UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención en Fabricación De Autopartes De Vehículos

Diseño a través de la simulación de una estructura adaptable para una motocicleta con capacidad de carga de 6 quintales y 1,50 m de ancho

Nota del Autor
Isaac Ruiz, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.
Director: Ing. Jaime Molina
Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:
rruiz.mdm@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Isaac Ruiz, con cédula de identidad 1719144774, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

El presente trabajo se rige bajo el sistema de ciencia, perteneciendo al desarrollo tecnológico concretamente en la innovación en el diseño de procesos y productos en el Ecuador.

Isaac Ruiz

CI: 1719144774

Índice de Contenido

Declaración Juramentada 2
Índice de figuras 9
Resumen 12
Abstract 14
Introducción 15
Antecedentes 15
Justificación 16
Problema 17
Objetivo general 18
Objetivos específicos 18
Estado del Arte 18
Remolques para motocicletas 18
Tipos de estructuras en una motocicleta 19
Materiales utilizados para la construcción de estructuras 21
Metodologías de diseño 24
Método multicriterio Pugh 25
Análisis del modo y efectos de falla (AMEF) 26
Método de áreas tributarias 27
Tipos de modelado 3D 28
Tipos de simulación 30
Tipos de mallado 31
Convergencia 32
Software de simulación 33
Sistemas de suspensión 33

Fórmulas utilizadas en el cálculo de las ballestas 35
Material usado para la construcción de las ballestas 36
Método 38
Principios de diseño 40
Dimensiones de la motocicleta 40
Análisis del modo de efecto y de falla (AMEF) 41
Sujeción 42
Material utilizado 43
Densidad 44
Disponibilidad en el mercado 44
Módulo de corte 44
Selección del sistema de suspensión 47
Ballestas 47
Tornillería y pasadores 48
Placa de recubrimiento superior 52
Proceso de diseño de la estructura adaptable a la motocicleta 53
Facilidad de construcción 53
Estabilidad 54
Forma motriz 54
Proceso de simulación de la estructura 62
Primera simulación 63
Segunda simulación 67
Tercera simulación 68
Simulación dinámica 69
Costos en caso de construcción de la estructura 72
Resultados 73

Simulación con acero AISI 4118 73
Desplazamiento nodal total de la estructura 74
Esfuerzo máximo 74
Fuerza de reacción 75
Simulación con acero AISI 4130 78
Desplazamiento nodal total de la estructura 78
Esfuerzo máximo 79
Fuerza de reacción 80
Simulación con acero AISI 4340 82
Desplazamiento nodal total de la estructura 82
Esfuerzo elemental 83
Fuerza de reacción 84
Simulación dinámica 86
Análisis de ciclos a kilómetros. 89
Validación de resultados 91
Método de áreas tributarias 92
Discusión de resultados 103
Método multicriterio de selección de materiales Pugh 103
Método multicriterio de selección de variantes de diseño Pugh 104
Diseño y simulación estructura 106
Desplazamiento nodal total de la estructura 107
Esfuerzo máximo 108
Fuerza de reacción 109
Validación de resultados 110
Conclusiones 113
Recomendaciones 114

