



Estudio del comportamiento estructural de la modificación de un bastidor de tractocamión de tres ejes a camión de tres ejes por el método de elementos finitos

Rosas Cuasquer, Edgar Hernán

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. Iza Tobar, Henry Heriberto

02 de agosto del 2022

Latacunga

Reporte de verificación de contenidos

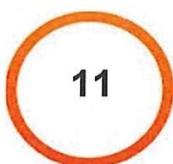


TRABAJO DE TITULACIÓN.docx

Scanned on: 20:50 August 2, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	86
Words with Minor Changes	13
Paraphrased Words	5
Omitted Words	0

A blue handwritten signature.

Ing. Iza Tobar, Henry Heriberto

C.C.: 0502005242



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Estudio del comportamiento estructural de la modificación de un bastidor de tractocamión de tres ejes a camión de tres ejes por el método de elementos finitos"** fue realizado por el señor **Rosas Cuasquer, Edgar Hernán**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, Agosto 02 de 2022

Firma

Ing. Iza Tobar, Henry Heriberto

C.C.: 0502005242



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de autoría

Yo, **Rosas Cuasquer, Edgar Hernán**, con pasaporte (PAS) N° AW704421, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Estudio del comportamiento estructural de la modificación de un bastidor de tractocamión de tres ejes a camión de tres ejes por el método de elementos finitos** es de mi 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, Agosto 02 de 2022

Firma

Rosas Cuasquer, Edgar Hernán

PAS: AW704421



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de publicación

Yo **Rosas Cuasquer, Edgar Hernán**, con pasaporte (PAS) N° AW704421, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Estudio del comportamiento estructural de la modificación de un bastidor de tractocamión de tres ejes a camión de tres ejes por el método de elementos finitos** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, Agosto 02 de 2022

Firma

Rosas Cuasquer, Edgar Hernán

PAS: AW704421

Dedicatoria

El presente proyecto de investigación se lo dedico en primer lugar a dios quien cada día me ha brindado las fuerzas, resiliencia, y resistencia para seguir adelante a pesar de los días grises y gracias al he logrado terminar este objetivo que nació desde mis 11 años.

A mis padres Orlando Rosas y Olga Cuasquer quienes desde que se enteraron de mis deseos de estudiar esta carrera me brindaron su amor y apoyo incondicional para poder sacar a delante mis estudios.

por último y no menos importante agradezco a mi novia, hermanos, familiares y amigos que siempre estuvieron pendientes de mi día a día brindándome su apoyo incondicional tanto en los momentos fáciles como en los momentos difíciles de los cuales aprendí y me ayudaron a terminar con éxito mis estudios universitarios.

Hernán Rosas

Agradecimiento

Agradezco a Dios por brindarme vida, salud, resiliencia para culminar con éxito mis estudios universitarios y así poder cumplir mis objetivos

Agradezco a mis padres por brindarme su apoyo incondicional, consejos y sacrificio día a día para seguir adelante, no desfallecer y así poder cumplir mis objetivos

Agradezco a mis familiares y amigos por brindarme su apoyo y consejos para seguir adelante, mismos que han sido parte fundamental de mi proceso de formación académica, con quienes hemos compartido momentos buenos y malos en cada ciclo de formación.

Agradezco al país, universidad y carrera de Ingeniería Automotriz por abrirme las puertas, brindarme la posibilidad de cumplir mis sueños y poder adquirir un gran conocimiento y experiencia.

Finalmente agradezco al tutor de la presente investigación Ing. Henry Iza por su amistad, su colaboración en el desarrollo del proyecto de investigación y por compartir sus conocimientos durante mi formación académica.

Hernán Rosas

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenidos.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de figuras.....	13
Índice de tablas.....	16
Índice de ecuaciones	17
Glosario.....	18
Resumen	21
Abstract.....	22
Capítulo I: Generalidades	23
Antecedentes investigativos	23
Planteamiento del problema.	24
Descripción detallada del proyecto	26
Justificación e importancia	27

Objetivos del proyecto	27
<i>Objetivo general</i>	28
<i>Objetivos específicos</i>	28
Metas	28
Hipótesis.....	28
Variables de investigación	29
<i>Variable Independiente:</i>	29
<i>Variable Dependiente:</i>	29
Capítulo II: Marco teórico.....	31
Uso de camiones de acuerdo a la normativa	31
<i>Usos para vehículos de categoría N3</i>	32
El bastidor.....	34
Diseño de bastidores para vehículos industriales.....	35
Tipos de bastidores	35
<i>Bastidor de largueros longitudinal</i>	35
<i>Bastidor de perfil en U.</i>	36
<i>Bastidor de perfil reforzado.</i>	37
<i>Bastidor de perfil en doble T.</i>	38
Materiales para fabricación del bastidor.	38
<i>Posición de instalación del material de refuerzo.</i>	41

<i>Realización de corte en el bastidor</i>	42
Propiedades de los aceros estructurales	46
<i>Límite de Fluencia</i>	47
<i>Módulo de elasticidad o módulo de Young</i>	47
<i>Coefficiente de Poissón</i>	48
<i>Tensión de Von Mises o máxima energía de distorsión</i>	49
<i>Factor de seguridad</i>	50
Fuerzas que actúan sobre el bastidor y la estructura del camión	51
<i>Fuerzas estáticas en el bastidor</i>	51
<i>Fuerzas dinámicas en el bastidor</i>	52
Análisis de esfuerzos en el bastidor.....	55
<i>Cálculo de los esfuerzos cortantes y momentos flectores</i>	58
Soldadura en el bastidor del vehículo.....	58
Métodos de elementos finitos (MEF)	60
<i>SolidWorks versión de prueba</i>	61
Capítulo III: Análisis y modelado del bastidor.....	63
Ensayo de tracción	63
Información del Vehículo.....	67
Esquema del alargamiento del bastidor.	69
Cálculos	70

<i>Distribución de peso en camión de tres ejes.....</i>	72
<i>Cálculo de esfuerzos cortantes y momentos flectores.....</i>	73
Representación gráfica de los elementos del bastidor.	82
Capítulo IV: Pruebas y análisis de resultados.....	86
Ensayo de tracción.	86
Análisis estático.	89
<i>Mallado del ensamble</i>	89
<i>Análisis de la simulación</i>	90
<i>Análisis de resultados</i>	96
Capítulo V: Marco administrativo	99
Recursos	99
Talento Humano	99
Recursos Tecnológicos.....	99
Recursos Materiales	100
Presupuesto.....	101
Financiamiento	102
Capítulo VI.....	103
Conclusiones y recomendaciones.....	103
<i>Conclusiones.....</i>	103
<i>Recomendaciones.....</i>	104

Bibliografía105

Anexos108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Bastidor de camión</i>	34
Figura 2 <i>Bastidor de largueros longitudinales</i>	36
Figura 3 <i>Bastidores de perfil en U</i>	36
Figura 4 <i>Bastidores de Perfil Reforzado</i>	37
Figura 5 <i>Bastidores de perfil en doble T</i>	38
Figura 6 <i>Material de refuerzo del bastidor</i>	41
Figura 7 <i>Lugares donde no se debe colocar los refuerzos</i>	42
Figura 8 <i>Corte del bastidor</i>	43
Figura 9 <i>Características de los refuerzos</i>	44
Figura 10 <i>Dimensiones de los refuerzos</i>	45
Figura 11 <i>Dimensiones para los refuerzos</i>	46
Figura 12 <i>Propiedades de aceros estructurales</i>	47
Figura 13 <i>Módulo de Young</i>	48
Figura 14 <i>Coeficiente de Poisson</i>	49
Figura 15 <i>Fuerzas estáticas en el bastidor</i>	51
Figura 16 <i>Fuerzas dinámicas</i>	52
Figura 17 <i>Fuerzas laterales</i>	53
Figura 18 <i>Fuerzas de torsión</i>	54
Figura 19 <i>Carga distribuida</i>	56
Figura 20 <i>Análisis de esfuerzos</i>	56
Figura 21 <i>Diagrama de cuerpo libre</i>	58
Figura 22 <i>Chaflán en V a 60°</i>	59
Figura 23 <i>Corriente eléctrica para soldar</i>	60
Figura 24 <i>Proceso para el análisis por M.E.F.</i>	61

Figura 25 Figuras realizadas en software CAD.	62
Figura 26 Dimensiones tracto camión HINO 700.....	69
Figura 27 Esquema del bastidor alargado.....	69
Figura 28 Distribución de cargas en el camión de tres ejes.....	72
Figura 29 Diagrama de cuerpo libre de la distribución de cargas en el bastidor.....	73
Figura 30 Diagramas sección uno.....	74
Figura 31 Diagramas Sección dos.....	75
Figura 32 Diagramas sección tres.....	76
Figura 33 Diagrama de cuerpo libre.....	78
Figura 34 Esfuerzos cortantes.....	78
Figura 35 Momentos flectores.....	79
Figura 36 Medidas en mm del perfil en U del bastidor.....	80
Figura 37 Modelado de los travesaños del bastidor.....	82
Figura 38 Larguero del bastidor.....	83
Figura 39 Refuerzos superior e inferior de la quinta rueda del tractocamión.....	83
Figura 40 Longitud aumentada.....	84
Figura 41 Perfil en U.....	84
Figura 42 Travesaños.....	85
Figura 43 Ensamble del bastidor.....	85
Figura 44 Curva de carga vs alargamiento acero A36.....	87
Figura 45 Curva de fuerza vs desplazamiento acero A36.....	87
Figura 46 Curva de carga vs alargamiento acero SAPH440.....	88
Figura 47 Curva de fuerza vs desplazamiento acero SAPH440.....	88
Figura 48 Ubicación de cargas y sujeciones.....	89
Figura 49 Mallado del ensamble.....	90
Figura 50 Tensión de Von Mises.....	91

Figura 51 <i>Desplazamientos</i>	91
Figura 52 <i>Factor de seguridad</i>	92
Figura 53 <i>Tensión de Von Mises</i>	93
Figura 54 <i>Desplazamientos</i>	94
Figura 55 <i>Factor de seguridad</i>	94
Figura 56 <i>Comprobación de fatiga</i>	95
Figura 57 <i>Diagrama de fatiga de Goodman</i>	96
Figura 58 <i>Resultados obtenidos</i>	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable independiente.....	29
Tabla 2 Operacionalización de la variable dependiente.....	30
Tabla 3 Vehículos categoría N3.....	31
Tabla 4 Uso para vehículos de Subcategoría N3.....	32
Tabla 5 Propiedades mecánicas del acero SAPH 440.....	39
Tabla 6 Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....	40
Tabla 7 Propiedades mecánicas del acero ASTM A572.....	40
Tabla 8 Ensayo de tracción material acero A36 (ETM 01).....	64
Tabla 9 Ensayo de tracción material acero SAPH440 (ETM 02).....	66
Tabla 10 Características del tractocamión HINO 700.....	67
Tabla 11 Medidas del camión de tres ejes.....	70
Tabla 12 Resultados obtenidos.....	97
Tabla 13 Talento Humano.....	99
Tabla 14 Recursos Tecnológicos.....	100
Tabla 15 Recursos Materiales.....	100
Tabla 16 Presupuesto de estudio.....	101
Tabla 17 Presupuesto de Implementación.....	102

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Módulo de Young</i>	48
Ecuación 2 <i>Coefficiente de Poissón</i>	49
Ecuación 3 <i>Tensión de Von Mises</i>	50
Ecuación 4 <i>Factor de seguridad</i>	50
Ecuación 5 <i>Carga viva</i>	54
Ecuación 6 <i>Carga de impacto</i>	55
Ecuación 7 <i>carga viva total</i>	55
Ecuación 8 <i>Peso total</i>	57
Ecuación 9 <i>Carga útil</i>	57
Ecuación 10 <i>Reacción en el eje delantero (RA)</i>	57
Ecuación 11 <i>Reacción en los ejes traseros (RD)</i>	57
Ecuación 12 <i>Ubicación de la carga puntual</i>	57
Ecuación 13 <i>Reacción en cada uno de los ejes traseros</i>	58
Ecuación 14 <i>Esfuerzo cortante sección uno</i>	74
Ecuación 15 <i>Momento flector sección uno</i>	74
Ecuación 16 <i>Carga distribuida</i>	75
Ecuación 17 <i>Esfuerzo cortante sección dos</i>	75
Ecuación 18 <i>Momento flector sección dos</i>	76
Ecuación 19 <i>Esfuerzo cortante sección tres</i>	77
Ecuación 20 <i>Momento flector sección tres</i>	77
Ecuación 21 <i>Momento de inercia</i>	79
Ecuación 22 <i>Tensión de flexión</i>	79
Ecuación 23 <i>Tensión tangencial</i>	80
Ecuación 24 <i>Área del perfil</i>	80
Ecuación 25 <i>Desplazamiento</i>	93

Glosario.

MMA= Masa máxima autorizada.

MMR= Masa máxima recomendable

MTOP= Ministerio de transporte y obras públicas

PBV = Peso bruto vehicular

Mpa = Mega pascal

Gpa = Giga pascals

ASTM= American Society for Testing and Materials

E = Módulo de elasticidad

$d\sigma$ = Tensión aplicada

$d\varepsilon$ = Deformación unitaria.

S_y = Limite elástico.

n_s =Factor de seguridad.

C_v = Carga viva.

CT = Carga total.

SC = Sobrecarga.

C_{imp} = Carga de impacto.

AASHTO =American Association of State Highway and Transportation Officials).

Q = Peso total sumado el peso de la caja de carga más el peso de la mercancía o carga útil (kg).

Q_1 = Peso del carrozado del camión (kg).

Q_2 = Peso máximo de la mercancía que puede trasportar el camión o carga útil (kg).

Q_3 = Peso del automotor sin carrozar. Tal como sale de fábrica (kg).

L_1 = Longitud desde el centro de los ejes traseros hasta el centro de gravedad en la caja (m).

WB_1 = Distancia desde el centro del eje delantero hasta el centro de los dos ejes traseros, en (m).

WB_2 = Distancia entre ejes posteriores, en (m).

WB = Distancia entre ejes, (eje delantero y primer eje posterior) en (m)

L = Distancia carrozable, en (m)

m = Distancia entre el eje delantero y el punto inicial de la caja, en (m).

a = Distancia del voladizo posterior en (m).

$X1$ = Distancia desde el eje delantero al comienzo de la caja de carga.

$X2$ = Tramo de bastidor desde el comienzo de la caja de carga hasta el punto del bastidor donde se sitúa el eje trasero del vehículo.

$X3$ = Distancia final del bastidor desde el eje trasero del vehículo hasta el extremo posterior de la caja de carga.

q = Carga distribuida.

$V_{(X1)}$ = Esfuerzo cortante en la sección uno

$M_{(X1)}$ = Momento flector en la sección uno.

$V_{(X2)}$ = Esfuerzo cortante en la sección dos

$M_{(X2)}$ = Momento flector en la sección dos.

$V_{(X3)}$ = Esfuerzo cortante en la sección tres

$M_{(X3)}$ = Momento flector en la sección tres.

I_x = Momento de inercia del perfil.

M = Momento flector máximo

C = Distancia media del perfil al centro del alma

v = Máximo esfuerzo cortante que actúa en el perfil.

A_c = Area de la sección del bastidor

h = Altura del perfil del bastidor.

e = Espesor del perfil del bastidor.

σ_f = Tensión de flexión

T = Tensión de cortadura o tensión tangencial.

σ_e = Limite elástico del material utilizado. (ASTM A36 = 250 Mpa)

σ_{co} = Tensión de Von Mises.

Resumen

El presente proyecto de investigación consiste en realizar el diseño y análisis tanto matemático como estático en SolidWorks versión de prueba del alargamiento del bastidor de un tractocamión de tres ejes en un camión de tres ejes, para determinar qué tipo de material de la industria local presenta la fiabilidad para realizar dicho proceso. Par lo cual se realizó un ensayo detracción del acero SAPH440 que utiliza la industria HINO para fabricar los bastidores, así como también del acero ASTM A36 él cual es de fácil adquisición dentro de la industria nacional y se utiliza para fabricar bastidores y estructuras automotrices. Obteniendo como resultado que la resistencia máxima a la tracción (Mpa) del acero SAPH440 es de 519.619 y del acero ASTM A36 es de 522.375, la resistencia a la ruptura (Mpa) del acero SAPH440 es de 434.562 y del acero ASTM A36 es de 455.600. siendo de similares características brindando una alta fiabilidad para realizar dicho trabajo. Para realizar el diseño del alargamiento del bastidor se tomó en cuenta la norma de pesos y medidas MTOP, donde se determinó la carga bruta del camión, así como también la longitud del mismo, también se tomó en cuenta los diferentes usos que se le da a este tipo de camiones dentro del país, mismos que se encuentran en la norma NTE INEN 2656 y NTE INEN-ISO 3833, 3.1.3, 3.1.5. una vez realizado el diseño del bastidor en el software SolidWorks versión de prueba se procedió a agregar el material acero ASTM A36, así como también la máxima carga permitida por la norma que ese de 17000 kg. Obteniendo un factor de seguridad de 2.66. y un cilio de vida infinita para este diseño.

Palabras clave: ensayo de tracción, alargamiento del bastidor, análisis estático, software

CAD

Abstract

The present research project consists of carrying out the design and both mathematical and static analysis in SolidWorks, a test version of the lengthening of the frame of a three-axle tractor-trailer in a three-axle truck, to determine what type of material of the local industry presents the reliability to carry out this process. For which a detraction test was carried out on SAPH440 steel used by the HINO industry to manufacture frames, as well as ASTM A36 steel, which is easily acquired within the national industry and is used to manufacture automotive frames and structures. Obtaining as a result that the maximum tensile strength (Mpa) of SAPH440 steel is 519,619 and of ASTM A36 steel is 522,375, the breaking strength (Mpa) of SAPH440 steel is 434,562 and of ASTM A36 steel is 455,600. being of similar characteristics providing a high reliability to carry out said work. To carry out the design of the elongation of the frame, the standard of weights and measures MTOP was taken into account, where the gross load of the truck was determined, as well as its length, the different uses that are given to it were also taken into account. this type of trucks within the country, which are found in the NTE INEN 2656 and NTE INEN-ISO 3833, 3.1.3, 3.1.5 standards. Once the design of the frame was made in the SolidWorks test version software, the material ASTM A36 steel was added, as well as the maximum load allowed by the standard, which is 17,000 kg. Obtaining a safety factor of 2.66. and a cilium of infinite life for this design.

Keywords: traction test, extension of the frame, static analysis, cad-software

Capítulo I

Generalidades

Antecedentes investigativos

El bastidor de un vehículo es la estructura en la que se acoplan y sujetan los mecanismos y elementos que lo conforman. Su función principal es soportar las cargas estáticas, dinámicas e inerciales originadas por el funcionamiento de los distintos elementos.

Para realizar el proceso de modificación de la distancia entre ejes de los bastidores del camión, el eje trasero debe quedar en paralelo al delantero, la acometida de la flecha cardán debe estar acorde a las especificaciones y en el ángulo apropiado para no generar deterioro en el diferencial, la distribución de cargas se cambia y el ángulo de giro será más largo. (Funes, 2017).

