DE INSTRUÇÕES JEEP UTILITÁRIO MILITAR*. Sao

Paulo: BY WILLYS. Obtenido de

[https://es.scribd.com/document/92900154/Willys-Overland-Utilitario-Jeep-](https://es.scribd.com/document/92900154/Willys-Overland-Utilitario-Jeep-Military-Manual-de-Instrucoes-67-Pages)

[Military-Manual-de-Instrucoes-67-Pages](https://es.scribd.com/document/92900154/Willys-Overland-Utilitario-Jeep-Military-Manual-de-Instrucoes-67-Pages). Recuperado el 5 de Febrero del 2022.

WILLYS-OVERLAND DO BRASIL S/A. (1963). *Manual do Proprietário: Jeep Utilitário*

*Universal*. Sao Paulo, Brasil: WILLYS-OVERLAND. Obtenido de

[https://es.slideshare.net/talahass/jeep-willys-owners-manual-](https://es.slideshare.net/talahass/jeep-willys-owners-manual-portugues?next_slideshow=5198184)

[portugues?next\\_slideshow=5198184](https://es.slideshare.net/talahass/jeep-willys-owners-manual-portugues?next_slideshow=5198184). Recuperado el 6 de Febrero del 2022.

**Anexos**