Bibliografía 115

Anexos 118

Índice de tablas

Tabla 1. 21

Tabla 2. 21

Tabla 3. 22

Tabla 4. 22

Tabla 5. 23

Tabla 6. 24

Tabla 7. 25

Tabla 8. 26

Tabla 9. 36

Tabla 10. 40

Tabla 11. 41

Tabla 12. 45

Tabla 13. 45

Tabla 14. 46

Tabla 15. 48

Tabla 16. 52

Tabla 17. 53

Tabla 18. 57

Tabla 19. 57

Tabla 20. 59

Tabla 21. 64

Tabla 22. 65

Tabla 23. 69

Tabla 24. 72

Tabla 25. 77

Tabla 26. 81

Tabla 27. 86

Tabla 28. 102

Tabla 29. 102

Tabla 30. 103

Tabla 31. 105

Tabla 32. 107

Tabla 33. 108

Tabla 34. 109

Índice de figuras

Figura 1. Camino empedrado de la empresa Valleflor 17

Figura 2. Scooter cargo 19

Figura 3. Tricimoto 20

Figura 4. Método de áreas tributarias. Estructura simplemente apoyada. 28

Figura 5. Ballesta con varias hojas. 34

Figura 6. Ballesta con hoja única. 35

Figura 7. Muelle helicoidal KLR 650 37

Figura 8. Dimensiones de la motocicleta 41

Figura 9. Estructura ensamblada en la moto 42

Figura 10. Proceso de realización del presente trabajo 43

Figura 11. Diagrama de cuerpo libre estructura 48

Figura 12. Diagrama de cuerpo libre del perno 49

Figura 13. Suspensión caso 1 55

Figura 14. Estructura con dos ruedas. 56

Figura 15. Bosquejo de estructura doble llanta. 56

Figura 16. Diseño de ballestas. 59

Figura 17. Ensamble de ballestas 60

Figura 18. Ensamble de pasadores superiores. 60

Figura 19. Ensamble de pasadores de ballestas. 61

Figura 20. Ensamblaje completo elementos primarios. 61

Figura 21. Ensamblaje de perfiles que soportaran los ejes. 62

Figura 22. Placa superior. 62

Figura 23. Ensamble para la simulación 63

Figura 24 Mallado del ensamble 64

Figura 25. Condiciones de contorno para simulación. 66

Figura 26. Restricciones al ensamble 66
Figura 27. Condiciones de contorno e iniciales 68
Figura 28. Condiciones de contorno e iniciales 69
Figura 29. Restricciones fijas simulación dinámica 70
Figura 30. Mallado del elemento simulación dinámica 71
Figura 31. Grafica de convergencia simulación 1 73
Figura 32. Desplazamiento nodal con acero AISI 4118 74
Figura 33. Punto de mayor esfuerzo simulación 1 75
Figura 34. Fuerza de reacción 75
Figura 35. Punto de influencia de la fuerza máxima simulación 1 76
Figura 36. Esfuerzos y deformación en la base de las ballestas 77
Figura 37. Gráfica de convergencia simulación 2 78
Figura 38. Desplazamiento Nodal estructura con acero AISI 4130 79
Figura 39. Esfuerzo elemental 79
Figura 40. Punto de máximo esfuerzo simulación 2 80
Figura 41. Fuerza de reacción 80
Figura 42. Punto de injerencia de la fuerza máxima de reacción 81
Figura 43. Gráfica de convergencia simulación 3 82
Figura 44. Desplazamiento Nodal simulación con AISI 4340 83
Figura 45. Esfuerzo elemental simulación 3 83
Figura 46. Máximo esfuerzo base ballesta simulación 3 84
Figura 47. Fuerza de reacción 85
Figura 48. Fuerza de reacción simulación 3 85
Figura 49. Tensión alterna VS número de ciclos 87
Figura 50. Primera simulación dinámica de fatiga. 88
Figura 51. Tensión VS número de ciclos simulación dinámica 2 88

Figura 52. Simulación dinámica de fatiga vida util total de la estructura 89

Figura 53. Fuerza de reacción en la base de las ballestas 91

Figura 54. Fuerza de reacción bases de las ballestas 92

Figura 55. Método de las áreas tributarias 93

Figura 56. Diagrama de cuerpo libre carga distribuida 96

Figura 57. Determinación de momentos 96

Figura 58. Tramo AB 98

Figura 59. Tramo BC 99

Figura 60. Tramo CD 99

Figura 61. Diagrama de todas las reacciones actuantes 100

Figura 62. Diagrama de cortantes 100

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Constante elástica aproximada de la ballesta 35

Ecuación 2. Factor de amortiguamiento crítico 36

Ecuación 3. Momento máximo producido por la fuerza cortante. 50

Ecuación 4. Esfuerzo cortante máximo. 50

Resumen

El propósito de este proyecto es de seleccionar y diseñar a través de la simulación estática lineal en Siemens NX, una estructura adaptable a una motocicleta de cilindraje de 200cc para convertirla en un medio de trabajo cuyo fin será el de transportar flores dentro de la finca propiedad de ValleFlor cuyo interior está compuesto por caminos de tercer orden desde el área administrativa hasta el área de cultivo de flores. La distancia que el vehículo tendrá que recorrer es de 3 kilómetros de largo de ida y vuelta varias veces en su rutina diaria de trabajo. Las condicionantes de diseño impuestas por la empresa antes mencionada son que debe soportar 300kg de peso y no exceder los 1,50 metros de ancho, debido a las estrechas vías de comunicación dentro de la finca de ValleFlor mismas que no exceden los 2 metros de ancho.

Al analizar, calcular y simular el diseño de la estructura, se determinó que la mejor opción es la de 4 ruedas con suspensión de ballestas únicas en cada una de sus ruedas, debido a que de esa manera posee mejor resistencia al peso suministrado, siendo más estable y llegando a la conclusión que el acero AISI 4118 es el material más apropiado para su posterior construcción debido a que es el que menor desplazamiento nodal posee, es decir el que menor deformación tiene en las varias simulaciones realizadas.

Palabras claves: Diseño estructural, Cálculo de estructuras, Motocicleta, simulación computacional.

Abstract

The purpose of this project is to design through the realization of a linear static simulation in Siemens NX, a structure with four wheels adaptable to a motorcycle whose cylinder capacity is 200cc to turn it into a working medium whose purpose will be to transport flowers inside the estate owned by ValleFlor whose interior is composed of third order roads from the administrative area to the flower growing area. The distance that the vehicle will have to travel is 1 kilometer long in its daily work routine. The design constraints imposed by the aforementioned company are that it must support 300kg of weight and not exceed 1.50 meters in width, due to the narrow communication channels within the ValleFlor farm itself that do not exceed two meters in width , the simulation of the structure will be carried out in a static state using the aforementioned conditions.

Introducción

Antecedentes

La motocicleta a lo largo de los años ha sufrido cambios en su estructura y motor, mismos que han dependido de la demanda de la sociedad en determinadas épocas. Por supuesto, la evolución tecnológica que la ha acompañado ha sido muy importante en el proceso de cambio (Paz, 2008).

Hoy en día debido a la reducción en la producción y exportación petrolera, el Ecuador está enfocado en desarrollar otros productos destinados a la exportación, al momento en el país la industria de las flores está en desarrollo, siendo en el primer trimestre del 2017, el 45% de las flores exportadas fueron a Estados Unidos siendo el primer importador de flores ecuatorianas, en segundo lugar se encuentra la Unión Europea registrando un aumento del 19% y en tercer lugar se encuentra Rusia con el 16% de las importaciones los tipos de flores más demandados por los tres mercados antes mencionados son las rosas en primer lugar con un 77% de demanda, seguidas de flores de verano con un 10.2% además de clavel y lirio con 1.6% y 0.7% respectivamente (Campos, 2017).

El medio de producción de flores en el Ecuador se lo hace en fincas donde se cultivan, transportan y empacan para su respectiva exportación. El medio de transporte usado para moverlas de una etapa a otra son en su mayoría tricimotos, vehículos no diseñados para tal fin. Al estos no estar concebidos para transportar carga y funcionar en caminos de tercer orden, sufren desgaste en sus componentes móviles tales como: bujes de las ruedas y rodamientos en general. Por lo tanto, se requiere diseñar una estructura

acoplada a una motocicleta con una capacidad de carga de 300kg y un ancho reducido debido a las vías de comunicación interna en las fincas florícolas.

En el presente estudio se propone diseñar una estructura adaptable a una motocicleta para convertirla en un vehículo de trabajo para el transporte de carga de flores, necesidad de la empresa Flores Del Valle.