Para efectuar la extensión entre ejes de un automóvil, se instala el automóvil sobre carros con deslizamiento lineal los cuales están fijados a la zona frontal y posterior del mismo, a continuación se realiza un corte transversal en el automóvil, cortándolo en dos mitades las cuales se separan mediante el deslizamiento lineal de los carros, luego se coloca en cada lateral del automóvil un perfil que se aloja parcialmente en el interior de las taloneras, inmovilizándose mediante soldadura obteniendo el alargamiento del bastidor; así mismo los refuerzos dispuestos en la zona inferior central del automóvil se unen con soldadura mediante perfiles de sección similar a la suya, a continuación se cubre el orificio generado en el suelo del automóvil mediante chapas metálicas las cuales se sueldan a taloneras, al suelo de las mitades, al puente central y a los refuerzos inferiores fijados anteriormente. Posteriormente se realiza el carrozado mediante la colocación de chapas metálicas y vidrio, variando o manteniendo la línea original del automóvil. (S.L., 1992).

Transformaciones de los camiones.

- La colocación de un cuarto eje posterior en vehículos de obra, en los de 6x6 y 6x4 para el aumento a unos 32000 kg de MMA.
- La instalación de un eje central elevable y fijo con ruedas de 17,5 pulgadas convirtiendo así el tractor 4x2 en un 6x2 para poder aumentar la capacidad de carga unos 23000 kg de MMA y unos 44000 kg de MMR. (N/A, CITY CARROCERIAS , 2019).
- La transformación de los vehículos porta camiones, donde se rebaja la altura de un chasis para poder hacer más fácil el transporte de cada uno de los vehículos con cabinas de buen tamaño (N/A, CITY CARROCERIAS , 2019).

Al inicio y hasta 1910, tanto el chasis como carrocería eran de madera, desde 1910 se inicia a trabajar con acero y aluminio en las estructuras, buscando una mayor dureza torsional del bastidor. En 1934 Citroën es la primera marca que coloca alecciones de aluminio en el monocasco en un modelo fabricado en serie (Traction Avant). Después de la Segunda Guerra Mundial y con el poco acero en Europa, se aumenta el uso de las aleaciones de aluminio en los chasis (Paucar, 2018).

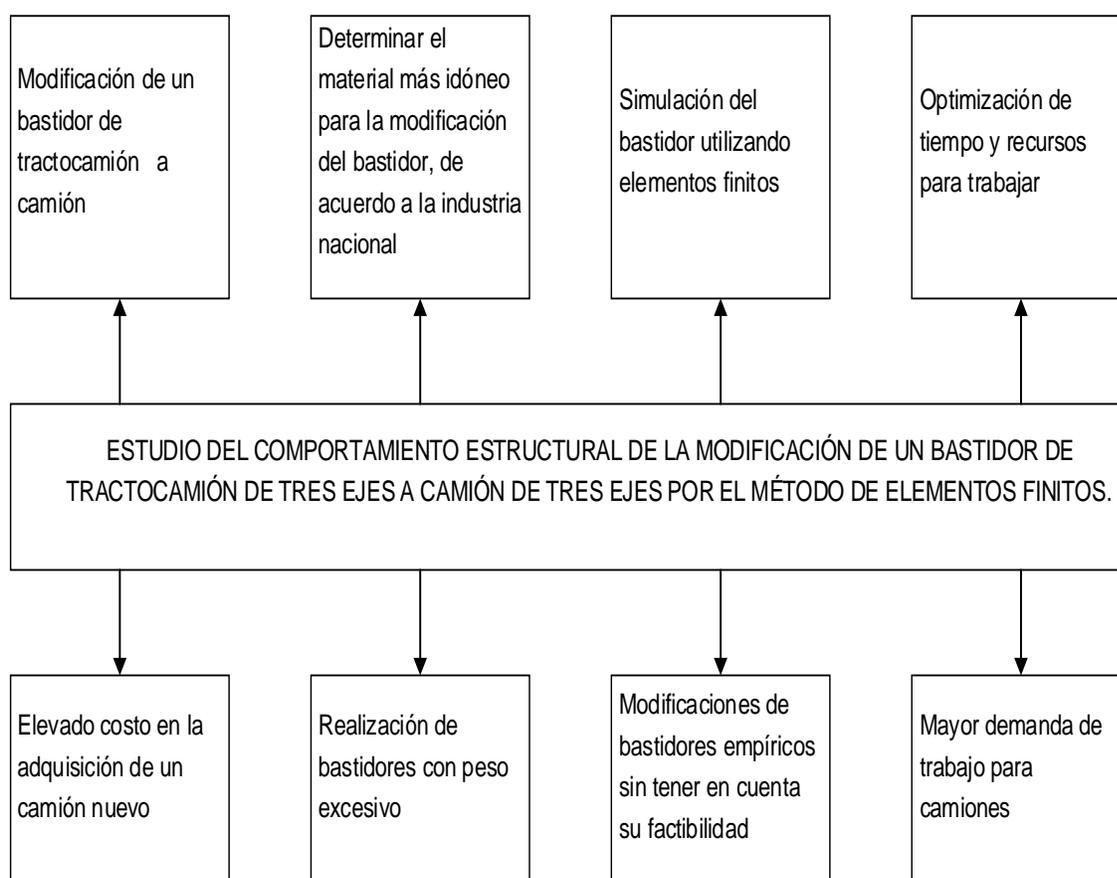
Al realizar el cambio de distancias entre ejes del bastidor de un camión afecta las propiedades del mismo, por lo tanto, es importante realizarlo de manera adecuada, mirando el corte del bastidor, prolongación de la distancia entre ejes, etc. (N/A, cambio de distancia entre ejes, 2019)

Planteamiento del problema.

La realización del proyecto parte como una vía más económica a la hora de poder trabajar con un camión de tres ejes el cual permita trasladar los productos y/o elementos de un lugar a otro, sin necesidad de tener que comprar dicho camión, sino que partiendo de un tractocamión el cual se encuentra sin su remolque se realizará una modificación al bastidor para obtener un camión de tres ejes.

Tomando en cuenta la falta de información sobre el alargamiento del bastidor de tractocamión se realizará un análisis matemático del mismo, donde se determinará cuál es el material más idóneo para efectuar dicho proceso, buscando optimizar los recursos como materiales de fabricación y tiempos de trabajo.

Existe un número limitado de talleres dedicados a realizar el alargamiento de bastidores, los cuales lo hacen de forma empírica, desconociendo la viabilidad del trabajo desarrollado, tampoco se toma en cuenta si el material con el que se está trabajando cumple con las normativas establecidas por la entidad encargada de regular la seguridad del automotor. Motivo por el cual se realizará el diseño y análisis de la simulación del bastidor una vez realizado el proceso de alargamiento.



Cuando se realiza la modificación del bastidor se piensa que es simplemente aumentar o disminuir la distancia entre ejes sin tener en cuenta los inconvenientes ocasionados como son:

- No ocupar la máxima carga permitida para el camión debido al peso máximo que debe tener el automotor cuando se encuentra cargado (27 ton).
- El exceso de material provocará un alto consumo de combustible debido a la fuerza requerida para movilizar el camión.
- Elevado costo de fabricación por exceso de material.

Para evitar los inconvenientes anteriormente mencionados se desarrollará una modificación adecuada, teniendo en cuenta un proceso de cálculo analítico y computacional.

De acuerdo con el ministerio de transporte y obras públicas (MTO) del Ecuador. Coloca a disposición las leyes que gobiernan en las vías del país para que se mantengan en buenas condiciones, como también para tener en cuenta las dimensiones y configuraciones de los vehículos de carga.

De acuerdo a la norma NTE INEN 2656 los automotores cuyo peso bruto vehicular (PBV) sobrepasa los 12000 [kg] se conoce como camiones categoría N3 los cuales pueden ser de tipo camión pesado o tractocamión

Descripción detallada del proyecto

El presente proyecto tiene como finalidad determinar el tipo de material y diseño a utilizar en la modificación del bastidor de un tractocamión de tres ejes en un camión de tres ejes.

La primera fase del proyecto se basa en realizar los cálculos numéricos, los mismos que ayudaran a establecer el tipo de material más idóneo para la modificación de bastidor del tractocamión.

En la segunda fase del proyecto y con la previa elaboración de los cálculos se realizará el diseño de la modificación del bastidor en el programa de simulación CAD. El cual permite diseñar y simular las cargas estáticas para establecer la capacidad de carga del bastidor modificado.

En la tercera fase del proyecto se desarrollará la simulación del bastidor aplicando las cargas estáticas las cuales se obtuvieron de la información de pesos y medidas de la (MTO) con el fin de establecer si la modificación realizada en el bastidor está bien dimensionada.

Para cumplir con las condiciones de capacidades y dimensiones del bastidor se realizará un análisis evaluando los factores técnicos de la distribución de cargas, por medio del cálculo manual y computacional utilizando el método de elementos finitos, obteniendo los resultados de deformación, factor de seguridad y esfuerzo máximo

Justificación e importancia

El presente proyecto nace de los interrogantes lógicos de ingeniería al observar un número limitado de talleres dedicados al alargamiento de bastidores para camiones, esto se considera susceptible a ser estudiado basándose en herramientas de ingeniería y diseño.

El proyecto tiene como finalidad determinar el material y diseño adecuado para realizar el alargamiento del bastidor de un tractocamión de uso comercial, con la utilización de software CAD se optimizará la utilización de tiempos y recursos.

Los resultados numéricos determinarán si el alargamiento del bastidor es adecuado para el transporte de carga, mientras que los datos computacionales verificarán si la estructura del bastidor es apropiada con relación a la capacidad de carga del camión.

Objetivos del proyecto

Objetivo general

- Estudiar el comportamiento estructural sobre la modificación del bastidor de tractocamión de tres ejes en camión de tres ejes utilizando el método de elementos finitos.

Objetivos específicos

- Investigar bibliográficamente el tipo de corte utilizado en el alargamiento del bastidor.
- Realizar la simulación en software CAD del diseño del bastidor para camión de tres ejes.
- Determinar si el bastidor cumple con la capacidad de carga de acuerdo a la norma establecida.
- Realizar el análisis del comportamiento mecánico de los materiales a utilizar en el alargamiento del bastidor.

Metas

- Reducir los tiempos y materiales utilizados en el alargamiento del bastidor del tractocamión de tres ejes en un camión de tres ejes.
- Diseñar el bastidor del camión en el programa de simulación CAD
- Determinar si el aumento de distancias entre ejes realizado al bastidor es viable o no.
- Identificar el material adecuado para realizar el alargamiento del bastidor.

Hipótesis

¿La modificación de un bastidor de un tractocamión de tres ejes a camión de tres ejes ayudará a mejorar el comportamiento estructural como en la optimización de recursos?

VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Variable Independiente:

Bastidor de un camión

Variable Dependiente:

Comportamiento estructural

Variable independiente Bastidor de un camión.

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Estructura rígida		Carga Estática	N	Simulación	Dinamómetro
donde se fijan los	Parámetros de				
distintos elementos	medición	Capacidad	N	Simulación	Dinamómetro
y grupos mecánicos					
que componen un		Peso del BastidorKg		Simulación	Báscula
vehículo					

Nota. En la tabla se describe la variable independiente, misma que permite conocer la definición del bastidor.

variable dependiente Comportamiento estructural.

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
forma como responde toda una estructura en términos de desplazamientos y deformaciones, ante la aplicación de fuerzas externas	Fenómenos físicos	Flexión Capacidad de carga Resistencia Factor de seguridad	Psi N Mpa N/A	Cálculos Cálculos Cálculos Cálculos	Calculadora Calculadora Calculadora Calculadora

Nota. En la tabla se describe la variable dependiente, misma que permite conocer la definición y características del comportamiento estructural.

Capítulo II

Marco teórico

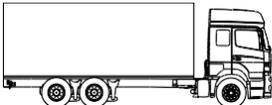
Uso de camiones de acuerdo a la normativa

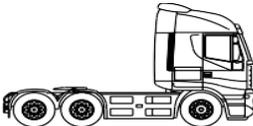
Los camiones han sido utilizados por la humanidad para el transporte de mercancías, siendo clasificados en la normativa nacional 2016. En la categoría N a los vehículos motorizados de cuatro o más ruedas diseñados y construidos para el transporte de mercancías y en la subcategoría N3 a los vehículos cuyo peso PBV (Peso total del vehículo,) es superior a 12000 kg (NORMALIZACIÓN, 2016).

En la tabla 3 se indica los Vehículos categoría N3 donde se encuentra el código del camión, CMP (Camión pesado) y TCM (tracto camión) siendo diseñados para transporte de mercancías, adicionalmente se muestran los esquemas y la descripción de los mismos. Dichos camiones están descritos en la normativa NTE INEN-ISO 3833, 3.1.3, 3.1.5.

Tabla 3

Vehículos categoría N3

CÓDIGO	TIPO	FIGURA	DESCRIPCIÓN
CMP	CAMIÓN PESADO		Vehículo diseñado para el transporte de carga y mercancías provisto de un chasis cabina, de dos, tres o cuatro ejes. (furgón, plataforma, etc.).

CÓDIGO	TIPO	FIGURA	DESCRIPCIÓN
TCM	TRACTO CAMIÓN		Vehículo diseñado para apoyo y arrastre de unidades de carga, no autopulsadas con dos, tres o cuatro ejes.

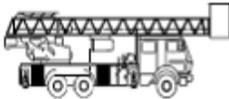
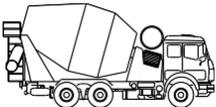
Nota. En la tabla se aprecia los tipos de vehículos categoría N3. Tomado de. NTE INEN 2656 Primera revisión 2016-09.

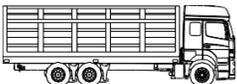
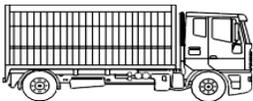
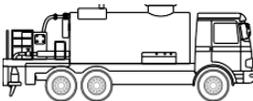
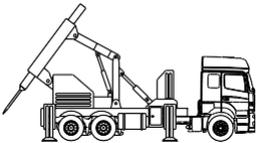
Usos para vehículos de categoría N3

En la tabla 4 muestra los diferentes usos de los camiones que se encuentran en la sub categoría N3, donde se indica el código, tipo de camión, boceto y la descripción del uso específico que va a brindar.

Tabla 4

Uso para vehículos de Subcategoría N3

CÓDIGO	TIPO	FIGURA	DESCRIPCIÓN
CAN	CAMIÓN CANASTILLA		Vehículo equipado con un sistema que permite elevar a personas o equipos a diferentes alturas de trabajo según la necesidad.
MEZ	CAMIÓN HORMIGONERA		Vehículo diseñado para mezclar, transportar y descargar hormigón, con tres o más ejes.

CÓDIGO	TIPO	FIGURA	DESCRIPCIÓN
VRB	RECOLECTOR DE BASURA		Vehículo diseñado para la recolección y transporte de residuos domésticos o materiales reciclables.
CTC	CAJÓN		Vehículo diseñado para el transporte de carga y mercancías provisto de una estructura para transportar carga de tipo cajón, jaula.
CTPB	PORTA BEBIDAS		Vehículo diseñado y equipado para la carga y descarga lateral o posterior de bebidas, con una estructura cerrada.
EDA	ESPARCIDOR DE ASFALTO		Vehículo diseñado para transportar, calentar, esparcir y extender sobre la vía el asfalto líquido.
CTPER	PERFORADORA		Vehículo diseñado y equipado sobre su chasis con un taladro de perforación.

Nota. Tomado de. NTE INEN 2656 Primera revisión 2016-09.

El bastidor

Se conoce como bastidor a la estructura rígida de los automotores donde se coloca la carrocería, y grupos mecánicos que conforman un automotor como son. motor, sistema de transmisión, suspensión, frenos, etc.

El bastidor debe soportar el peso de todos los grupos mecánicos y partes que lo componen, adicionalmente deberá resistir las sobrecargas de uso que incluyen, el peso de la carga que transporta, el peso de los ocupantes, y las cargas dinámicas e inerciales generadas por el funcionamiento de los diferentes elementos y por el mismo movimiento del automotor. A continuación, en la figura 1 se muestra el bastidor del camión conformado por dos elementos longitudinales llamados largueros que están unidos de forma transversal por estructuras más cortas denominadas travesaños. (Taller, 2011).

Figura 1

Bastidor de camión



Nota. La figura muestra un bastidor original de un camión. Tomado de. Bastidor de vehículos.

La geometría de los bastidores comunes suele ser, más estrecho en la parte delantera, con el fin de que las ruedas direccionales puedan girar y conservar la misma rodada (distancia entre ruedas), y más ancho en la parte trasera, la cual sirve para distribuir el peso de la carrocería y la carga más cerca de las ruedas traseras, para obtener mayor estabilidad,

además en caso de impacto lateral permite brindar una mayor protección al automotor. (Taller, 2011).

Diseño de bastidores para vehículos industriales.

El objetivo primordial de los automotores industriales y camiones es movilizar mercancías de grandes volúmenes y dimensiones, es fundamental que estos vehículos tengan un elemento estructural (bastidor), el cual presente suficiente rigidez para soportar las elevadas sollicitaciones de carga sin sufrir deformaciones permanentes ni fallas de material.

El procedimiento de manufactura del bastidor de un automotor industrial es una responsabilidad entre varios factores (la resistencia, la dureza, el peso y el costo final de manufactura), se debe tomar en cuenta la estabilidad de los miembros estructurales, las uniones deben tolerar la carga, la manufactura y el ensamblaje final en el automotor.

Tipos de bastidores

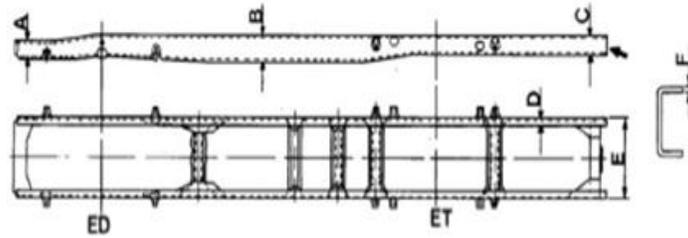
Bastidor de largueros longitudinal

En la figura 2 se aprecia el bastidor de largueros longitudinales, que, al estar diseñado por diversas geometrías y dimensiones, dependiendo del modelo se puede adaptar a los diferentes requerimientos que vaya a ser destinado. (N/A, Diseño automotriz , 2009).

Este bastidor está formado por dos perfiles longitudinales (largueros), que son fabricados de chapa laminada con perfil cajeadado o en "C", los largueros están unidos entre si mediante diversos travesaños los cuales se ubican perpendicularmente. Por ser independiente de la carrocería cuenta con una rigidez, siendo adecuado para el transporte de grandes mercancías.

Figura 2

Bastidor de largueros longitudinales



Nota. En la figura se aprecia el diseño del bastidor longitudinal. Tomado de. Mercedes Benz

Bastidor de perfil en U.