Justificación

Actualmente en el país, la actividad florícola se la realiza dentro de fincas en áreas rurales de la serranía ecuatoriana, al ser por el momento un proceso no industrializado en su totalidad, el transporte de flores de etapa a etapa se lo hace precariamente en tricimotos adaptadas que no cumplen especificaciones de seguridad.

La empresa ValleFlor usa tricimotos adaptadas para transportar las flores que ellos producen. Al no tener estos vehículos una estructura dotada con suspensión, las flores llegan con daños al centro de empaque obligando a la empresa a dejarlas para el consumo nacional catalogándolas como no exportables, decisión que causa incontables pérdidas a la empresa. Aparte estos vehículos precariamente adaptados sufren desgaste en sus elementos estructurales debido a la vibración que produce el transitar sobre piedras existentes en el camino como se muestra en la figura 1. Por lo tanto, se requiere diseñar una estructura acoplable a una motocicleta con capacidad de carga de 300kg y un ancho de 1,50m debido a que las vías de comunicación en la finca no sobrepasan los 2m de ancho.

Figura 1. Camino empedrado de la empresa Valleflor

Problema

Para transportar flores en el medio de producción y exportación nacional, no existen remolques acondicionados para el transporte del producto de cultivo de una etapa a otra que estén dotados de suspensión que permita absorber las vibraciones producidas por el tránsito en caminos empedrados, para que las flores no resulten dañadas desde el cultivo hasta el embalaje. Actualmente, los vehículos que cumplen con dicha labor son adaptaciones de tricimotos con elongaciones precariamente elaboradas lo que causa daños en diversas partes del mismo además de la ausencia de repuestos para múltiples reparaciones requeridas. Debido a que las vías de comunicación entre etapas son estrechas, se requieren remolques con un ancho adecuado que además de soportar carga, puedan circular libremente en los interiores de la finca. Por esta razón se requiere diseñar una estructura para acoplarla a una motocicleta que permita soportar carga además de resistir caminos de tercer orden y que cumpla con un ancho adecuado para transitar en los interiores de la finca.

Objetivo general

Diseñar una estructura adaptable a una motocicleta con motor 200 cc usando software de simulación mecánica para transportar 0.3 toneladas de peso en flores dentro de la empresa ValleFlor.

Objetivos específicos

1. Seleccionar el material que se empleará en el marco estructural del remolque adaptable a la motocicleta realizando tres simulaciones con diferentes materiales de características mecánicas similares para determinar el mejor.
2. Establecer puntos de anclaje en la motocicleta aptos para albergar la extensión que servirá de remolque para carga mediante la medición del chasis de la motocicleta seleccionada.
3. Seleccionar el tipo de estructura más adecuada estableciendo posibles bocetos para ser instalados al chasis de la moto.
4. Utilizar análisis estático de cargas para confirmar los resultados del diseño y simulación por software computacional para tener una visión fiable del diseño del conjunto.
5. Determinar mediante la simulación dinámica, la cantidad de ciclos que resistirá la estructura antes de su falla para determinar el elemento que se dañará primero.

Estado del Arte

Remolques para motocicletas

Generalmente desde su aparición, las motocicletas se han caracterizado por ser ligeras y su ventaja frente a los vehículos siempre ha sido que caben en espacios reducidos y además más agiles que los mismos. Las necesidades de la sociedad han ido

cambiando exigiendo a las motocicletas aún más, con la aparición del sidecar, la motocicleta añade una rueda extra permitiéndole llevar un pasajero adicional o simplemente carga a un costado. Con la popularización de los viajes en motocicletas, un sinnúmero de acoples han sido idealizados muchas veces empíricamente sea para transportar carga o pasajeros.

Tipos de estructuras en una motocicleta

Scooter de tres ruedas

Consiste en una modificación a un scooter tradicional, proporcionándole de una carrocería con asientos de vehículo tanto para el conductor en la parte delantera y para los pasajeros en la parte posterior, la carrocería en su parte posterior, consta de dos ruedas con suspensión de ballestas y un diferencial para la transmisión. (Mukherjee, Mohan, & Gawade, 2007).

Figura 2. Scooter cargo

En su artículo científico titulado “Taxi de tres ruedas: un análisis a la seguridad”, los autores Mukherjee, Mohan y Gawade, analizan aspectos como: Posición del motor, estabilidad, seguridad de los pasajeros en caso de choque y la mejor distribución de asientos en su interior para garantizar una correcta distribución del peso, a través de varias simulaciones y diversos análisis, proponen diversas modificaciones ya que en caso de colisión los integrantes del vehículo resultarían gravemente dañados.

Tricimoto

Similar al modelo anteriormente expuesto, con la diferencia que se tiene una motocicleta tradicional como medio motriz para el conjunto siendo este, más alargado y más alto, sin carrocería de protección para el conductor y con un cajón en la parte posterior para carga solamente (Cultural S.A.).

Figura 3. Tricimoto

En lo que concierne a motocicletas con estructuras de carga en la parte posterior el autor Chawalit Tipagornwong, analiza la efectividad de este tipo de vehículo en el reparto de correo en las ciudades puesto que considera que el tráfico en las grandes ciudades es un problema. Analiza variables como estabilidad, capacidad de carga, maniobrabilidad en el tráfico, capacidad de parqueo y sobre todo seguridad en caso de accidente de tránsito.

En su artículo científico, Azadeh Zandieh analiza el comportamiento dinámico matemáticamente de un vehículo motorizado de tres ruedas, estudiando la fiabilidad del mismo en altas velocidades y maniobras dentro de ciudades, la particularidad de este estudio, es que, el autor hace un análisis del ángulo de camber puesto que se trata de un vehículo con dos ruedas adelante y solo una posterior, lo que implica mayor esfuerzo en curvas puesto que las ruedas deben inclinarse para que el automotor pueda curvar.

Materiales utilizados para la construcción de estructuras

AISI 4118

Usado comúnmente para la elaboración de estructuras, en el mercado se encuentran de diferentes espesores de pared, lo que hace que este acero sea el más usado en todo tipo de aplicaciones automotrices, sea para la elaboración de chasis o para la elaboración de guardachoques o implementos de seguridad en el vehículo. A continuación, en la tabla 1 se puede apreciar la composición del acero en mención (Dipac, 2019).

Tabla 1.

Composición acero AISI 4118

Grado SAE	**%Cr**	**%Mo**	**%C**	**%Mn**	**%P (max)**	**%S (max)**	**%Si**
4118	0.40-0.60	0.08-0.15	0.18-0.23	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35

En el presente estudio, se utilizará este material en una simulación estática de una estructura anclable a una motocicleta por lo que a continuación se enlistan las propiedades mecánicas del acero AISI 4118 en la tabla 2.

Tabla 2.

Propiedades mecánicas AISI 4118

AISI 4118	
Densidad	**7.85 g/cc**

Módulo de elasticidad	**205GPa**
Módulo de corte	**80GPa**

AISI 4130

De similares características que el acero presentado anteriormente, usado para la construcción de estructuras de viviendas, vehiculares, crashbars, cuadros de bicicletas, barras de seguridad, entre otros. Tiene una elevada resistencia al deslizamiento en caliente y no presenta fragilidad de revenido (Dipac, 2019). En la tabla 3 a continuación se presenta la composición química del acero AISI 4130.

Tabla 3.

Composición acero AISI 4130

Grado SAE	**%Cr**	**%Mo**	**%C**	**%Mn**	**%P (max)**	**%S (max)**	**%Si**
4130	0.80-1.10	0.15-0.25	0.28-0.33	0.40-0.60	0.035	0.040	0.15-0.35

Este material será usado para la segunda simulación por lo que a continuación se muestra en la tabla 4 las propiedades mecánicas del mismo.

Tabla 4.

Propiedades mecánicas AISI 4130

AISI 4130

Densidad	**7.87 g/cc**
Módulo de elasticidad	**198GPa**
Módulo de corte	**76GPa**

AISI 4340

Acero estructural de similares características que sus predecesores, utilizado generalmente para construcción de estructuras arquitectónicas como techos, soportes, columnas, entre otros, extendiéndose su uso hacia el sector automotriz empleándose generalmente en cajones y guardachoques. En la tabla 5 se ilustra la composición química del acero 4340.

Tabla 5.

Composición acero AISI 4340

Grado SAE	**%Cr**	**%Mo**	**%C**	**%Mn**	**%Si**
4340	0.80-1.10	0.20-0.30	0.38-0.43	0.60-0.80	0.15-0.30

Para la tercera simulación este material será usado para compararlo con los otros dos anteriormente mencionados para lo cual se muestra a continuación en la tabla 6, las propiedades mecánicas del acero AISI 4340.

Tabla 6.

Propiedades mecánicas AISI 4340

AISI 4340	
Densidad	**7.85 g/cc**
Módulo de elasticidad	**192GPa**
Módulo de corte	**74GPa**

Metodologías de diseño

Hablando específicamente en diseño mecánico existen diversas metodologías a aplicar. Cabe recalcar que ninguna de las metodologías existentes aborda el problema en su totalidad y no se las debe tomar literalmente sino más bien como una guía.

DIXON

Reconoce la meta u objetivo misma que pudo haber sido asignada o por propio merito, siguen las ideas nuevas o antiguas aplicables para llegar a la meta u objetivo propuestos, una vez seleccionada la idea se la debe analizar realizando un modelo, ya sea en planos o en laboratorio, una vez hecho esto los resultados sean favorables se los debe transcribir en términos productivos (Earle, 2008).

KRICK

El problema se lo define en forma amplia y sin detalles, siguiendo del análisis del problema para ver si requiere de solución proponiendo los pasos a seguir para solucionarlo obteniendo una nueva perspectiva del problema (Earle, 2008).

EARLE

Empieza con la identificación del problema, seguido de un sinnúmero de ideas ara su resolución para poder perfeccionar o definir el problema, a continuación, se realiza el análisis de las variables para tomar una decisión para poder aceptar o rechazar el proyecto para continuar con la realización del mismo (Earle, 2008).

DIETER

En primer lugar, se reconoce la necesidad para posteriormente centrarse en la definición de un problema que nos permite recopilar información para conceptualizarla, evaluarla y comunicar el diseño realizado (Earle, 2008).

Método multicriterio Pugh

Este método es muy similar a una lista de ventajas y desventajas, este método se usa para poder evaluar de la mejor manera las opciones de diseño en el producto. Consiste en dar valor y categorizar los criterios del material a evaluar basándose principalmente en su importancia. A continuación, en la tabla 7 se describe los pasos a seguir explicando detalladamente cada uno.

Tabla 7.

Descripción método Pugh

Pasos	**Descripción**
Primer paso	Un valor debe ser asignado a cada criterio considerando su importancia, su valor es entre 1 y 3 de menor a mayor importancia

Segundo paso	Los materiales son evaluados de acuerdo a cada criterio asignando valores positivos o negativos hasta un máximo de 3
Tercer paso	Se realiza la sumatoria de valores multiplicándolos por la importancia del criterio
Cuarto paso	Finalmente se selecciona la alternativa que tenga el mayor resultado positivo

Análisis del modo y efectos de falla (AMEF)

Este análisis se lo realiza para reconocer y evaluar fallas potenciales y sus efectos, encontrar acciones que reduzcan o eliminen las probabilidades de falla. En el presente trabajo se usará un AMEF de diseño que netamente se centra en analizar componentes de diseños y se enfoca hacia los modos de falla asociados con la funcionalidad de un componente causados por el diseño (Bernal, 2013).

A continuación, se puede observar en la tabla 8 la tabla del AMEF con sus títulos explicados.