Estos bastidores donde los largueros se forman partir de perfil en U son utilizados en vehículos industriales, principalmente en camiones rígidos, tractocamiones, autobuses y remolques como se indica en la figura 3. Sus características mecánicas con paredes exteriores planas los hacen idóneos para colocar sobre ellos superestructuras y bastidores auxiliares los cuales aumentan la resistencia de la estructura portante del automotor (Taller, 2011)

Figura 3

Bastidores de perfil en U



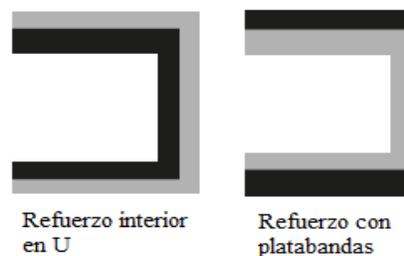
Nota. En la figura se aprecia el bastidor de camión con perfil en U. Tomado de. Carrocería y pintura.

Bastidor de perfil reforzado.

En la figura 4 se observa el bastidor con perfil reforzado ya sea con refuerzos internos o refuerzos tipo platabandas. Este tipo de bastidores son empleados en camiones para transportar grandes cargas (peso), o que estén sometidos a esfuerzos puntuales, por ejemplo, camiones volquetes, porta-contenedores, camiones-grúas, etc.).

Figura 4

Bastidores de Perfil Reforzado



Nota. En la figura se aprecia los dos tipos de refuerzos para realizar en los bastidores de perfil en U.

Se puede realizar los refuerzos en los bastidores por diferentes métodos. Por ejemplo, si el automotor inicialmente tiene un bastidor de largueros longitudinales de perfil en U, se realiza mediante un refuerzo interior formado por otro perfil en U el cual se ajusta al perfil exterior del bastidor del automotor. El bastidor de perfil en U también se puede reforzar por medio del uso de platabandas ubicadas a lo largo sobre las alas superior e inferior del perfil del auto bastidor, obteniendo una estructura con mayor rigidez.

El refuerzo en los perfiles en U no se utiliza en todo el larguero del bastidor, sino únicamente en aquellas zonas donde el bastidor va hacer más esfuerzos debido a la carga del camión. La parte más crítica del bastidor se ubica en medio del eje delantero y el primer eje

motriz del automotor, al reforzar esta parte del bastidor se optimiza la sección la cual se acopla en función de las leyes de la repartición de los esfuerzos sobre el bastidor del vehículo.

Bastidor de perfil en doble T.

Los bastidores fabricados a partir de perfiles de doble T se utilizan para la construcción de semirremolques y de algunos modelos de remolques. su característica principal es la fácil construcción de bastidores con perfil de sección variable, brindando variación en la altura del alma del perfil, esto permite ajustar mejor la unidad del bastidor a la repartición de esfuerzos que trasfiere la carga, así como la fabricación de semirremolques y plataformas para cargas de formas y dimensiones complejas, siendo utilizados para el transporte de cargas específicas, como se indica en la figura 5.

Figura 5

Bastidores de perfil en doble T



Nota. En la figura se aprecia el bastidor en doble T el cual se utiliza en la fabricación de semirremolques. Tomado de. Conocer los camiones

Materiales para fabricación del bastidor.

Para hacer la modificación del bastidor original o fabricar un bastidor auxiliar se debe realizar con materiales de similares o mejores características mecánicas de los que están

construidos los bastidores originales, en ocasiones donde los esfuerzos sean muy altos o para evitar secciones de gran elevación para el perfil se utiliza materiales con características mecánicas superiores a las de los materiales originales. Este material debe cumplir con los siguientes requisitos.

- Buena ductilidad
- Módulo de elasticidad alto
- Buena soldabilidad
- Bajo coste
- Facilidad de suministro.

Actualmente el material más idóneo y que cumple con los requisitos antes mencionados es el acero. En la industria HINO se utiliza el acero SAPH440 para la construcción de bastidores para vehículos de carga pesada el cual tiene las características que se indican en la tabla 5.

Tabla 5

Propiedades mecánicas del acero SAPH440

Acero SAPH440	
Resistencia de Fluencia	305 Mpa
Resistencia mínima a Tensión	373-411 Mpa
Resistencia a la tracción	392 – 539 Mpa
Módulo de Elasticidad	210 Gpa
Coeficiente de Poisson	0,29
Limite elástico	275 – 305 Mpa

Nota. En la tabla se describen las diferentes características que tiene el acero SAPH440.

Tomado de. Pazmiño 2015

Para la construcción de bastidores a nivel nacional se utilizan los aceros ASTM A36 y ASTM A572, de acuerdo a esta norma ASTM. En la tabla 6 se indica las características del acero ASTM A36. El acero estructural ASTM A572 comprende cuatro grados de alta-resistencia y baja aleación para acero estructural como se aprecia en la tabla 7.

Tabla 6

Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36	
Punto de fluencia	249 Mpa
Resistencia mínima a Tensión	402 Mpa
Resistencia a la Tracción	4 00- 551 Mpa
Módulo de Elasticidad	200 Gpa
Limite elástico	250 Mpa

Nota. En la tabla se describen las diferentes características que tiene el acero estructural ASTM A36. Tomado de. Catalogo DIPAC.

Tabla 7

Propiedades mecánicas del acero ASTM A572

	Grado 42	Grado 50	Grado 60	Grado 65
	[290]	[345]	[415]	[450]
Resistencia a la tracción:	60,000 psi	65,000 psi	75,000 psi	80,000 psi
	[415 MPa]	[450 MPa]	[520 MPa]	[550 MPa]
Min. Punto de fluencia:	42,000 psi	50,000 psi	60,000 psi	65,000 psi

	Grado 42	Grado 50	Grado 60	Grado 65
	[290]	[345]	[415]	[450]
	[290 MPa]	[345 MPa]	[415 MPa]	[450 MPa]
Elongación en 8"	20% min	18% min	16% min	15% min
Elongación en 2":	24% min	21% min	18% min	17% min

Nota. En la tabla se aprecian las diferentes características del acero estructural ASTM A572:

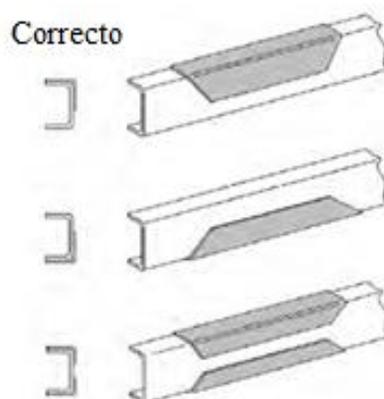
Tomado de. <https://www.ferrocortes.com.co/lamina-a572/>

Posición de instalación del material de refuerzo.

En la figura 6 se aprecia la forma correcta de colocar los refuerzos tipo L. ya sea en la parte superior, inferior o en las dos partes de los largueros del bastidor para conservar sus propiedades. (ANONIMO, 2018).

Figura 6

Material de refuerzo del bastidor.

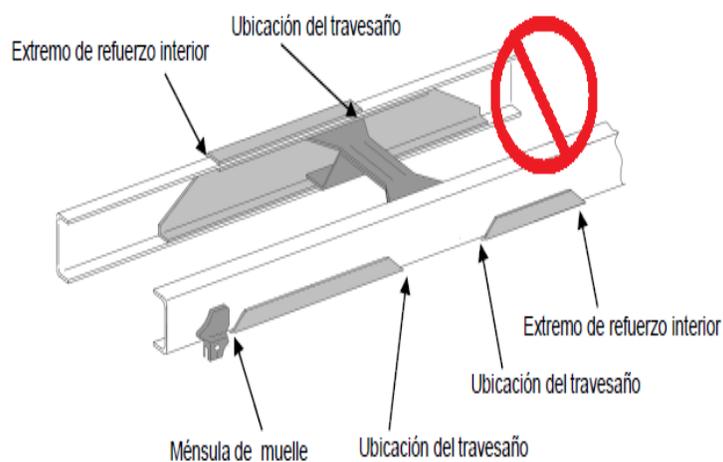


Nota. En la imagen se aprecia como colocar los refuerzos en el larguero del bastidor.

Los extremos de los refuerzos exterior e interior no deben superponerse, no se debe superponer el extremo del refuerzo exterior con el externo del travesaño, así como tampoco se debe superponer el extremo del refuerzo exterior con la base del muelle, como se indica en la figura 7.

Figura 7

Lugares donde no se debe colocar los refuerzos



Nota. En la figura se indican las áreas prohibidas para la instalación de los refuerzos. Tomado de. Manual para carrocerías ISUZU

Realización de corte en el bastidor.

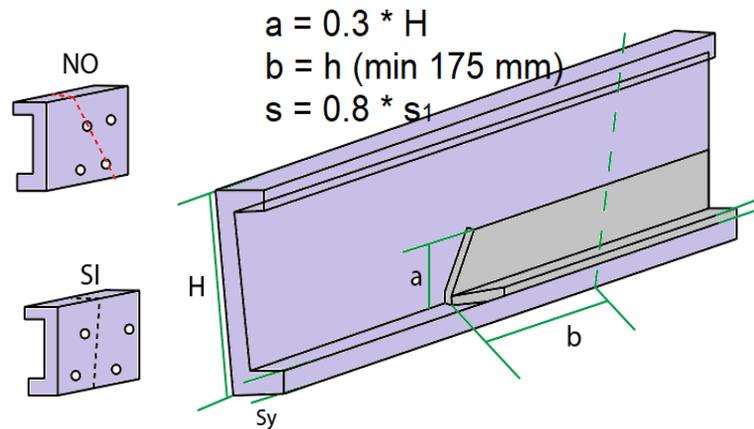
Los largueros se deben cortar de forma inclinada entre 30 y 45 °, esto se hace para evitar concentraciones de tensión en el marco, (en vehículos que superan los 12000 kg el corte se realiza a 45°). No se permite hacer cortes en las zonas de variación de perfil del larguero, ni en los puntos de fuerte concentración de tensiones (soportes de muelles).

En la figura 8 se aprecia que el corte realizado en el bastidor no pase por donde se encuentran los orificios, así como también las distintas medidas que debe tener el refuerzo a utilizar: (a: alto del perfil $a = 0.3 * H$, H: es la altura del bastidor, b: es la distancia del refuerzo a

partir del punto de soldadura $b = h$, S : es el espesor del refuerzo $s = 0.8 * s_1$, s_1 : es el espesor del larguero). Al momento de realizar la unión del bastidor y los refuerzos no se debe soldar las alas del bastidor. (S.P.A, 2013).

Figura 8

Corte del bastidor

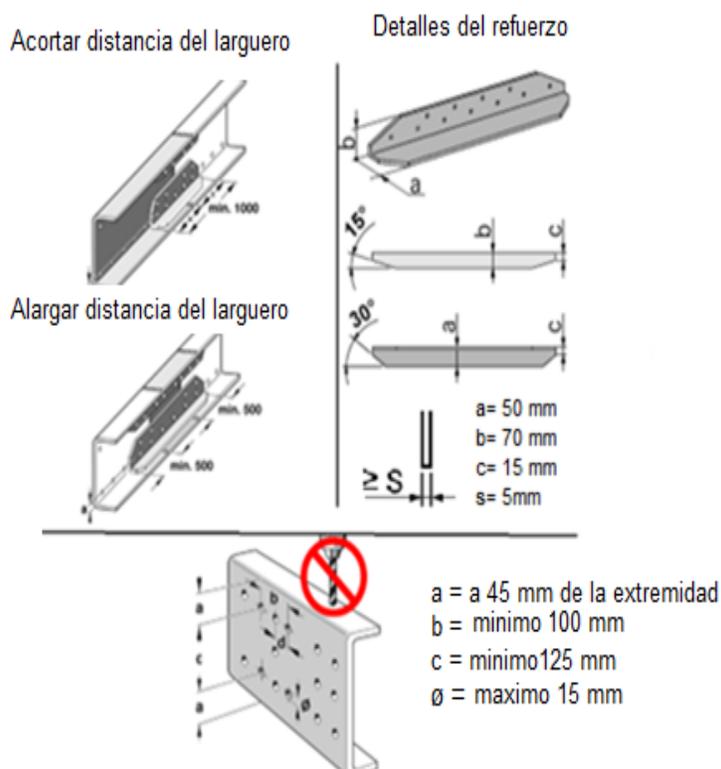


Nota. En la figura se observa la forma de cortar el bastidor y las dimensiones de los refuerzos.

Luego de cortar el bastidor ya sea para alargar o acortar la distancia entre ejes, se coloca refuerzos laterales internos, con las siguientes características: 250 mm mínimo desde el punto de unión, la separación longitudinal entre los refuerzos debe ser mínimo de 5 mm, las dimensiones de A, B, C son: 200, 51-59, 70-78 mm respectivamente, el refuerzo debe tener como mínimo 6 mm de espesor. Como se aprecia en la figura 9. (AB, 2019).

Figura 10

Dimensiones de los refuerzos



Nota. En la figura se aprecian las dimensiones y la ubicación de los orificios en el larguero.

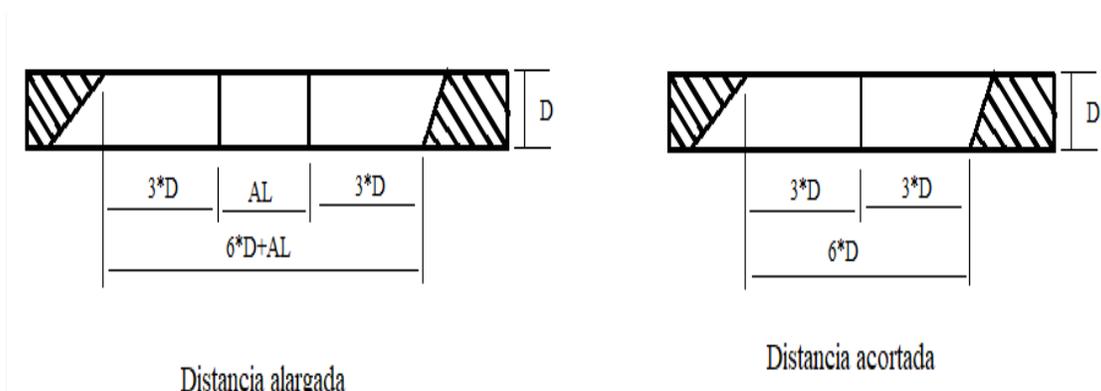
Tomado de. Montaje de carrocerías Mercedes.

Dimensiones para los refuerzos

Cuando se va alargar el bastidor la longitud del refuerzo será el resultado de la multiplicación de la altura del bastidor por 6 más la distancia alargada ($6 \cdot D + AL$), si se va acortar el bastidor, la longitud del refuerzo debe ser el resultado de la mutilación de la altura del bastidor por 6 ($6 \cdot D$), y el corte del refuerzo será a 45° , como se indica en la figura 11.

Figura 11

Dimensiones para los refuerzos



Nota. En la figura se precian las características de los refuerzos para los largueros: Tomado de Manual ISUZU 2011.

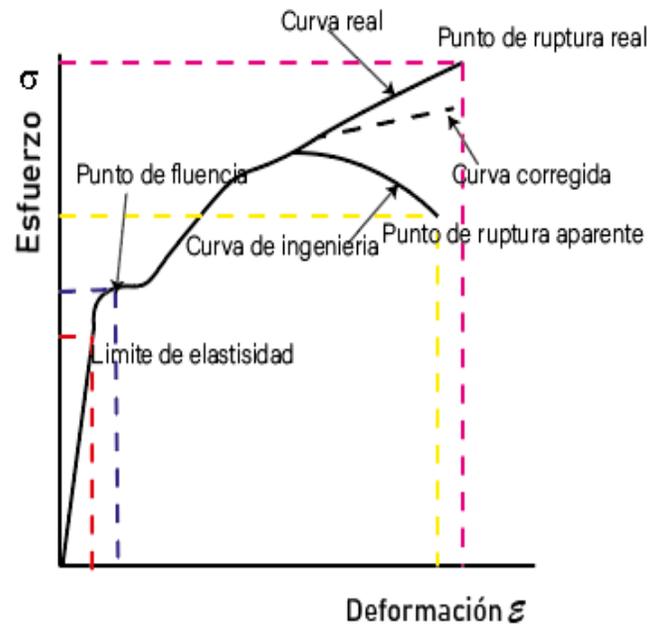
Propiedades de los aceros estructurales

Las propiedades mecánicas de los aceros estructurales son: límite de proporcionalidad, límite de elasticidad, punto de fluencia, punto de ruptura entre otros como se indica en la figura 12. Las cuales se basan en la composición química de los mismos, los métodos de laminado y el tratamiento térmico a los que hayan sido sometidos.

Las propiedades mecánicas de los materiales se obtienen de ensayos en laboratorio, se debe tomar en cuenta los factores que afectan a dichas propiedades como son: La rapidez de carga, las condiciones y geometría de las mismas, el trabajo en frío, y la temperatura existente al momento de desarrollar el ensayo. (MOTT, 2009).

Figura 12

Propiedades de aceros estructurales



Nota. En la figura se aprecian las propiedades de los aceros estructurales. Tomado de. (MOTT, 2009)

Límite de Fluencia

Es el esfuerzo a partir del cual el material presenta un gran incremento en sus deformaciones, pasando de la zona elástica a la zona plástica, deformándose de forma permanente. Para aceros forjados en frío no existe un límite de fluencia convencional, el límite de fluencia se fija donde la curva esfuerzo-deformación cambia de pendiente. (MOTT, 2009)

Módulo de elasticidad o módulo de Young.

En ingeniería la gran mayoría de las estructuras se diseñan para que presenten mínimas deformaciones. El módulo de Young es una característica propia de cada material e

indica la relación al incrementar la tensión aplicada ($d\sigma$) y los incrementos de la deformación unitaria ($d\varepsilon$) producida, el módulo de Young para el acero A36 es de 200 Gpa (Giga Pascal). Para calcular el módulo de Young se puede realizar mediante la ecuación 1, o como se indica en la figura 13.

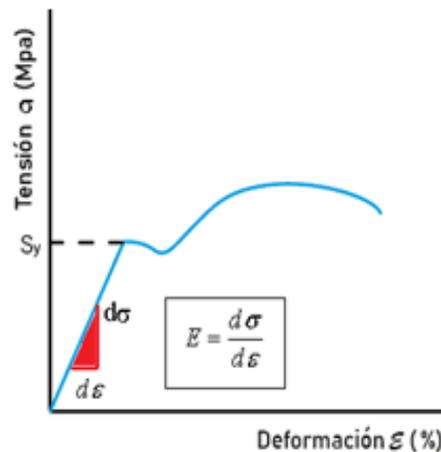
Ecuación 1

Módulo de Young

$$E = \frac{\text{tension}}{\text{deformacion unitaria}} = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$

Figura 13

Módulo de Young.



Nota. En la figura tensión vs deformación se indica cómo se realiza el cálculo del módulo de Young.

Coeficiente de Poissón

Se presenta cuando en el material se aplica una carga en dirección longitudinal y la sección transversal va cambiando produciéndose deformaciones transversales. El coeficiente de Poissón es el que determina cuanto se va a deformar en dirección transversal respecto a la

deformación longitudinal como se observa en la figura 14. El coeficiente de Poisson es una característica propia de cada material, se denota por la letra ν . Para el acero ASTM es de 0,26. El coeficiente de Poisson se puede obtener utilizando la ecuación 2 (mundial, 2018).