Tabla 8.
Ejemplo de tabla AMEF

Elemento / Función	Modo de fallo	Efecto	S	O	D	NPR	Acciones propuestas

En la tabla 8 expuesta anteriormente tenemos:

Elemento o función: lo que se está analizando de la estructura (Bernal, 2013).

Modo de fallo: Como se considera que el elemento va a fallar (Bernal, 2013).

Efecto: Lo que va a ocasionar en la estructura el daño ocasionado entre los cuales tenemos falla estética, funcional, de seguridad, etc (Bernal, 2013).

S (nivel de seriedad): Gravedad de fallo percibida por el usuario (Bernal, 2013).

O (nivel de incidencia): Probabilidad de que ocurra el fallo (Bernal, 2013).

D (nivel de detección): Probabilidad de no detectar el error antes de que el producto se use (Bernal, 2013).

NPR (Numero de índice de prioridad de fallo): S*O*D (Bernal, 2013).

Acciones propuestas: Que se propone para que no ocurra el fallo (Bernal, 2013).

A través de esta tabla se puede predecir los fallos y también buscar soluciones efectivas para evitarlos. Con este análisis hecho se puede proceder a realizar el diseño.

Método de áreas tributarias

El método de las áreas tributarias fue creado en un inicio para calcular las fuerzas incidentes sobre losas en arquitectura, el método consiste en analizar si la estructura esta simplemente apoyada, en voladizo o empotrada, después se analiza de acuerdo a su situación la partición de cada elemento en trapecios y rectángulos incidentes en cada viga que será el tipo de carga distribuida que tendrá en cada una, por supuesto existen métodos para la trasformación de cargas trapezoidales y triangulares en rectangulares lo que simplifica el cálculo de fuerzas incidentes sobre las vigas. En la figura 4 se muestra un ejemplo de una estructura simplemente apoyada analizada por el elemento de áreas tributarias.

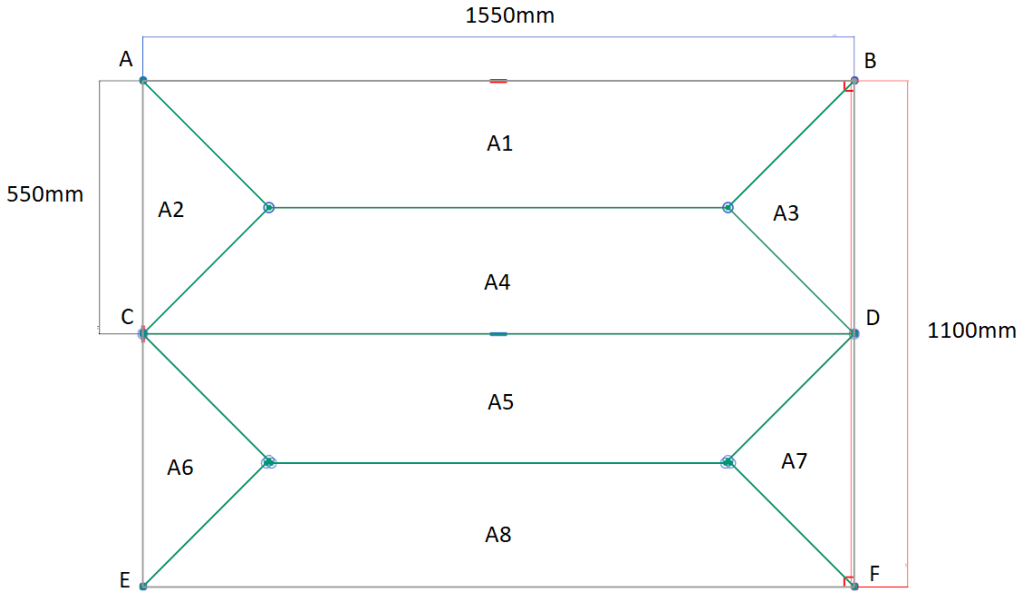


Figura 4. Método de áreas tributarias. Estructura simplemente apoyada.

Tipos de modelado 3D

En el presente estudio, el modelado 3D será usado para el diseño de todos los elementos que comprende la estructura que irá anclada a la motocicleta tales como: estructura, ballestas, pasadores, recubrimiento superior, porta ballestas. A continuación, se exponen los diferentes tipos de modelado 3D:

Modelado de sólidos

El modelado de sólidos se creó para la realización de diversos prototipos que es usado en la industria para diseño de maquinaria industrial, las ventajas que nos ofrece este tipo de modelado es que si se desea realizar una simulación CAE, la información obtenida nos será de gran utilidad (Earle, 2008).

Modelado superficial

En este tipo de modelado, los objetos son tratados como si tuvieran un espesor muy pequeño, este tipo de modelado se apoya en caras individuales las cuales se irán

juntando a medida que el diseño vaya avanzando formando un conjunto completo (Earle, 2008).

Modelado hibrido

Este tipo de modelado es una mezcla entre el modelado sólido y el de superficies por lo tanto su realización es compleja ya que, al tener componentes sólidos y superficies, se requiere que estén correctamente relacionadas entre ellas para que puedan interactuar (Earle, 2008).

Modelado alámbrico

Este modelado consiste en definir los objetos 3D mediante un esqueleto basado en líneas, puntos y curvas y no se identificarán en ningún momento las superficies, al realizar dicha operación podemos continuar con el diseño de elementos 1D, 2D y 3D de acuerdo sean los requerimientos (Earle, 2008).

En el presente estudio se usará el modelado de sólidos, empezando con la realización de croquis para posteriormente a través de la extrusión tener perfiles sólidos, este tipo de diseño fue el seleccionado ya que cumple con los requerimientos necesarios para el diseño de la estructura. Puesto que, esta está compuesta de elementos 3D ensamblados conjuntamente, este tipo de modelado es ideal, ya que permite visualizar los objetos diseñados como se verían en la vida real, haciendo del proceso de diseño lo más exacto posible.