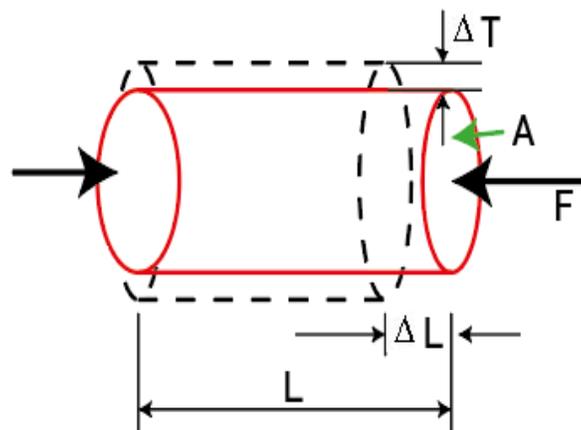
Ecuación 2

Coeficiente de Poisson

$$\nu = - \frac{\text{deformacion transversal}}{\text{deformacion logitudinal}}$$

Figura 14

Coeficiente de Poisson



Nota. En la figura se aprecia la variación de longitud tanto transversal como longitudinal al aplicar una fuerza.

Tensión de Von Mises o máxima energía de distorsión

Tensión de Von Mises o también llamado criterio de la máxima energía de distorsión, indica si el material fluirá o no en el punto analizado. siempre que la energía de distorsión por unidad de volumen debida a los esfuerzos no supere la energía de distorsión por unidad de volumen presente en el momento de la fluencia en el ensayo de tracción no se generara falla. para determinar si el material va a soportar las cargas aplicadas se realiza una comparación

entre la tensión de Von Mises y la tensión máxima admisible del material la cual puede ser el límite elástico. Como se indica en la ecuación 3. De esta comparación se obtiene factor de seguridad. (N/A, MECAPEDIA, 2014).

Ecuación 3

Tensión de Von Mises

$$\sqrt{(\sigma_f)^2 + 3 * (\sigma_T)^2} < S_y$$

Donde $S_y > 0$.

Factor de seguridad

Es el resultado de dividir el límite elástico del material a utilizar sobre el valor de tensión máxima calculado como se indica en la ecuación 4. El factor de seguridad como norma general se toma un valor mayor a uno (ver especificaciones de diseño), el cual indica la capacidad de exceso que tiene el sistema sobre sus requerimientos.

Ecuación 4

Factor de seguridad

$$n_s = \frac{\text{limite elastico del material}}{\text{esfuerzo de calculado}} = \frac{S_y}{\sigma}$$

En el estudio de Mehdi Mahmoodi-k en 2014, se recomienda que el factor de seguridad para vehículos de pasajeros sea de 3, mientras que para vehículos todo terreno se recomienda que sea hasta de 5. otro estudio establece que los factores de seguridad para perfiles en U van de 1.5 a 2.5 (URANGO, 2015)

Fuerzas que actúan sobre el bastidor y la estructura del camión

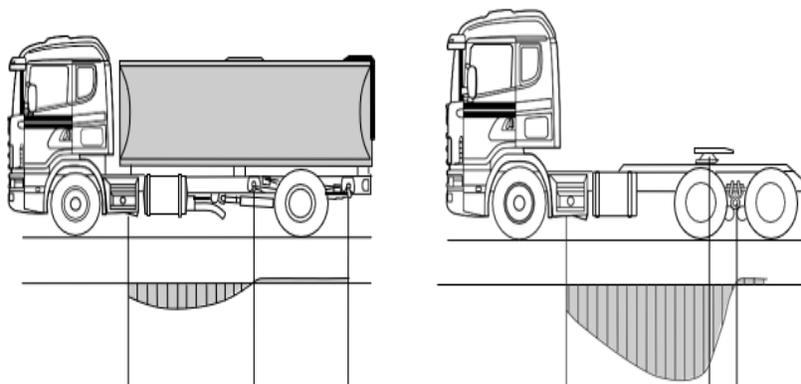
Durante la conducción, el bastidor y la estructura son sometidos a fuerzas estáticas y dinámicas.

Fuerzas estáticas en el bastidor

Este tipo de fuerzas o cargas son producto de la masa del vehículo y de la carga a la cual va a ser sometido. Estas fuerzas solo actúan cuando el vehículo está en reposo (sin movimiento), en la figura 15 se observa que si el bastidor va a hacer sometido a una alta concentración de esfuerzos como es la utilización de la quinta rueda se debe distribuir la carga uniformemente en el bastidor principal mediante la utilización de un bastidor auxiliar.

Figura 15

Fuerzas estáticas en el bastidor



Nota. En la figura se muestran las cargas estáticas que actúan en el bastidor. Tomado de. Manual de carrozado Scania

Fuerzas dinámicas en el bastidor

Este tipo de fuerzas actúan durante la conducción, son causadas principalmente por los golpes procedentes del movimiento del vehículo, por ejemplo, los baches y curvas de las carreteras como se muestra en la figura 16. La magnitud de las fuerzas, y el efecto en la resistencia depende de varios factores como: la velocidad de conducción, el estado de la carretera, la selección del bastidor y la configuración de la estructura.

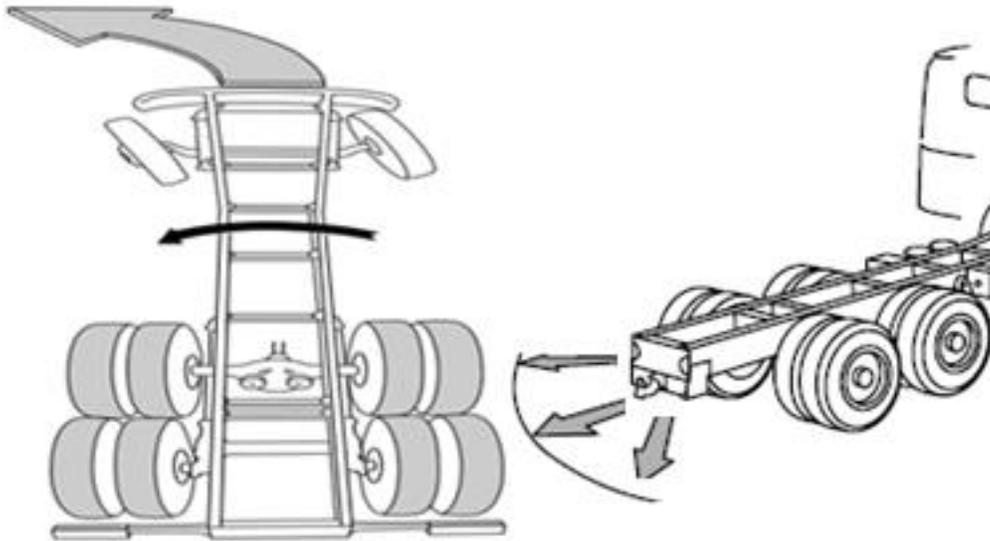
Figura 16

Fuerzas dinámicas



Nota. En la figura se indican la fuerza de tracción. Tomado de. Manual de carrozado Scania.

Fuerzas laterales. El bastidor está sometido a fuerzas laterales, esto se evidencia en vehículos con larga distancia entre ejes, o los que tienen un gran voladizo posterior con remolque acoplado como se observa en la figura 17. Un vehículo con la distancia entre ejes muy larga debe tener una gran rigidez lateral. Si esta no es suficiente el vehículo se bamboleará. La rigidez del bastidor no solo depende de la distancia entre ejes sino también de la su estructura. Los travesaños que imposibilitan el desplazamiento paralelo entre los largueros del bastidor sirven para darle mayor rigidez al bastidor del vehículo.

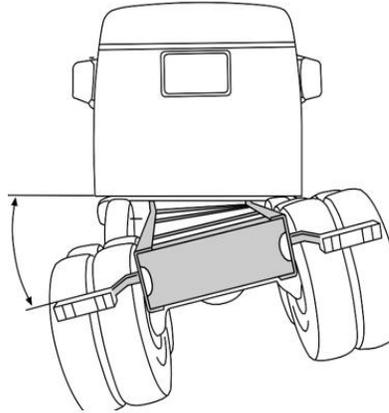
Figura 17*Fuerzas laterales*

Nota. En la figura se indican las fuerzas laterales que actúan en el bastidor. Tomado de. Manual de carrozado Scania.

Fuerzas de torsión. Este tipo de fuerzas son producidas al desplazarse por carreteras con baches muy pronunciados como se observa en la figura 18. En un camión la parte que posee menos resistencia a la torsión es la sección delantera detrás de la cabina, esto se debe a que los largueros y los travesaños son construidos de perfiles en U y fijados entre si lo cual no limita la baja resistencia a la tracción permitiendo que el chasis tenga una buena motricidad y resistencia. Los depósitos de combustible y compresores que se colocan en los largueros del bastidor generan grandes fuerzas de torsión, con lo cual se requiere utilizar travesaños extra para impedir dicha torsión.

Figura 18

Fuerzas de torsión



Nota. En la figura se aprecian las fuerzas de torsión a las que está sometido el bastidor.

Tomado de. Manual de carrozado Scania.

Carga viva. esta carga representa la suma de la carga máxima a transportar y la carga de seguridad. Para determinar la carga viva se utiliza la ecuación número 5. El valor de la sobrecarga a ser transportada para diseño es de 10% de la carga total de acuerdo a la norma internacional ISO. **(Andrade Vargas, 2007).**

Ecuación 5

Carga viva

$$Cv = CT + SC$$

Carga de impacto. (*Cimp*) Para el diseño del chasis se requiere considerar esta carga, la cual es producida por las irregularidades del terreno produciendo fisuras en las vigas y demás elementos del bastidor, para considerar los efectos producidos por esta carga la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), determina que se debe tomar un 30% de la carga viva y para determinar la carga viva total se suma la carga viva más la carga de impacto como se observa en las ecuaciones 6 y 7 respectivamente. **(Andrade Vargas, 2007).**

Ecuación 6*Carga de impacto*

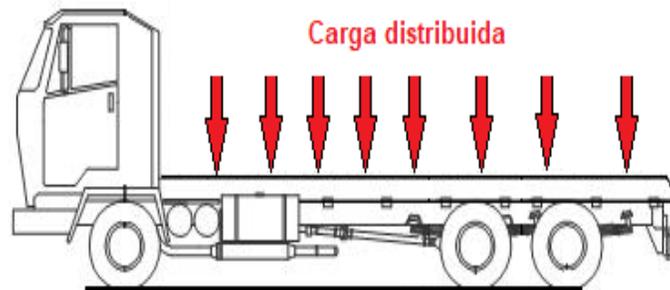
$$C_{imp} = 30\% * cv$$

Ecuación 7*Carga viva total*

$$C_{vt} = cv + c_{imp}$$

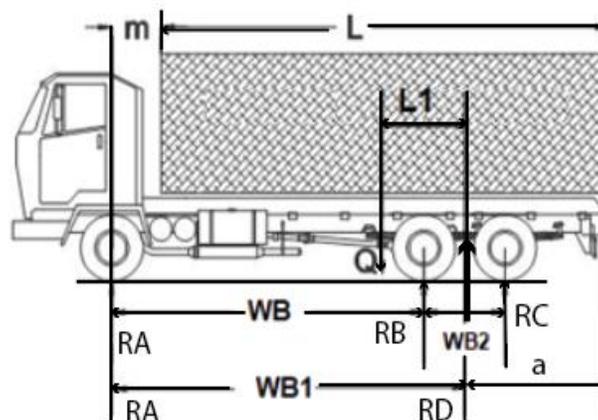
Análisis de esfuerzos en el bastidor.

La carga útil debe ser distribuida uniformemente en toda la longitud del bastidor donde se encuentra el carrozado como se indica en la figura 19.

Figura 19*Carga distribuida*

Nota. En la figura se indican las cargas distribuidas a lo largo del bastidor.

Para el análisis de los esfuerzos que actúan sobre la estructura portante del vehículo, es necesario conocer la distribución del peso de la caja de carga más la carga útil transportada sobre cada eje del vehículo como se indica en la figura 20. (Shigley, 2004).

Figura 20*Análisis de esfuerzos*

Nota. En la figura se aprecian los diferentes esfuerzos que actúan en la estructura del vehículo.

Tomado de. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn18.html>.

La carga útil transportada en el vehículo se obtiene las ecuaciones 8, y 9.

Ecuación 8

Peso total

$$Q = Q_1 + Q_2$$

Ecuación 9

Carga útil

$$MMA = Q_3 + Q$$

Para vehículos donde la carga está repartida uniformemente sobre la caja de carga, el cálculo de las reacciones en los ejes delantero (RA) y trasero (RD), viene dado por las ecuaciones 10, 11, 12, y 13. (Shigley, 2004).

Ecuación 10

Reacción en el eje delantero (RA)

$$R_A = \frac{Q * \left(\frac{L}{2} - a\right)}{WB_1}$$

Ecuación 11

Reacción en los ejes traseros (RD)

$$R_D = \frac{Q * \left(\frac{L}{2} + m\right)}{WB_1}$$

Ecuación 12

Ubicación de la carga puntual

$$L_1 = \frac{R_{A*} WB_1}{Q}$$

Ecuación 13

Reacción en cada uno de los ejes traseros

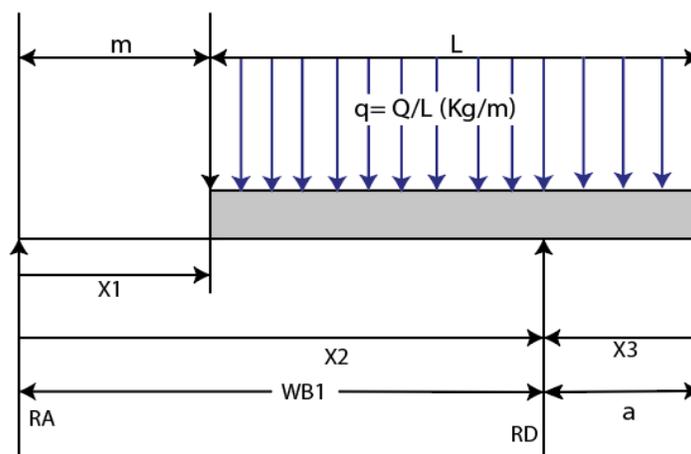
$$R_b = R_c = \frac{R_D}{2}$$

Cálculo de los esfuerzos cortantes y momentos flectores.

El cálculo de los esfuerzos cortantes y momentos flectores se lo realiza en la longitud del bastidor donde se ubica el carrozado con su máxima carga (Q). En la figura 21 se indica el diagrama de cuerpo libre de las cargas distribuidas sobre el bastidor.

Figura 21

Diagrama de cuerpo libre.



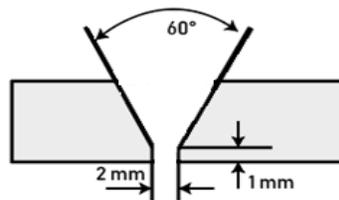
Nota. En la figura se aprecia la carga distribuida en el bastidor del camión.

Soldadura en el bastidor del vehículo.

Una vez realizado el corte en los largueros del bastidor, y en las secciones a ser agregadas (en caso de la ampliación de la distancia entre ejes), se realiza un achaflanado en forma de V de 60°. Como se indica en la figura 22.

Figura 22

Chaflan en V a 60°



Nota. En la figura se observa el achaflanado en V a 60° para aplicar la soldadura.

- Antes de realizar el proceso de soldadura se desconectan los controles de las centralitas electrónicas (ECU, ABS, etc.) o se quitan las mismas, desconectar los polos negativo y positivo de la batería, retirar las tuberías del freno, mangueras de combustible, y cableado electrónico para evitar daños o causar accidentes.
- Durante el proceso de soldadura se debe conectar el borne de masa del aparato de soldadura directamente a la pieza a soldar, la soldadura debe realizarse con electrodos bien secos, con revestimiento a base de 2,5 mm de diámetro, la intensidad de la corriente al soldar debe ser de 40 amperios como máximo por mm de diámetro de los electrodos (ejemplo: 100 A para electrodos de diámetro 2,5 mm), como se indica en la figura 23. Se realiza la soldadura con corriente continua con polo positivo al electrodo, para evitar daños en los materiales, se debe permitir que los largueros se enfríen lenta y uniformemente sin utilizar agentes externos (agua o chorro de aire). para minimizar los efectos de entalladura generados por el cordón de soldadura y conservar la elasticidad de los largueros se colocan refuerzos de forma simétrica en el bastidor. (SCANIA, 2003).

Figura 23

Corriente eléctrica para soldar.

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL METAL DE SUELDA & VARILLAS	CORRIENTE DE SUELDA					
	3,2 mm		4 mm		5 mm	
	Plano	Sobre la vertical	Plano	Sobre la vertical	Plano	Sobre la vertical
Metal de suelda Placa laminada al calor Resistencia a la tensión; 45 kg/mm ²	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
Varilla de suelda Resistencia a la tensión; 43 kg/mm ² Tipo iluminado Electrodo cubierto	80 a 130	60 a 110	120 a 180	100 a 150	170 a 250	130 a 200
Metal de suelda Placa laminada al calor Resistencia a la tensión; 55 kg/mm ²	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
Varilla de suelda Resistencia a la tensión; 50 kg/mm ² Tipo iluminado Electrodo cubierto	90 a 140	80 a 130	141 a 190	110 a 160	180 a 250	

Nota: Diámetro de la varilla de suelda
 ø3.2 ó ø4.0 placa más delgada que 5 mm.
 ø4.0 ó ø5.0 placa más gruesa que 6 mm.

Nota. En la figura se indica el tipo de corriente eléctrica y el diámetro de electrodo para soldar.

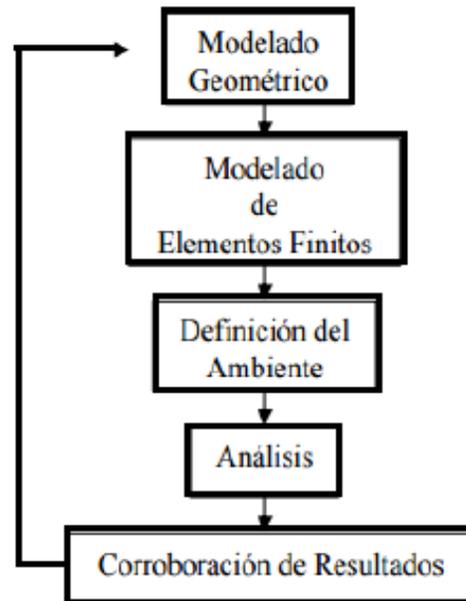
Tomado de. Montaje de carrocerías HINO.

Métodos de elementos finitos (MEF)

El método de elementos finitos de resolución numérica emplea ecuaciones diferenciales con un número finito de elementos llamados nodos, en los puntos donde las incógnitas se aproximan a los elementos sin encontrar ningún nodo el programa realiza interpolaciones para encontrar una solución aproximada. En la Figura 24 se aprecia el diagrama del funcionamiento del MEF. (A, 2018).

Figura 24

Proceso para el análisis por M.E.F.