Tipos de simulación

Modelos de simulación discretos

Modelación de un sistema en el cual el estado de las variables cambia instantáneamente en relación al tiempo (Monjelat & et Al, 2010).

Modelos de simulación continuos

Modelación de un sistema en el cual las variables cambia en grandes lapsos de tiempo (Monjelat & et Al, 2010).

Modelos de simulación Discreta-Continua

Modelación de un sistema en el cual ciertas variables cambian continuamente con respecto al tiempo y otras cambian instantáneamente en momentos separados de tiempo (Monjelat & et Al, 2010).

Modelos de simulación estáticos

Simulación de un conjunto de piezas o pieza en un momento en el cual esta estático, es decir sin la injerencia de fuerzas externas que hagan cambiar su estado (Rojas, 2013).

Modelos de simulación dinámicos

Simulación de un conjunto de piezas o pieza el cual cambia a través del tiempo mostrando la evolución desde el principio hasta el final (Monjelat & et Al, 2010).

Modelos de simulación determinísticos

Es el que no considera ninguna variable importante, dando mayor interés a una ley probabilística (Monjelat & et Al, 2010).

Modelos de simulación estocásticos

Se modelan a partir de un componente aleatorio de entrada, es decir se toma una variable aleatoria para iniciar su modelado (Monjelat & et Al, 2010).

El tipo de simulación a emplearse en el presente estudio será el modelo estático, puesto que la estructura tendrá condiciones de contorno que hagan que esta permanezca en estado estático debido a la no aplicación de fuerzas externas que hagan que esta cambie de ese estado. Las condiciones de contorno a emplearse serán restricciones fijas y solamente una fuerza que se ejercerá paralelamente a la superficie de la estructura analizando así el comportamiento de los elementos de la estructura con relación al peso que esta soportará.

Tipos de mallado

Mallado 1D

Este tipo de mallado hace que el elemento solido se transforme en un elemento 1D, simplificando su geometría, este tipo de mallado transforma el sólido en líneas que pasan por el centro de los perfiles, se usa generalmente para análisis de vigas o ensambles rectilíneos simples que están sometidas a esfuerzos (Morcillo, 2000).

Mallado 2D

Este tipo de mallado hace de un sólido una superficie plana, en forma de cascara, este tipo de mallado omite los grosores de los perfiles únicamente manteniendo la forma de los mismos para simularlos (Casajús, 2012).

Mallado 3D

Este tipo de mallado usa la geometría del diseño original del ensamble o elemento a simular, este mallado considera espesor de tuberías o vigas, permitiéndonos realizar más fácilmente el análisis de ensambles con geometrías complejas (Morcillo, 2000).

El tipo de mallado que será usado en el presente estudio será el mallado 3D ya que, al tratarse de un ensamble, se necesita que la geometría original del cuerpo se mantenga en todo momento, al cumplir este requerimiento, será más fácil colocar las condiciones de contorno, ya que se puede apreciar que elementos serán restringidos de acuerdo a las necesidades que la simulación lo requiera, es decir, se podrán analizar de mejor manera que restricciones que mejor se acoplen al diseño realizado.

Convergencia

El método de los elementos finitos consiste en generar una malla sobre el objeto que se desea analizar, a continuación, con una serie de iteraciones de cálculos se trata de llegar a la solución, el método consiste en la realización de una matriz de operaciones que conforme su respuesta se aproxime al mismo valor se dice que esta ha llegado a la convergencia, es decir a la obtención del mismo valor o similar conforme las iteraciones vayan avanzando (Liberman, 1995).

Software de simulación

Hoy en día la tecnología avanza a pasos agigantados permitiendo realizar planos, bosquejos 3D, simulaciones y cálculos sin la necesidad de levantarse del computador. En el caso del presente estudio se utilizará el programa de Siemens NX, plataforma la cual permite realizar el diseño y simulación con cargas o fuerzas externas, permitiéndonos realizar un análisis de deformaciones y fuerzas de reacción incidentes en la estructura a partir de la implementación de una carga.

Sistemas de suspensión

La función principal del sistema de suspensión es de absorber las vibraciones ocasionadas por las irregularidades del terreno sean estas piedras, baches, rompe velocidades, de tal manera que el remolque este estable permitiendo seguridad al pasajero y a la carga que transporta no resulte en caídas o dañada.

Ballestas:

Son láminas de acero forjado unidas entre sí con una abrazadera en forma de u, generalmente constan de varias hojas, el número de estas depende de la capacidad de carga que tendrá el diseño además que el tipo empleado.

Tipos de ballestas:

Transversal: Se usan como amortiguación en carruajes, la ballesta va montada desde el eje delantero al posterior (Paz, 2008).

Elípticas: Estas se sujetan al chasis en su extremo o parte del arco superior, mientras que el arco inferior se conecta al eje (Salinas, 2011).

Semi-elípticas: Estas constan de un solo arco que no requiere ningún componente de amortiguación adicional (Fremap, 2016).

Elípticas de un cuarto: Estos muelles se los encuentra comúnmente en los chasis tipo escalera donde la parte más gruesa de las hojas se ubica en la parte posterior del chasis y su extremo se coloca en el diferencial (Paz, 2008).

Elíptica de tres cuartos: Este tipo de suspensión es muy rígida sin carga posterior, a medida que la carga aumenta esta se vuelve más suave (Paz, 2008).

Parabólica: Este tipo de suspensión usa una menor cantidad de hojas haciendo que se elimine la fricción debido a que solo tienen contacto en el centro (Koona , K, Kusum, & Manoj, 2005).

Las ballestas de suspensión pueden estar comprendidas entre varias hojas o solo una hoja dependiendo de las consideraciones de diseño y el trabajo al cual estas serán sometidas. En la figura 5 se observa una ballesta con hojas múltiples, y en la figura 6 se observa una ballesta de hoja simple.