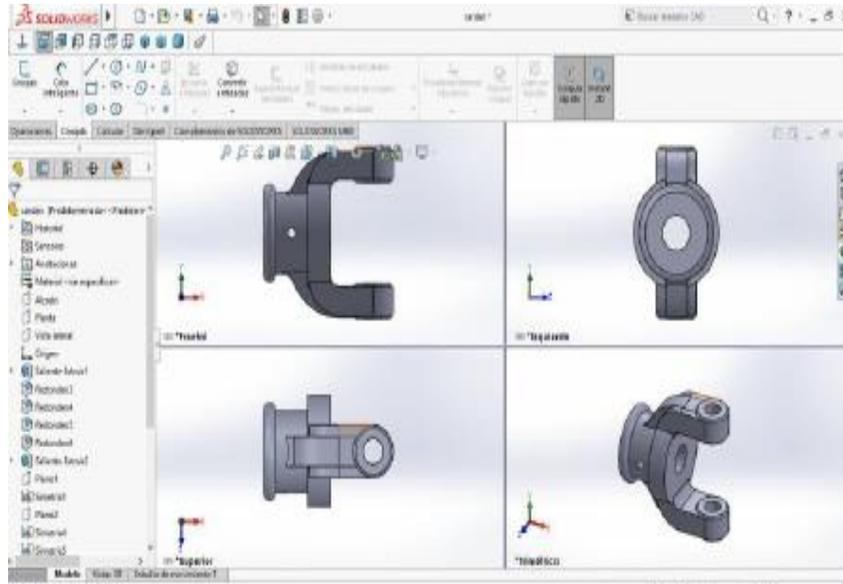
Nota. En la figura se indica el proceso para el análisis por método de elementos finitos. Tomado de. Carnicero, A, 2018.

SolidWorks versión de prueba

Es un software de diseño CAD (diseño asistido por computador), el cual se utilizará para la realización del modelo del bastidor del camión que tendrá dimensiones reales. Las herramientas del programa ayudan con la creación de planos, ensamblado de elementos y componentes como: largueros, travesaños y perfiles de refuerzo. Además, cuenta con una extensa biblioteca de materiales con sus propiedades físicas y térmicas. En la figura 25 se indica una pieza realizada en el software CAD, (SolidWorks versión de prueba).

Figura 25

Figuras realizadas en software CAD.



Nota. En la figura se aprecian las piezas realizadas en software CAD. (SolidWorks versión de prueba).

Capítulo III

Análisis y modelado del bastidor.

Se desarrollará un ensayo de tracción para determinar si el acero ASTM A36 cumple con los requerimientos para realizar el alargamiento del bastidor de un tractocamión, y determinar si sus características mecánicas del acero ASTM A36 son similares o mejores a las del acero SAPH440 que se utiliza en la industria HINO para fabricar bastidores de camiones y tractocamiones. Este ensayo se realizará a los dos materiales antes mencionados y bajo la norma NTE INEN ISO 6892-1, misma que requiere realizar un ensayo a 5 probetas del mismo material para luego sacar un promedio de los resultados obtenidos para brindar un resultado final.

También se realizarán los cálculos de pesos y medidas con base en las normas: NTE INEN 2526 correspondiente a la clasificación vehicular, NTE INEN-ISO3833 correspondiente a vehículos automotores tipos términos y definiciones. Y a la norma MTOP. Para determinar la longitud del bastidor y la carga útil a ser transportada por el camión de tres ejes, que de acuerdo a la norma debe tener un peso bruto vehicular de 27 toneladas. Se especifica que de acuerdo a la norma INEN 1658, el bastidor para buses no debe sufrir ninguna alteración, y al no encontrarse ninguna norma que no permita realizar la modificación al bastidor de camión se desarrolla este proyecto como una propuesta de ejecución.

Ensayo de tracción

Para la realización del ensayo de tracción se inició con la comparación de las propiedades mecánicas de tres materiales como son: acero SAPH440 utilizado en la industria HINO para la fabricación de bastidores. Acero ASTM A36 utilizado en la industria nacional para la fabricación

de bastidores y estructuras automotores. Y Acero ASTM A572 utilizado en la industria nacional para la fabricación de puentes.

Luego de realizado la comparación de comparación de las propiedades mecánicas de dichos materiales se realizará el ensayo de tracción del acero A36 Y del acero SAPH440. En el centro de fomento productivo metalmecánico carroceros provincia de Tungurahua, con la máquina de ensayos universal para metales test 1500 KN, modelo STH-14500 S/C. Obteniendo los resultados presentes en las tablas 8 y 9 respectivamente.

Tabla 8

Ensayo de tracción material acero A36 (ETM 01)

Ensayo de tracción material acero A36 (ETM 01)							 Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero	
	ETM	ETM	ETM	ETM	ETM	Promedio	Desv estándar	Coef variación
	01-1	01-2	01-3	01-4	01-5	X	S_{n-1}	cv
Temp (°C)			21.8			-	-	-
H relativa (%)			58.5			-	-	-
Ancho (mm)	40.67	40.81	40.06	40.02	40.41	-	-	-
Espesor (mm)	4.08	4.02	4.05	4.06	4.05	-	-	-
Long inicial (mm)	200	200	200	200	200	-	-	-
F máxima (N)	86800	85650	84600	85000	85450	85500.010	832.917	0.97
F ruptura (N)	75350	75400	73550	74450	74100	74570.010	802.029	1.08



Ensayo de tracción material acero A36 (ETM 01)

	ETM	ETM	ETM	ETM	ETM	Promedio	Desv estándar	Coef variación
	01-1	01-2	01-3	01-4	01-5	X	s_{n-1}	cv
F fluencia (N)	59850	59150	58600	58950	59700	59250.010	520.817	0.88
R máxima a la tracción (Mpa)	523.10	522.08	521.44	523.14	522.12	522.375	0.731	0.14
R de ruptura (Mpa)	454.10	459.60	453.33	458.21	452.77	455.600	3.091	0.68
Límite de fluencia (Mpa)	360.69	360.55	361.19	362.81	364.78	362.002	1.795	0.50
% Elongación	31.50	30.62	28.81	28.06	26.78	29.153	1.910	6.55

Nota. en la tabla se aprecia las propiedades mecánicas obtenidas mediante ensayo de tracción del material acero A36

Tabla 9*Ensayo de tracción material acero SAPH440(ETM 02)*

Ensayo de tracción material acero SAPH440 (ETM 02)								
	ETM	ETM	ETM	ETM	ETM	Promedio	Desv estándar	Coef variación
	02-1	02-2	02-3	02-4	02-5	X	s_{n-1}	cv
Temp (°C)			19.2			-	-	-
H relativa (%)			68.5			-	-	-
Ancho (mm)	40.62	40.43	40.44	40.05	39.89			
Espesor (mm)	5.93	5.96	5.96	5.93	5.93	-	-	-
Long inicial (mm)	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	-	-	-
F máxima (N)	127700	126100	126000	122950	122350	124340	2413.866	1.94
F ruptura (N)	108850	104100	101150	99800	106000	103980	3650.108	3.51
F fluencia (N)	94550	94650	90300	92350	91300	92630.010	1939.265	2.09
R máxima a la tracción (Mpa)	530.15	523.32	508.67	517.69	518.27	519.619	7.906	1.52
R de ruptura (Mpa)	451.89	432.02	419.67	420.22	449.01	434.562	15.355	3.53



Ensayo de tracción material acero SAPH440 (ETM 02)

	ETM	ETM	ETM	ETM	ETM	Promedio	Desv estándar	Coef variación
	02-1	02-2	02-3	02-4	02-5	X	s_{n-1}	cv
Límite de fluencia (Mpa)	392.52	392.80	374.65	388.85	388.74	387.114	7.416	1.92
% Elongación	25.53	22.95	20.35	25.19	24.35	23.672	2.106	8.90

Nota. en la tabla se aprecia las propiedades mecánicas obtenidas mediante ensayo de tracción del material acero SAPH440.

Información del Vehículo

La realización de este proyecto se llevó a cabo tomando como referencia el tracto camión HINO 700 con número de chasis SS1EKSA, el cual tiene las características que se indican en la tabla 8 y figura 26.

Tabla 10

Características del tractocamión HINO 700

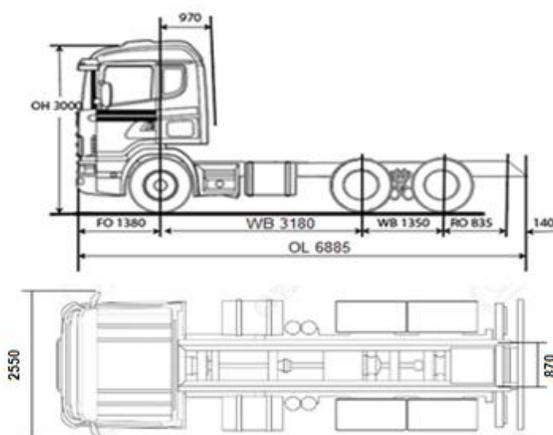
Nombre	Especificación	Simbología
N° de chasis	SS1EKSA	-
Configuración	6x4	-

Nombre	Especificación	Simbología
Longitud total	6885 mm	OL
Ancho total	2550 mm	OW
Alto total	3000 mm	OH
Distancia entre ejes	3180 + 1350 mm	WB
Voladizo delantero	1380 mm	FO
Voladizo posterior	835 + 140 mm	RO
Ancho de chasis	870 mm	-
Capacidad de carga eje delantero	7000 kg	-
Capacidad de carga eje posterior	20000 kg	-
Peso del chasis	9770 kg	-
Peso bruto vehicular	27000 kg	-

Nota. En la tabla se describen las diferentes características que tiene el tractocamión HINO 700. Tomado de. Teojama comercial.

Figura 26

Dimensiones tracto camión HINO 700.



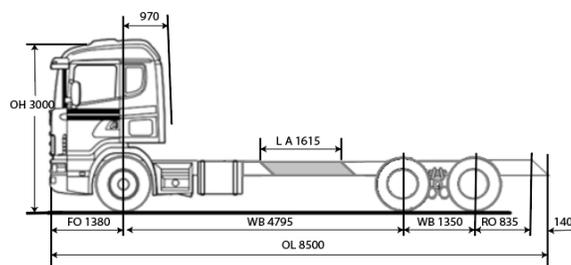
Nota. En la figura se aprecian las diferentes medidas que tiene el tracto camión HINO 700.

Esquema del alargamiento del bastidor.

En la figura 27 se aprecia el esquema del alargamiento del bastidor para convertir el tractocamión de tres ejes en un camión de tres ejes, mismo que se lo va a utilizar en transporte de mercancía.

Figura 27

Esquema del bastidor alargado



Nota. En la figura se aprecian las medidas a las que va a quedar el camión luego de realizar el alargamiento del bastidor.

Cálculos

En la tabla 9 se aprecia la información del vehículo con la propuesta de alargamiento del bastidor. Donde se evidencia el cambio de distancia de los ejes, la distancia para el carrozado, la capacidad de carga bruta teniendo en cuenta la norma de regulación MTOP de pesos y medidas.

Tabla 11

Medidas del camión de tres ejes

Nombre	Especificación	Simbología
N° de chasis.	SS1EKSA	-
Configuración.	6x4	-
Longitud total.	8500 mm	OL
Ancho total.	2550 mm	OW
Alto total.	3000 mm	OH
Longitud aumentada.	1615 mm	LA
Distancia entre ejes.	4795 + 1350 mm	WB
Voladizo delantero.	1380 mm	FO
Voladizo posterior.	835 + 140 mm	RO
Distancia del eje delantero al comienzo de la caja de carga.	970 mm	-
Largo carrozable al borde del chasis.	6150 mm	-
Ancho de chasis.	870 mm	-
Capacidad de carga eje delantero.	7000 kg	-

Nombre	Especificación	Simbología
Capacidad de carga eje posterior.	20000 kg	-
Peso del chasis.	10000 kg	-
Peso bruto vehicular.	27000 kg	-
Capacidad de carga bruta	17000 kg	-

Nota. En la tabla se describen las diferentes características que tiene el tractocamión HINO 700, con la propuesta de alargamiento del bastidor.

Para el cálculo y comprobación de los diferentes pesos y medidas requeridas para realizar el alargamiento del bastidor se hace de las diferentes ecuaciones descritas en el capítulo dos, donde las ecuaciones 8, y 9 permiten obtener el peso máximo que va a transportar el camión

$$MMA = 27000\text{kg}$$

$$Q = MMA - Q_3$$

$$Q = 27000 - 10000 = 17000 \text{ kg.}$$

Una vez obtenido el peso máximo que va a transportar el camión, este valor se reemplaza en las ecuaciones 5, 6. Y 7. Para obtener la carga viva y la carga de impacto.

$$C_v = (17000 + 17000 * 10\%) * 9.81 \frac{m}{s^2} = 183.5 \text{ kN}$$

$$C_{imp} = 183.5 * 30\% = 55.05 \text{ kN}$$

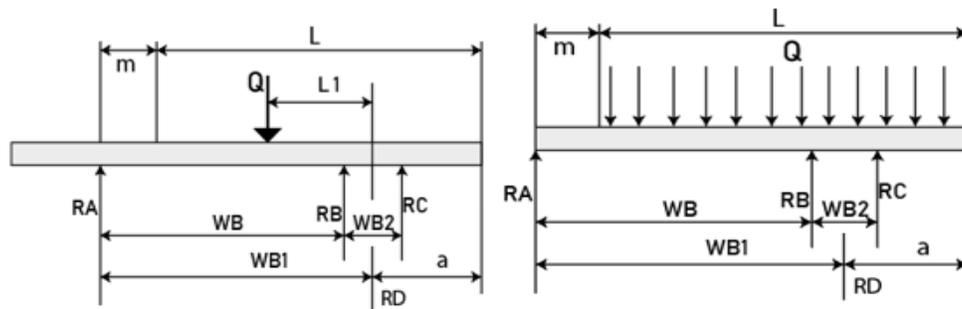
$$C_{vt} = 183.5 + 55.05 = 238.6 \text{ kN}$$

Distribución de peso en camión de tres ejes.

Para obtener la distancia donde se ubica el peso de la carga del camión el cual coincide con el centro de gravedad de la caja de carga del camión, y las reacciones en los ejes, como se aprecia en la figura 28. se utilizan las ecuaciones 10,11,12, y 13,

Figura 28

Distribución de cargas en el camión de tres ejes.



Nota: En la figura se aprecia la distribución de cargas en el camión de tres ejes.

$$R_A = \frac{17000 \text{ kg} * \left(\frac{6.15 \text{ mts}}{2} - 1.650 \text{ mts} \right)}{5.47 \text{ mts}} = 4429 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 43.45 \text{ kN}$$

$$R_D = \frac{17000 \text{ kg} * \left(\frac{6.15 \text{ mts}}{2} + 0.970 \text{ mts} \right)}{5.47 \text{ mts}} = 12571.3 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 123.33 \text{ kN}$$

$$L_1 = \frac{4429 \text{ kg} * 5.47 \text{ mts}}{17000 \text{ kg}} = 1.425 \text{ mts}$$

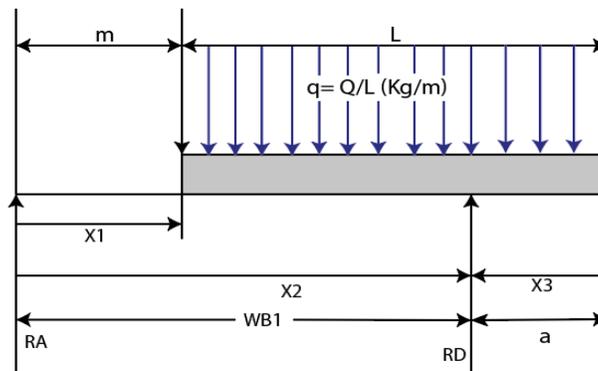
$$R_b = R_c = \frac{12571.3}{2} = 6285.65 \text{ kg} = 61.66 \text{ Kn}$$

Cálculo de esfuerzos cortantes y momentos flectores

Para el cálculo de esfuerzos cortantes y momentos flectores, se desarrollará por secciones, como se indica en la figura 29.

Figura 29

Diagrama de cuerpo libre de la distribución de cargas en el bastidor

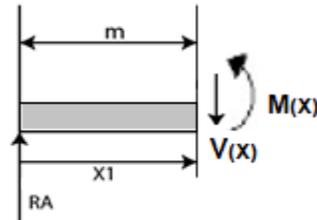


Nota: En la figura se aprecia la distribución de cargas en el camión y las secciones para encontrar los esfuerzos cortantes y momentos flectores.

Sección I. para $m = 0.970$ mt, según se indica en la tabla 9. Esta sección va desde el eje delantero hasta el inicio de la caja de carga. En la figura 30 se indican las direcciones de los esfuerzos cortantes y momentos flectores para la sección uno.

Figura 30

Diagramas sección uno.



Nota: En la figura se aprecia las direcciones de los esfuerzos cortantes y momentos flectores de la sección uno.

A continuación, se calcula el esfuerzo cortante y momento flector para la sección uno con las ecuaciones 14, y 15.

Para $X_1 = m = 0.970$ mts

Ecuación 14

Esfuerzo cortante sección uno

$$V_{(X_1)} = R_A$$

$$V_{(X_1)} = 43.45 \text{ kN}$$

Ecuación 15

Momento flector sección uno

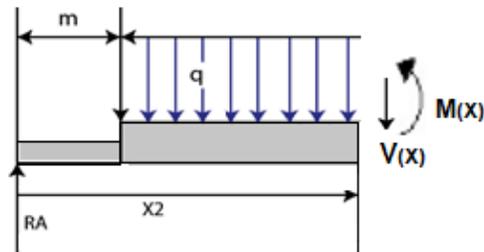
$$M_{(X_1)} = R_A * X_1$$

$$M_{(X_1)} = 43.45 * 0.970 = 42.15 \text{ kN} * \text{mts}$$

Sección II. Para $WB_1 = 5.470$ mts, según se indica en la tabla 9. Siendo la distancia entre el eje delantero y el centro de los dos ejes posteriores (RD). En la figura 31 se aprecia el diagrama de cuerpo libre, esfuerzos cortantes y momentos flectores para la sección dos.

Figura 31

Diagramas Sección dos



Nota. En la figura se aprecian los diagramas de cuerpo libre, esfuerzos cortantes y momentos flectores y sus direcciones para la sección dos.

A continuación, se calcula la carga distribuida el esfuerzo cortante y momento flector para la sección dos con las ecuaciones 16, 17, y 18

Para $X_2 = WB_1 = 5.470$ mts y $m = 0.970$ mts

Ecuación 16

Carga distribuida

$$q = \frac{Q}{L}$$

$$q = \frac{17000 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{6,15 \text{ mts}} = 27.12 \text{ kN/mts}$$

Ecuación 17

Esfuerzo cortante sección dos

$$V_{(X_2)} = R_A - (q) * (X_2 - m)$$

$$V_{(X_2)} = 43.45 \text{ kN} - \left(27.12 \frac{\text{kN}}{\text{mts}}\right) * (5.470 \text{ mts} - 0.970 \text{ mts}) = 78.59 \text{ kN}$$

Ecuación 18

Momento flector sección dos

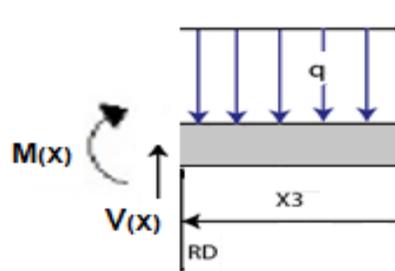
$$M_{(X_2)} = (R_A * X_2) - \left(\frac{q}{2}\right) * (X_2 - m)^2$$

$$M_{(X_2)} = (43.45 * 5.470) - \frac{27.12}{2} (5.470 - 0.970)^2 - 36.91 \text{ kN} * \text{mts}$$

Sección III. Para $a = 1.650$ mts, según se indica en la tabla 9. Esta sección va desde el centro de los ejes posteriores (RD), hasta el fin del bastidor. En la figura 32 se indica el diagrama de cuerpo libre, esfuerzos cortantes y momentos flectores para la sección tres.

Figura 32

Diagramas sección tres



Nota. En la figura se aprecian los diagramas de cuerpo libre, esfuerzos cortantes y momentos flectores y sus direcciones para la sección tres.

A continuación, se calcula el esfuerzo cortante y momento flector para la sección tres con las ecuaciones 19, y 20

Para $X_3 = a = 1.650$ mts

Ecuación 19

Esfuerzo cortante sección tres

$$V_{(X_3)} = q * X_3$$

$$V_{(X_3)} = 27.12 \frac{\text{kN}}{\text{mts}} * 1.650 \text{ mts} = 44.75 \text{ kN}$$

Ecuación 20

Momento flector sección tres

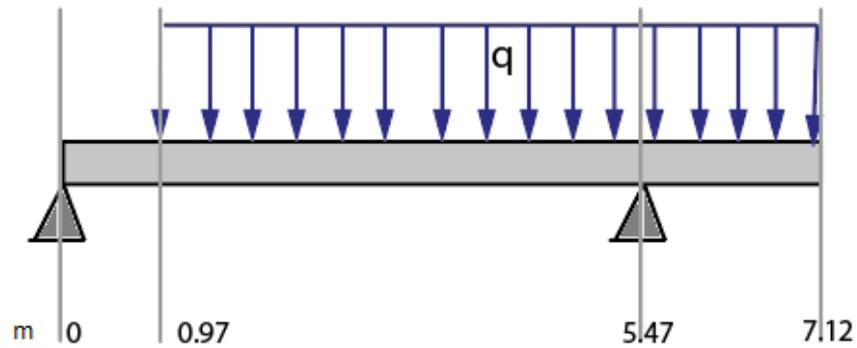
$$M_{(X_3)} = -\left(\frac{q}{2} * (X_3)^2\right)$$

$$M_{(X_3)} = -\left(\frac{27.12}{2} * (1.650)^2\right) = -36.92 \text{ kN} * \text{mts}$$

En las figuras 30, 31, y 32 se aprecia la representación gráfica de los diagramas de cuerpo libre, esfuerzos cortantes y momentos flectores. Que actúan sobre la longitud del bastidor donde se colocara el carrozado del camión.

Figura 33

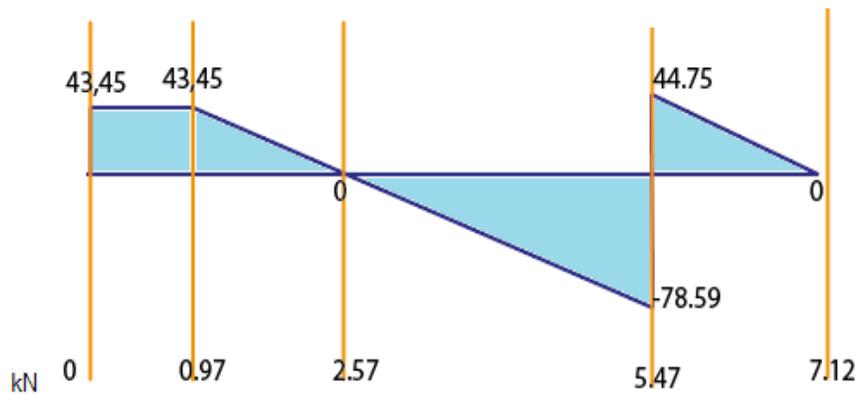
Diagrama de cuerpo libre.



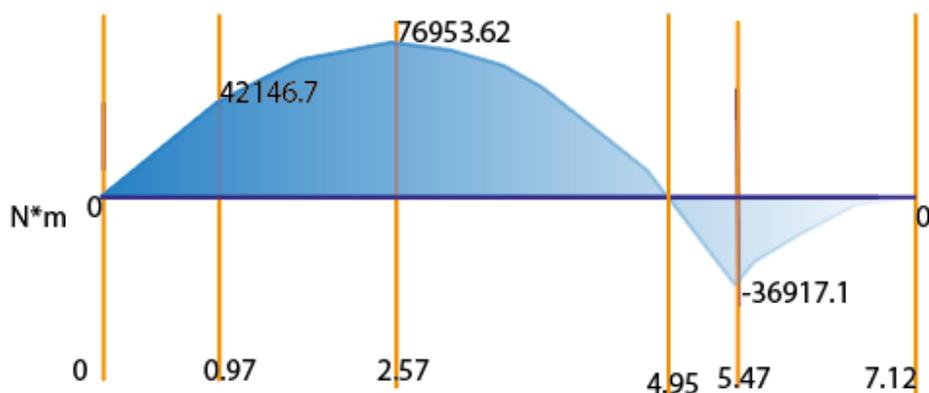
Nota. En la figura se aprecia el diagrama de cuerpo libre de la carga distribuida aplicada en el bastidor del camión.

Figura 34

Esfuerzos cortantes



Nota. En la figura se indica el diagrama de esfuerzos cortantes presentes en el bastidor del camión.

Figura 35*Momentos flectores*

Nota. En la figura se aprecia el diagrama de momentos flectores presentes en el bastidor del camión.

Para determinar el momento de inercia, (I_x) del perfil el U, la tensión de flexión (σ_f) debido al momento flector (M) y la tensión de cortadura o tensión tangencial (T) se utiliza las ecuaciones 21, 22, 23, y 24. Así como también se requiere las dimensiones del perfil en U, que se indican en la figura 33. (Malaga, 2018).

Ecuación 21*Momento de inercia*

$$I_x = \frac{1}{12} * e * (h + e_1)^3 + 2 \left(b - \frac{e}{2} \right) \left[\frac{1}{12} * e_1^3 + e_1 \left(\frac{h}{2} \right)^2 \right]$$

Ecuación 22*Tensión de flexión*

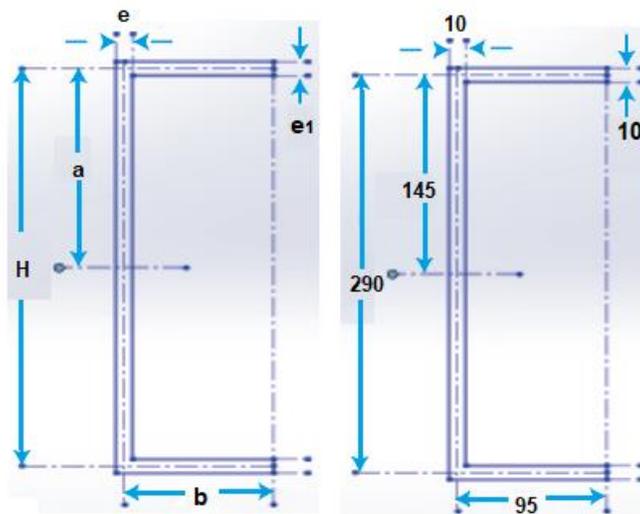
$$\sigma_f = \frac{M * C}{2 * I_x}$$

Ecuación 23*Tensión tangencial*

$$T = \left(\frac{v}{2} \right) \frac{V}{A_c}$$

Ecuación 24*Área del perfil*

$$A_c = \frac{2}{3} \cdot h \cdot e$$

Figura 36*Medidas en mm del perfil en U del bastidor.*

Nota. En la figura se muestran las diferentes medidas del bastidor en U del camión, así como también su nomenclatura.

Reemplazando los valores de las dimensiones del perfil en U en las ecuaciones 21, 22, 23, y 24 se obtienen los valores de momento de inercia, tensión de flexión, tensión tangencial.

$$I_x = \frac{1}{12}(0.01)(0.29 + 0.01)^3 + 2\left(0.095 - \frac{0.01}{2}\right)\left[\frac{1}{12}(0.01)^3 + (0.01)\left(\frac{0.29}{2}\right)^2\right]$$

$$I_x = 6 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$\sigma_f = \frac{76953.62 \text{ Nm} * 0.15 \text{ m}}{2(6 \times 10^{-5} \text{ m}^4)} = 97 \cong 100 \text{ Mpa}$$

$$T = \left(\frac{\left(\frac{78.59 \text{ kN}}{2}\right)}{\frac{2}{3} * 0.3 * 0.01}\right) = 22159 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 19.7 \cong 20 \text{ Mpa}$$

Una vez realizado los cálculos de tensiones normales y tangenciales máximas, se reemplazan estos valores en la ecuación 3 para obtener la tensión de Von Mises (tensión de comparación), y para encontrar el factor de seguridad se utiliza la ecuación número 4.

$$\sigma_{co} = \sqrt{(100)^2 + 3 * (20)^2} = 106 \text{ Mpa}$$

σ_e = Limite elástico del material utilizado. (ASTM A36 = 250 Mpa)

σ_{co} = Tensión de Von Mises

$$n_s = \frac{250 \text{ Mpa}}{106 \text{ Mpa}} = 2.3$$

Se aprecia que el factor de seguridad en el punto crítico es 2,3 lo que muestra que el bastidor soporta la carga máxima de 17 toneladas. Para incrementar el factor de seguridad se colocarán refuerzos transversales.

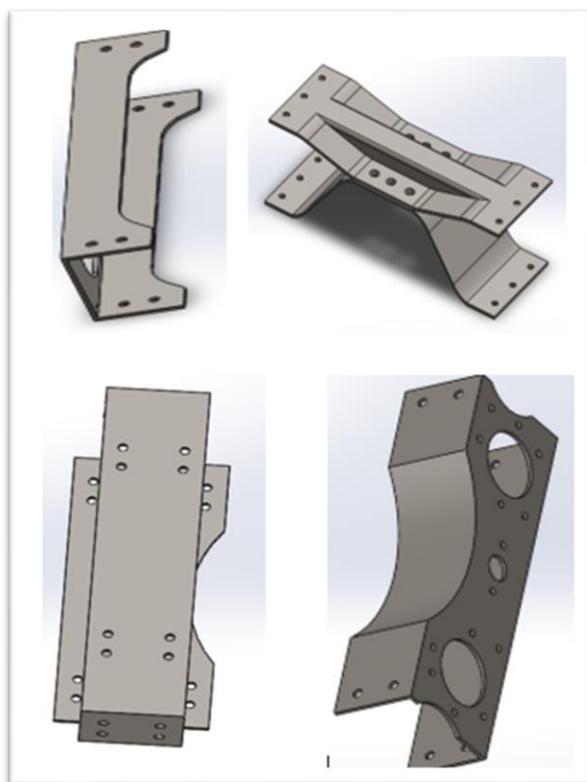
Representación gráfica de los elementos del bastidor.

Para realizar los diferentes elementos del bastidor con las dimensiones originales se inició revisando el manual de montaje de carrocería del tractocamión, posteriormente se procedió a realizar la toma de mediciones físicamente de los diferentes elementos que conforman el bastidor, las cuales se requieren para realizar la simulación.

En las figuras 37, 38, y 39 se indican las formas de los diferentes elementos que conforman el bastidor del tractocamión como son: los travesaños, largueros, y refuerzos superiores e inferiores de la quinta rueda. Las dimensiones se encuentran en los planos. (revisar anexo 1).

Figura 37

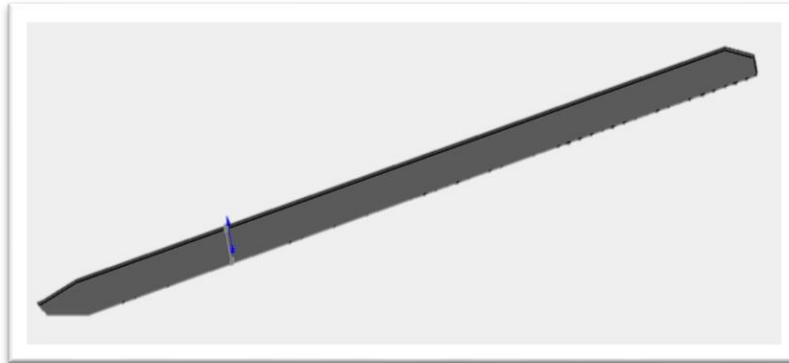
Modelado de los travesaños del bastidor.



Nota. En la figura se indican los modelados de los travesaños del bastidor del tractocamión.

Figura 38

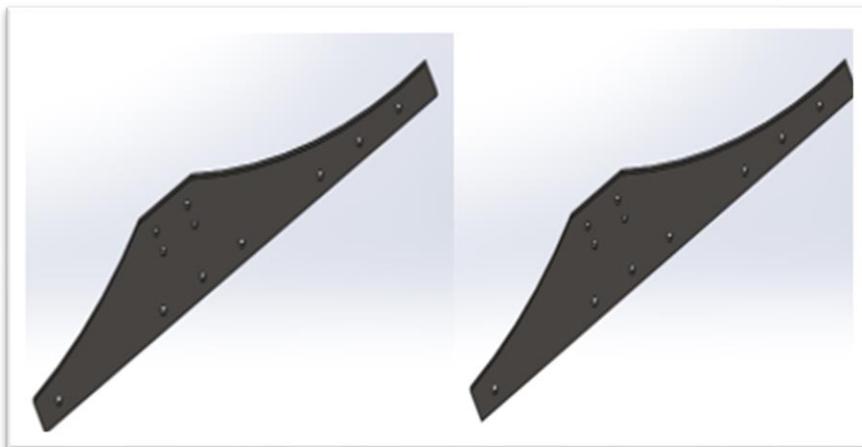
Larguero del bastidor



Nota. En la figura se indica el larguero del bastidor.

Figura 39

Refuerzos superior e inferior de la quinta rueda del tractocamión

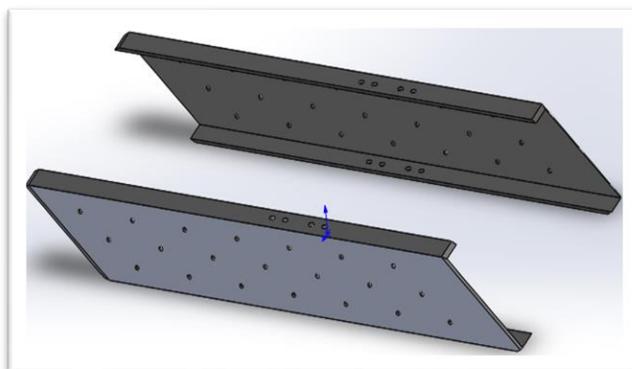


Nota. En la figura se indican los refuerzos superiores e inferiores con los cuales cuenta el tractocamión para la quinta rueda.

A continuación, se coloca la representación gráfica de los elementos adicionados al bastidor para aumentar su longitud, como son: la longitud aumentada, el perfil de refuerzo, y los travesaños de refuerzo para el bastidor. Como se aprecia en las figuras 40, 41, y 42.

Figura 40

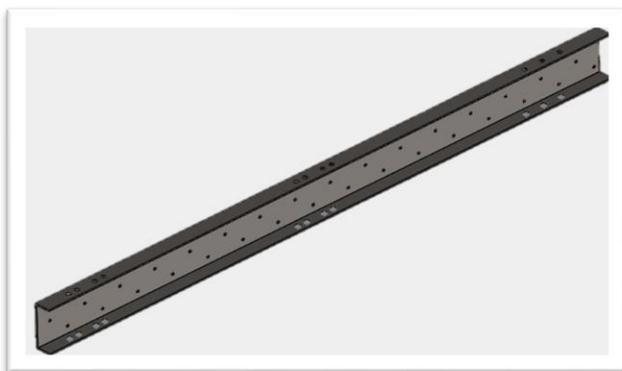
Longitud aumentada



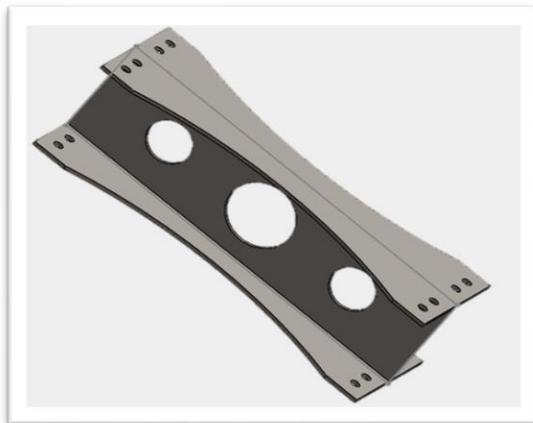
Nota. En la figura se indican los perfiles de la longitud aumentada al bastidor.

Figura 41

Perfil en U

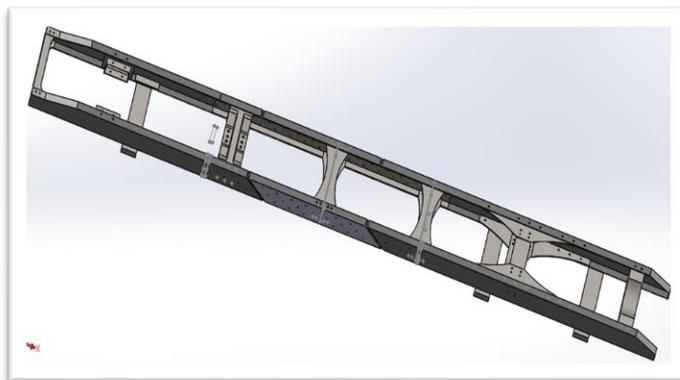


Nota. En la figura se indica el perfil en U para reforzar la sección de la longitud aumentada en el bastidor.

Figura 42*Travesaños*

Nota. En la figura se aprecia el travesaño a utilizar para darle mayor rigidez al bastidor.

Para finalizar se realiza el ensamble entre los travesaños, y largueros, para obtener el bastidor como se aprecia en la siguiente figura y a continuación se realiza el respectivo análisis.

Figura 43*Ensamble del bastidor*

Nota. En la figura se aprecia en ensamble del bastidor del camión de tres ejes.

Capítulo IV

Pruebas y análisis de resultados.