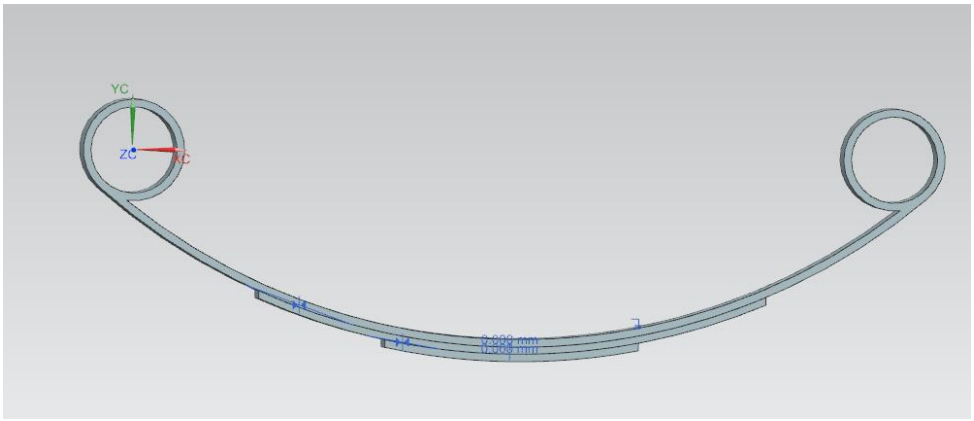


Figura 5. Ballesta con varias hojas.

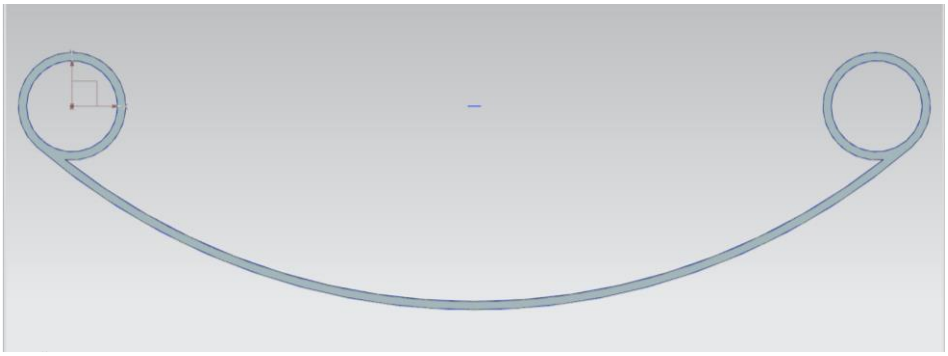


Figura 6. Ballesta con hoja única.

Fórmulas utilizadas en el cálculo de las ballestas

Constante elástica aproximada de la ballesta, k.

La constante elástica es la medición de cada uno de los parámetros físicos que caracterizan el comportamiento de un sólido elástico, en este caso refiriéndose concretamente a las ballestas, la constante elástica (k) involucra parámetros como número de hojas, su ancho, el módulo de elasticidad del material, entre otras. La ecuación número 1 demuestra los parámetros antes expuestos (Cascajosa, 2015).

Ecuación 1. Constante elástica aproximada de la ballesta

$$k = \frac{1}{3} NhEbh\left(\frac{th}{Lh}\right)^3 \quad (1)$$

Dónde:

k: Constante elástica

Nh Numero de hojas

E: Modulo de elasticidad de las hojas de acero

bh: Ancho de las hojas

mth: Espesor de las hojas

Lh: Longitud de las ballestas

Factor de amortiguamiento crítico

El factor de amortiguamiento crítico es la forma más rápida de aproximar a 0 la amplitud en la oscilación de un elemento de amortiguación, la amortiguación crítica ocurre cuando el coeficiente de amortiguación es igual a la frecuencia de resonancia del amortiguador. En la ecuación número 2 esta expresada la fórmula para obtener dicho factor (Cascajosa, 2015).

Ecuación 2. Factor de amortiguamiento crítico

$$Cc = 2 * \sqrt{k * m} \quad (2)$$

Dónde:

k: Constante elástica de la ballesta

m: Carga de la ballesta

Material usado para la construcción de las ballestas

Tabla 9.

Propiedades SAE AISI 9260

AISI 9260	
Densidad	**7.85 g/cc**
Módulo de elasticidad	**200GPa**
Módulo de corte	**80GPa**

Muelles helicoidales

Son empleados en la suspensión de la mayoría de vehículos modernos por su gran efectividad y tamaño, presentando grandes ventajas para la suspensión independiente de ruedas, su uso empezó como una alternativa de reemplazo para las ballestas semielípticas, a continuación, se presenta en la figura 7 un muelle helicoidal (Paz, 2008).

Figura 7. Muelle helicoidal KLR 650

Amortiguadores hidráulicos

Estos pueden ser giratorios, telescópicos o de pistón y aunque todos los anteriormente mencionados se basan en el mismo principio de funcionamiento, hoy en dia tenemos solo los telescópicos por simplicidad y precio. Los amortiguadores telescópicos se componen de dos tubos concéntricos y el vástago creando tres cámaras en su interior. Cuando la suspensión se comprime hace que el aceite entre en dichas cámaras amortiguando la contracción y así mismo el estiramiento.

Método

En el presente trabajo se usará la metodología de diseño mecánico DIETER que consiste en reconocer una necesidad, que en este caso, la empresa Flores Del Valle requiere un medio de transporte fiable, es decir que trasporte las flores dentro de la finca, para que las mismas pasen de una etapa a otra según el proceso de producción y exportación lo requiera, la definición del problema viene dada por la ausencia de una estructura de carga que soporte 300kg de peso y que permita ser anclada a una motocicleta, para lo cual se investigaron diversos artículos científicos que proporcionarán una idea para el diseño, posteriormente se evaluarán todos los componentes que comprenden la estructura a través de la simulación computacional para luego validar dichos resultados matemáticamente usando un modelo de análisis estático de cargas.