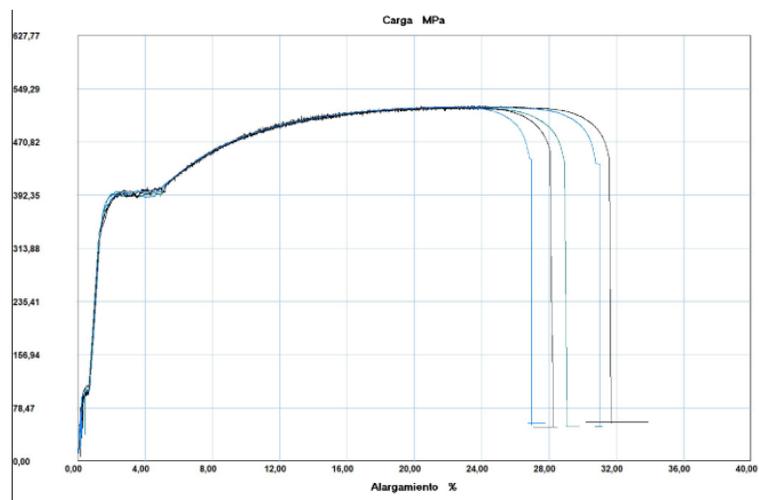
Se realizó un ensayo de tracción al acero ASTM A36 y al acero SAPH440 para determinar si es factible la modificación del bastidor del tractocamión de tres ejes en un camión de tres ejes utilizando el acero ASTM A36. Así como se desarrollaron dos análisis estáticos mismos que permitieron determinar que el bastidor modificado soporta la carga máxima permitida por la norma de pesos y medidas (MTO), además se conoció el factor de seguridad con el máximo peso permitido, y se estableció cuál es la máxima capacidad de carga del bastidor para obtener el mínimo factor de seguridad de diseño en el bastidor, obteniendo el ciclo de vida del bastidor.

Ensayo de tracción.

El ensayo de tracción se realizó a el acero ASTM A36 y al acero SAPH440 con base a la norma NTE INEN ISO 6892-1 donde estipula que se debe realizar el ensayo a 5 probetas del mismo material para luego obtener un promedio de los resultados adquiridos. Obteniendo los valores indicados en las figuras 44, 45,46, y 47

Figura 44

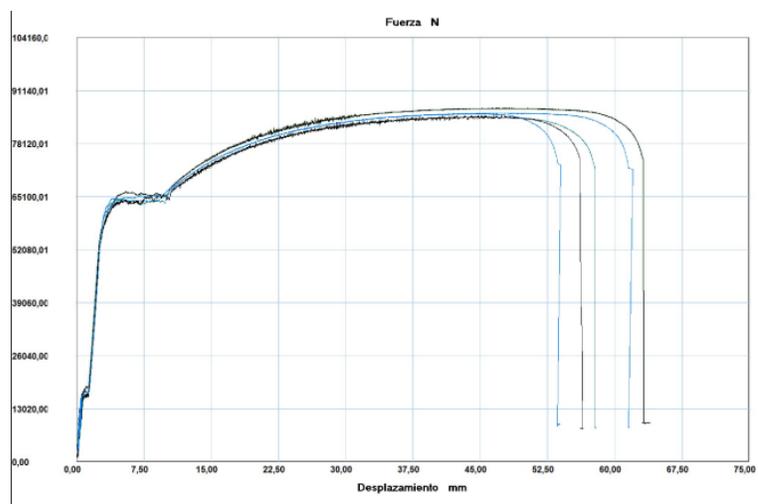
Curva de carga vs alargamiento acero A36



Nota. En la figura se aprecia la curva de carga vs alargamiento del acero ASTM A36.

Figura 45

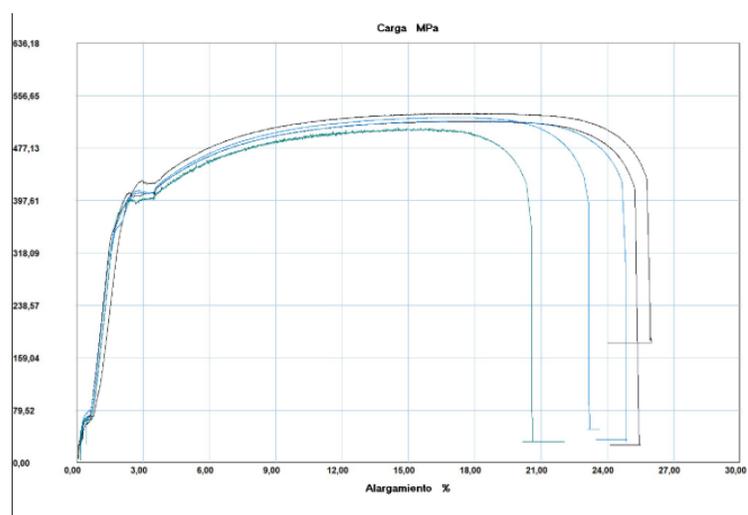
Curva de fuerza vs desplazamiento acero A36



Nota. En la figura se aprecia la curva de carga vs alargamiento del acero ASTM A36.

Figura 46

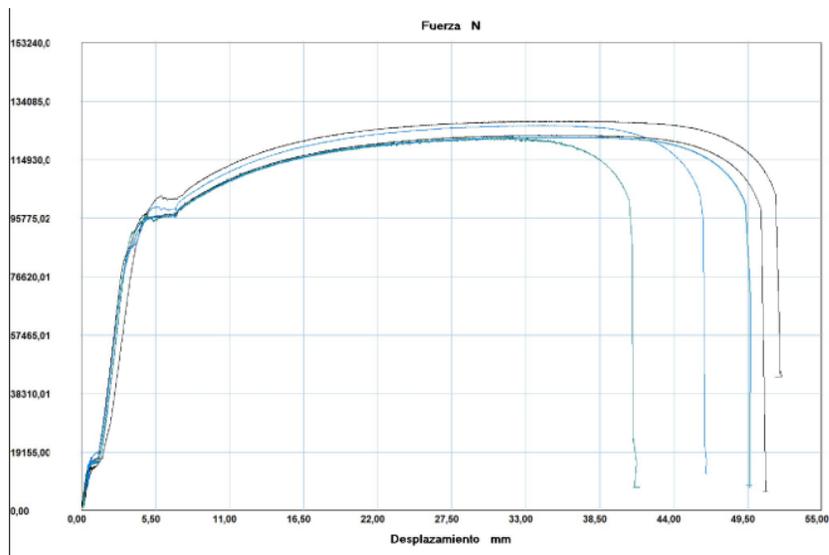
Curva de carga vs alargamiento acero SAPH440



Nota. En la figura se aprecia la curva de carga vs alargamiento del acero SAPH440.

Figura 47

Curva de fuerza vs desplazamiento acero SAPH440



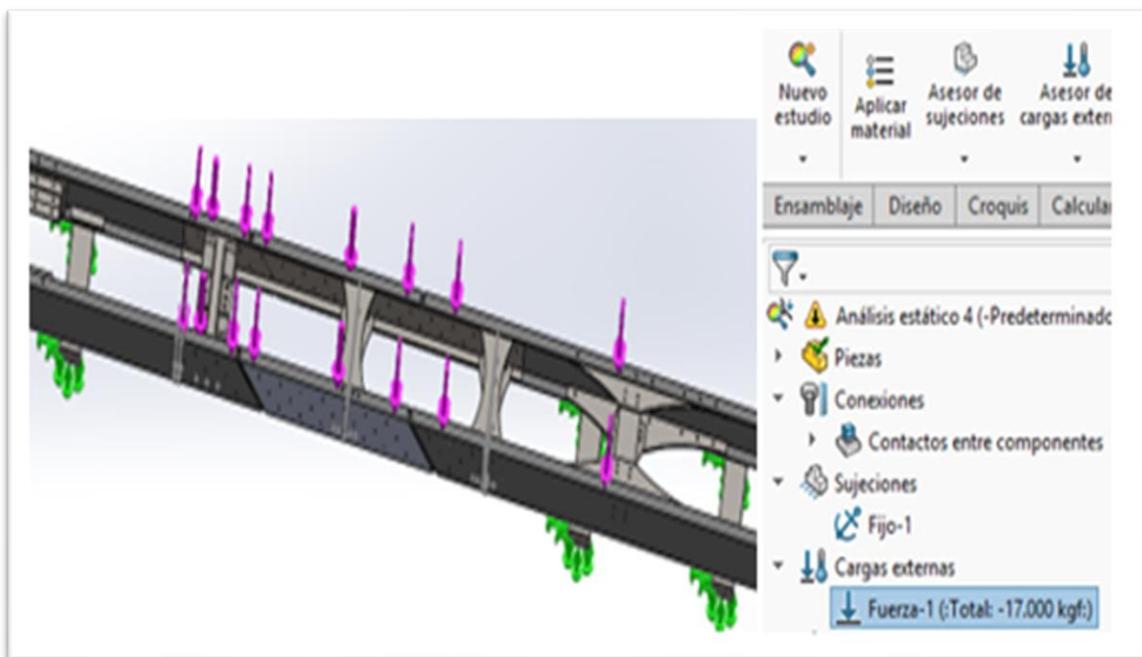
Nota. En la figura se aprecia la curva de fuerza vs desplazamiento del acero SAPH440.

Análisis estático.

Para realizar el mallado y el posterior análisis del ensamble, se agrega el acero ASTM A36 en todo el ensamble, se ubica las sujeciones en los tres ejes, así como también la carga distribuida de 17000 kg a lo largo del bastidor donde se va a colocar el carrozado del camión, como se indica en la figura 44.

Figura 48

Ubicación de cargas y sujeciones



Nota. En la figura se aprecia la colocación de cargas y sujeciones en el bastidor.

Mallado del ensamble

Para la realizar la simulación del ensamble y obtener los mejores resultados se realizó un mallado 55,2 mm, siendo el mallado más fino que permite el programa SolidWorks versión de prueba, como se aprecia en la figura 45.

Figura 49

Mallado del ensamble.



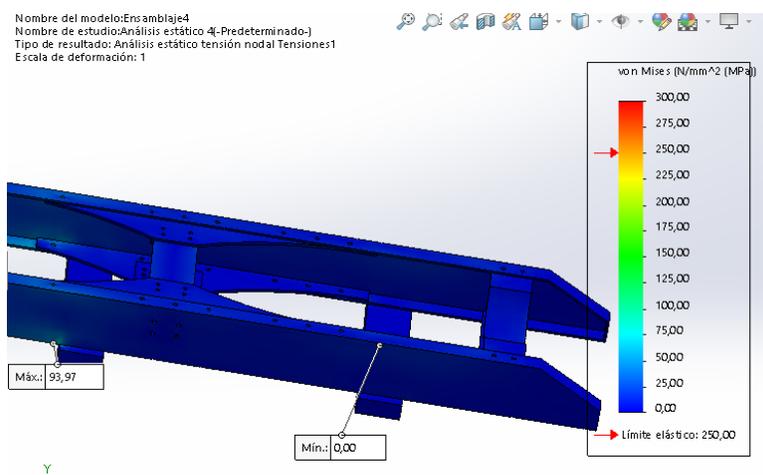
Nota. En la figura se aprecia el mallado realizado en el ensamble, así como también sus características.

Análisis de la simulación

Tensión de Von Mises. En la figura 46 se indica la tensión de Von Mises. En una escala de deformación real (1), se evidencia que la mayor tensión se ubica en el primer eje posterior con 94 Mpa.

Figura 50

Tensión de Von Mises

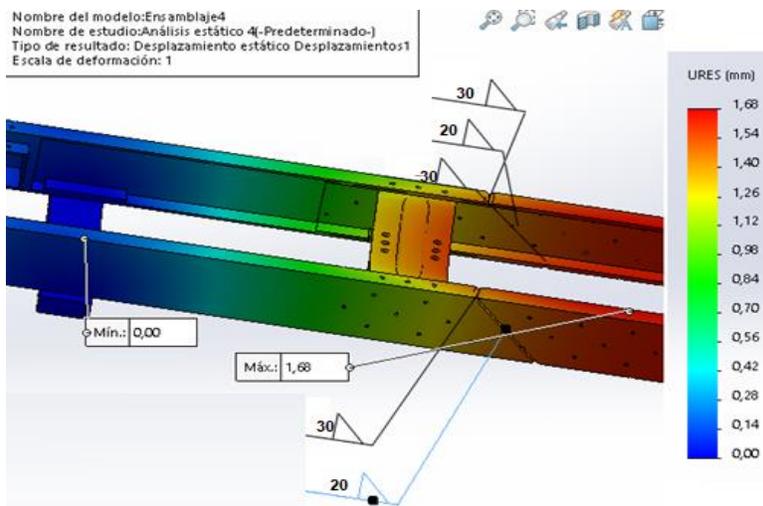


Nota. En la figura se aprecia la Tensión de Von Mises con un valor máximo de 94 Mpa.

Desplazamientos. En la figura 47 se aprecia los desplazamientos sufridos en el ensamble, el mayor desplazamiento se encuentra en la longitud aumentada, con un valor de 1,68 mm.

Figura 51

Desplazamientos

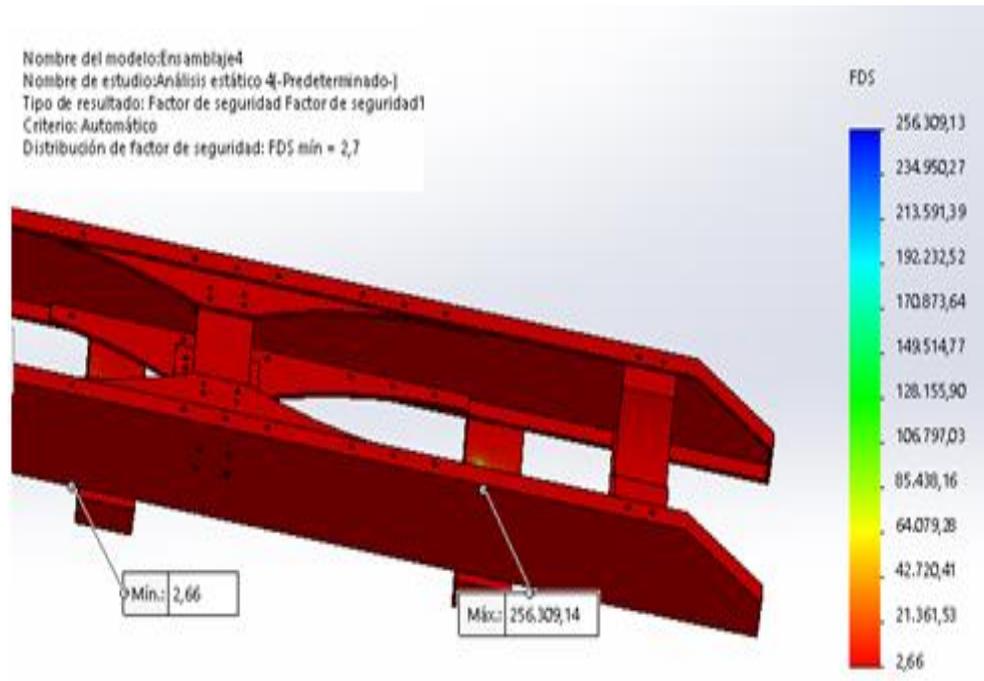


Nota. En la figura se aprecia los desplazamientos presentes en el bastidor.

Factor de seguridad. En la figura 48 se aprecia el factor de seguridad con un valor mínimo de 2.66, el cual se ubica en el primer eje posterior del ensamble.

Figura 52

Factor de seguridad

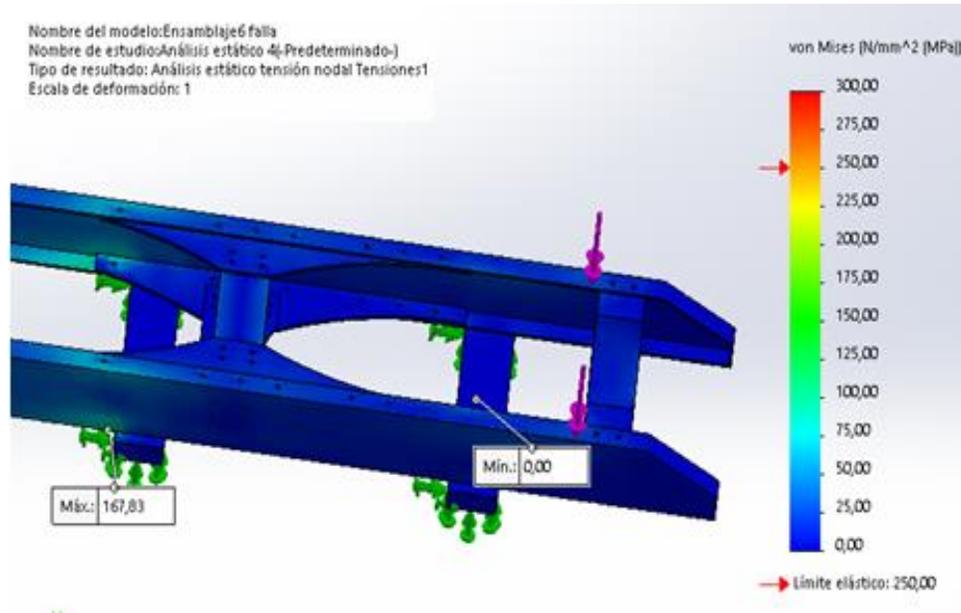


Nota. En la figura se aprecia el factor de seguridad presente en el bastidor.

Se desarrollará un segundo análisis con 25000 kg de carga distribuida en el bastidor para conseguir el mínimo factor de seguridad (1,5) para el diseño de vehículos de carga pesada

Tensión de Von Mises. En la figura 49 se aprecia una tensión de Von Mises máxima de 167,83 Mpa, en escala real (1), misma que se ubica en el primer eje posterior del ensamble.

Figura 53

Tensión de Von Mises

Nota. En la figura se aprecia la Tensión de Von Mises con un valor máximo de 167.83 Mpa.

Desplazamientos. El bastidor sufre un desplazamiento máximo de 3.01 mm, en la parte central de la longitud aumentada como se observa en la figura 50.

Para realizar el cálculo de la deformación permisible según la norma NTE INEN 1323, los componentes no deben alcanzar un máximo de 1/240 veces su longitud. (LÓPEZ, 2015).

Ecuación 25*Desplazamiento*

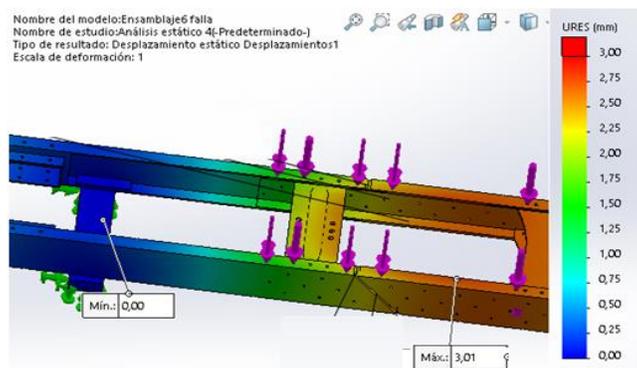
$$D = \frac{1 L}{240}$$

$$D = \frac{1615mm}{240} = 6.7 mm$$

El desplazamiento máximo se presenta en la longitud aumentada con un valor de 3.01 mm que corresponde a el 45% del límite permitido por la norma.

Figura 54

Desplazamientos.

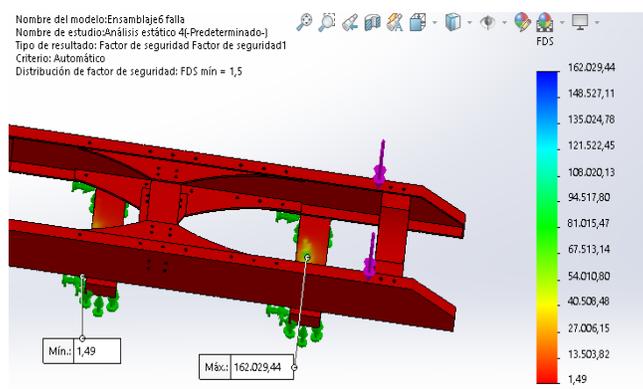


Nota. En la figura se aprecia los desplazamientos presentes en el bastidor.

Factor de seguridad. Al colocar una carga de 25000 kg el factor de seguridad baja hasta 1.5 el cual es el factor mínimo recomendado para diseñar vehículos de carga pesada como se observa en la figura 51.

Figura 55

Factor de seguridad

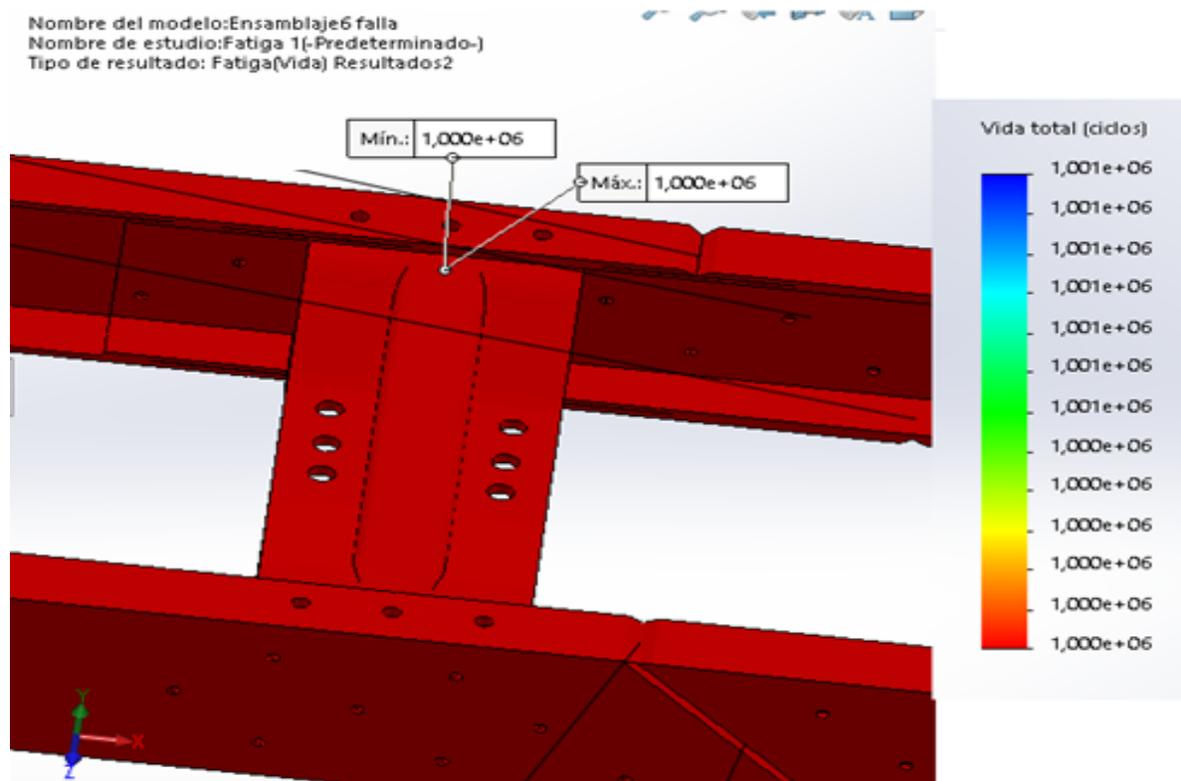


Nota. En la figura se aprecia el factor de seguridad presente en el bastidor.

Comprobación de fatiga. Para realizar el análisis de fatiga se lo hizo con una carga de 25000 kg. En donde el factor de seguridad disminuyó de 2,5 a 1.5. siendo el mínimo factor de seguridad para el diseño de vehículos de carga pesada. El ciclo de vida en estas condiciones es superior a 1000000 ciclos.

Figura 56

Comprobación de fatiga

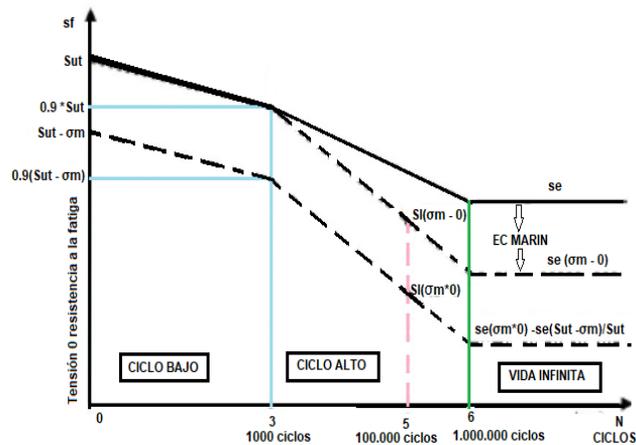


Nota. En la figura se aprecia los ciclos de vida del bastidor.

En la figura 57 se aprecia el diagrama de fatiga de Goodman el cual se tiene en cuenta para determinar qué tiempo de vida o durabilidad tiene un diseño estructural de acuerdo al número de ciclos.

Figura 57

Diagrama de fatiga de Goodman.



Nota. En la figura se aprecia el diagrama de fatiga de Goodman. Tomado de. diseño y estudio de factibilidad de construcción de un bastidor para chasis de bus con fines de producción nacional.

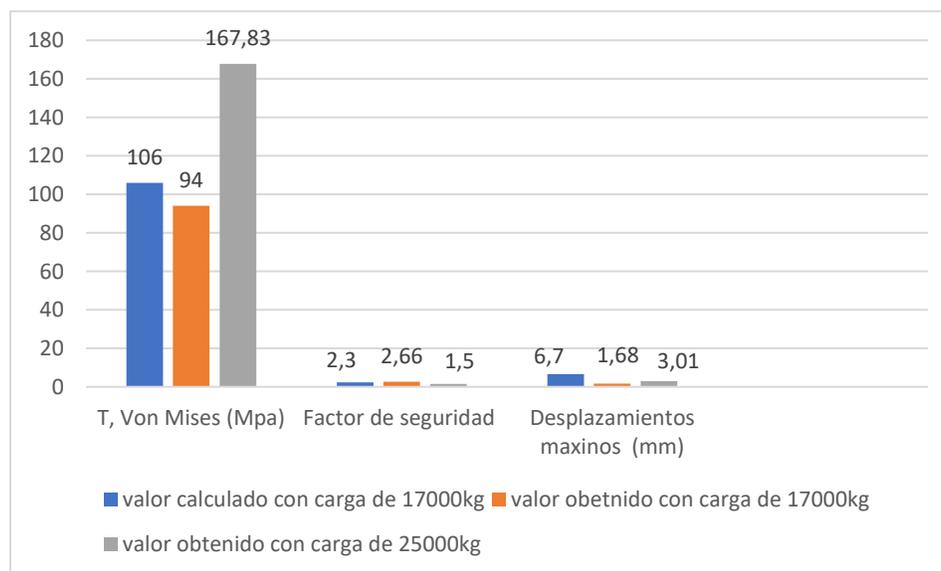
Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se tomó en cuenta el ensayo de tracción, los análisis estáticos y los cálculos matemáticos realizados anteriormente. En la tabla 12 y en la figura 58 se realiza una comparación de los resultados obtenidos mediante cálculos matemáticos como también en los dos análisis estáticos realizados en el ensamble.

Tabla 12*Resultados obtenidos*

	Tensiones de Von Mises (Mpa)	Desplazamientos (mm)	Factor de seguridad
Valor calculado	106	6.7	2.3
Carga de 17000 kg	94	1,68	2.66
Carga de 25000 kg	167, 83	3.01	1.5

Nota. En la tabla se aprecia los resultados obtenidos en los análisis realizados.

Figura 58*Resultados obtenidos*

Nota. En la figura se aprecia los resultados obtenidos tanto en los análisis estáticos como también los valores obtenidos mediante cálculos.

Luego de obtener los valores del ensayo de tracción del acero ASTM A36 y del acero SAPH440 y realizar una comparación de los valores de la resistencia máxima a la tracción (Mpa) la cual fue de 522.375 y 519.619 respectivamente, así como también de la resistencia a la ruptura (Mpa) consiguiendo como resultado unos valores de 455.600 y 434.562 respectivamente. Se evidencia que el acero ASTM A36 tiene similares características al acero SAPH440, permitiendo realizar este tipo de modificaciones con la utilización del acero ASTM A36.

Una vez obtenido los valores tanto de análisis estático y cálculos matemáticos se aprecia que, con una carga de 25000 kg, la tensión de Von Mises es de 167.83 Mpa presente en el primer eje posterior del ensamble, con esta carga se obtiene un factor de seguridad de 1.5, siendo el mínimo valor para el diseño de vehículos de carga pesada, permitiendo que el bastidor soporte una carga adicional del 60% superior al permitido por la norma de pesos y medias (MTO).

Al realizar una comparación entre los valores de tensión de Von Mises obtenidos con la misma carga de 17000 kg, se evidencia que el valor obtenido por medio del análisis estático (94 Mpa), es inferior al obtenido mediante cálculos matemáticos (106 Mpa), esto se debe a que en el análisis estático las cargas se distribuyen tanto en los largueros como en los travesaños, generando una mayor área para soportar la dicha carga, aumentando el valor del factor de seguridad (2.7) con respecto al valor del factor de seguridad calculado.

Luego de realizar el análisis de fatiga del ensamble y obtener un valor superior a 1.000.000 de ciclos sin que el bastidor falle, y comparando con el diagrama de fatiga de Goodman el bastidor tiene una vida infinita.

Capítulo V

Marco administrativo

Recursos

Para desarrollar el proyecto investigativo, se tomó en cuantos recursos como: talento humano, recuso material y tecnológico.

Talento Humano

Los recursos humanos que participaron en el desarrollo del proyecto de titulación “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MODIFICACIÓN DE UN BASTIDOR DE TRACTOCAMIÓN DE TRES EJES A CAMIÓN DE TRES EJES POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS. Se detallan en la tabla 11.

Tabla 13

Talento Humano

Orden	Descripción	Función
1	Rosas Hernán	Investigador
2	Ing. Henry Iza T	Investigador – tutor

Nota. En la tabla se aprecia el talento humano que desarrollo el proyecto.

Recursos Tecnológicos

Para ejecutar el proyecto se ocuparon recursos tecnológicos los cuales me permitieron obtener datos de la simulación del ensamble, y análisis de materiales, los cuales se mencionan a continuación:

Tabla 14*Recursos Tecnológicos*

Orden	Nombre
1.	Laptop LENOVO
2.	Internet
3.	Microsoft Office
4.	SolidWorks versión de prueba.
5.	Máquina de ensayo de materiales serie STH/CS
6.	Cámara de celular

Nota. En la tabla se aprecia los recursos tecnológicos utilizados en el desarrollo del proyecto.

Recursos Materiales

Los recursos materiales utilizados para la realización del proyecto son fundamentales para la realización del análisis termodinámico de materiales. Y toma de medidas del bastidor. Los cuales se detallan en la tabla.

Tabla 15*Recursos Materiales*

ORDEN	DETALLE	Cantidad
1.	Acero A36	6 probetas
2.	Acero SAPH 440	5 probetas
3.	Flexómetro	1

ORDEN	DETALLE	Cantidad
4.	Cuaderno	1
5.	Lapiceros/ lápices	3

Nota. En la tabla se aprecia los recursos materiales utilizados en el desarrollo del proyecto.

Presupuesto

Para la ejecución del proyecto titulado “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MODIFICACIÓN DE UN BASTIDOR DE TRACTOCAMIÓN DE TRES EJES A CAMIÓN DE TRES EJES POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS. Es importante plantear el presupuesto en el cual se detallan los gastos generados durante el desarrollo del proyecto y financiado por el estudiante quien participo en el proyecto. También se realiza un presupuesto para la implementación del mismo.

Tabla 16

Presupuesto de estudio.

Detalle	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
Realización de probetas en acero A36	6	15	90
Realización de probetas en acero SAPH 440	5	25	125
Realización de ensayo de tracción	10	22	220
Transporte	-	200	200
Imprevistos	-	75	75

Detalle	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
Total			710

Nota. En la tabla se aprecia el presupuesto para el desarrollo del proyecto.

Tabla 17

Presupuesto de Implementación

Detalle	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
Adquisición de perfil en U para alargar la longitud al bastidor	1	300	300
Adquisición del perfil para los refuerzos laterales	1	200	200
Adquisición del perfil para los refuerzos laterales	2	100	200
Mano de obra	1	500	500
Tornillos	33	6	200
Imprevistos	-	100	100
Total			1500

Nota. En la tabla se aprecia el presupuesto de para la implementación del proyecto desarrollado.

Financiamiento

La presente investigación es financiada totalmente por el investigador del proyecto y el costo total de inversión es de 710 USD.

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones.

Al realizar el corte en el bastidor del tractocamión se debe hacer con un Angulo de 45° para liberar la concentración de tensiones al mismo, esto ayuda a que en el momento que el camión sea cargado, las fuerzas ejercidas por dicha carga no tengan la misma dirección que el corte ayudando a soportar de mejor manera dicha carga.

Se desarrollo el análisis estático (software CAD SolidWorks versión de prueba) del bastidor luego de aumentar 1615 mm, de longitud obteniendo una distancia total del bastidor de 8500 mm, siendo el promedio de las longitudes de los camiones que se utilizan para el transporte de mercancías.

La simulación del ensamble del bastidor se realizó en el software SolidWorks versión de prueba, que permite tener el control del mallado, insertar sujeciones y cargas a la estructura, las cuales fueron de 17000 kg y 25000 kg, correspondientes a la máxima carga permitida por la norma ecuatoriana para este tipo de vehículos y la máxima carga a la cual se permite diseñar vehículos destinados a el transporte de carga pesada.

De acuerdo a los valores obtenidos mediante el análisis estático, cálculos matemáticos, y ensayo de tracción se logra constatar que la modificación del bastidor con a la utilización del acero ASTM A36 es viable, permitiendo su implementación para el uso diario, ya que tanto los travesaños de refuerzo, como también los refuerzos longitudinales cumplen con los valores de resistencia y factor de seguridad requeridos.

Luego de realizar el ensayo de tracción al acero ASTM A36 y SAPH440 la resistencia máxima a la tracción (Mpa) fue de 522.375 y 519.619 respectivamente, así como también la resistencia a la ruptura (Mpa) fue de 455.600 y 434.562 respectivamente. Se evidencia que el acero ASTM A36 tiene similares características al acero SAPH440 siendo el acero ASTM A36 idóneo para realizar el alargamiento del bastidor

Recomendaciones.

Para realizar un análisis de las cargas distribuidas en el bastidor del camión se debe tomar en cuenta la distancia del carrozado ya que es en este espacio donde el bastidor va a soportar la máxima carga.

Si se utiliza un tipo de acero de características superiores al acero A36 es recomendable realizarlo únicamente en los travesaños y perfiles longitudinales de refuerzo, y bajar el espesor de los mismos para optimizar tanto recursos materiales como también no sobredimensionar el bastidor.

Al utilizar el software SolidWorks versión de prueba se recomienda realizar correctamente tanto la representación gráfica de las piezas como también el ensamble de las mismas, definir correctamente las sujeciones y colocación de cargas para que al momento de realizar el mallado y la posterior simulación el programa no genere errores o interferencia entre las piezas.

Bibliografía

A, C. (2018). *Introducción a Método de elementos finitos*. Obtenido de elementos finitos:

http://www.iit.comillas.edu/~carnicero/Resistencia/Introduccion_al_MEF.pdf

AB, S. C. (2019). Cambio de distancia entre ejes . *BODY BUILDING INFORMATION* , 11,17,18.

Andrade Vargas, J. M. (2007). Diseño de un plataforma cama-alta acoplable a cabezales de transporte pesado para el traslado de contenedores . 74-77.

ANONIMO. (2018). GUÍA PARA CARROCEROS. *ISUZU MOTORS LIMITED*, 14--17.

Benz, M. (26 de 11 de 2020). *Directrices para el Montaje de Carrocerías*. Obtenido de Accelo 979.0XX

Euro 3/5: <https://www.mercedes->

[benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/accelo/manual-de-implementacao/BMD-BR010003BE3_1120-es.pdf](https://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/accelo/manual-de-implementacao/BMD-BR010003BE3_1120-es.pdf)

LÓPEZ, L. D. (2015). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO*. Obtenido de ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL

CHASIS HINO AK8JRSA: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/10369>

Malaga. (2018). Elasticidad y resistencia de materiales. *elasyresi_13*, 4.

MOTT, R. L. (2009). *Resistencia de materiales*. Buenos Aires: Pearson Prentice Hall, 2009.

mundial, M. (2018). *Gradoas Material Mundial* . Obtenido de Normas ASTM, AISI Y SAE US:

<https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/>

N/A. (2009). *Diseño automotriz* . Obtenido de Estructuras Vehiculares:

<https://dautomotrizuft.weebly.com/chasis.html#>

N/A. (23 de 06 de 2014). *MECAPEDIA*. Obtenido de Criterio de Von Mises:

http://www.mecapedia.uji.es/criterio_de_von_Mises.htm

N/A. (2019). *Cambio de distancia entre ejes*. Obtenido de bodybuilding information:

https://til.scania.com/groups/bwd/documents/bwm/bwm_0000273_03.pdf

N/A. (13 de DICIEMBRE de 2019). *CITY CARROCERIAS* . Obtenido de ¿Qué hay que tener en cuenta para la transformación de vehículos industriales?:

<https://www.carrocerciascity.com/2019/12/13/que-hay-que-tener-en-cuenta-para-la-transformacion-de-vehiculos-industriales/>

NORMALIZACIÓN, S. E. (2016). *clasificación vehicular* . Obtenido de NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

2656: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2656-1.pdf

Paucar, A. (07 de 02 de 2018). *DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN NUEVO PERFIL METÁLICO QUE SE UTILIZARÁ COMO BASTIDOR*. Obtenido de Universidad Particular Internacional SEK:

<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2794/1/TESIS%20FINAL%2007-02-2018.pdf>

S.P.A. (2013). DIRECTIVAS PARA LA TRANSFORMACIÓN. *IVECO*, 34-36.

SCANIA. (2003). Instrucciones generales para el carrozado . *Scania CV AB*, 26.

Shigley, E. (2004). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Obtenido de Diseño en Ingeniería Mecánica.

Michigan: Mc Graw - Hill,;

<http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/elementoMaquina/material/libroCabecera.pdf>

Taller, J. (marzo de 2011). *Carrocería y pintura*. Obtenido de Tipos de bastidores en: http://www.centrozaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R47_A2.pdf

Truck, 2. I. (2011). Isuzu Truck. (*Installation of Body and Special Equipment Section – continued from next page*), 28-32.

URANGO, A. M. (2015). *REDISEÑO ESTRUCTURAL PARA VEHÍCULO UTILITARIO*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO:

http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8307/Tesis_Bibliofac.pdf?sequence=1

Anexos