La metodología deductiva también estará presente puesto que se partirá de una serie de premisas y principios ya establecidos como son las medidas del chasis de la motocicleta, a partir de ellas se realizarán los posibles bosquejos de estructuras aptas para anclar a la motocicleta. La validación de resultados de la simulación obtenida será realizada por análisis estático de cargas puesto que la simulación será realizada en condiciones estáticas, analizando puntos principales como son las fuerzas de reacción obtenidas en las bases de las ballestas a partir de la implementación de una carga superior de la estructura.

Se usará la metodología computacional con el uso del software Siemens NX 10, plataforma que permite diseñar la estructura (CAD) y aparte de eso realizar análisis en los esfuerzos de estructuras sometidas a cargas por el método de elementos finitos

(MEF). La simulación a realizarse tendrá un mallado 3D ya que, al tratarse de un ensamble, se necesita que la geometría original del cuerpo se mantenga en todo momento, al cumplir este requerimiento, será más fácil colocar las condiciones de contorno ya que, se puede apreciar que elementos serán restringidos de acuerdo a las necesidades que la simulación lo requiera, es decir, se podrán analizar de mejor manera las restricciones que mejor se acoplen al diseño realizado.

Los tipos de simulación a emplearse en el presente estudio serán de tipo estático y dinámico. La simulación estática se realizará con condiciones que hagan que esta permanezca en estado de reposo debido a la no aplicación de fuerzas externas que hagan que esta se mueva, las condiciones de contorno a emplearse serán restricciones fijas y solamente una fuerza que se ejercerá perpendicularmente a la superficie de la estructura analizando así el comportamiento de los elementos de la estructura con relación al peso que esta soportará. La simulación dinámica se hará de manera comprobatoria para poder ratificar la duración de los componentes de la estructura en condiciones de tránsito en un camino de tercer orden. En el caso de la simulación dinámica, las condiciones de contorno a emplearse serán restricciones fijas en la parte superior de la estructura y una fuerza que ira aplicada en la parte baja de la misma simulando esfuerzos que recibirá la estructura transitando por un camino de tercer orden. Posteriormente se realizarán bosquejos de posibles estructuras a realizar para determinar cuál es la más viable en términos de facilidad de anclaje y de facilidad de construcción, procesos que se evaluaran con el método multicriterio y con las consideraciones de diseño, una vez seleccionado el mejor modelo posible de la estructura se realizará el diseño en software computacional continuando con la simulación de la estructura a partir del sometimiento a condiciones de contorno a la estructura, es decir aplicando la fuerza de (300kg) y

colocando restricciones fijas. Posteriormente se validarán los resultados obtenidos en la simulación con un análisis estático de cargas buscando la fuerza de reacción que actuará sobre las bases de las ballestas como consecuencia de la fuerza aplicada en la parte superior de la estructura para constatar que el proceso de diseño y simulación computacional fue realizado con éxito.

Principios de diseño

Dimensiones de la motocicleta

Para este estudio se utilizó una motocicleta marca Motor 1, modelo Trail y cilindraje 200cc, la cual se midió con los parámetros que se exponen a continuación en la tabla 10.

Tabla 10.

Mediciones Motor 1 Trail

Motor 1 Trail 200cc	
Largo total de la moto	200 cm
Ancho de la moto	30 cm
Distancia entre ejes de ruedas	140 cm
Distancia entre ejes del basculante	58 cm

A continuación, en la figura 8 se ilustran las distancias medidas para mejor comprensión de los términos empleados en la tabla anterior.

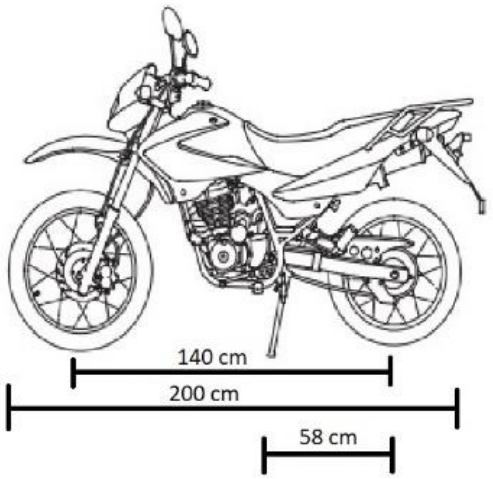


Figura 8. Dimensiones de la motocicleta

Análisis del modo de efecto y de falla (AMEF)

El análisis de modo de efecto de falla o por sus siglas (AMEF) se realizó tomando en cuenta los puntos de mayor posibilidad de fallo como se enumeran en la tabla 11 a continuación.

Tabla 11.

Tabla AMEF

Elemento / Función	Modo de fallo	Efecto	S	O	D	NPR	Acciones propuestas
Pivotes móviles ballestas	Que se rompan	Funcional	7	2	1	14	Aplicando pruebas de calidad antes del ensamble.
Pernos de sujeción pivotes	Que se aflojen	Funcional	7	1	1	7	Utilizando torquímetros durante el ensamblaje.
Pernos de sujeción ballestas	Que se aflojen	Funcional	6	2	1	12	Utilizando torquímetros durante el ensamblaje.
Ballestas	Que se rompan	Funcional	8	2	1	16	Aplicando pruebas de calidad antes del ensamble.
Abrazaderas de sujeción ballestas	Que se rompan	Funcional	9	3	1	27	Aplicando pruebas de calidad antes del ensamble.

Sujeción

Para la forma de sujeción de la estructura con la motocicleta se pensó con parantes soldados al chasis de la moto puesto que la estructura y la motocicleta cuentan con suspensión independiente no se necesitan pivotes móviles como anclajes. A continuación, en la figura 9 se ilustra cómo sería una vez ensamblada la estructura en la motocicleta.

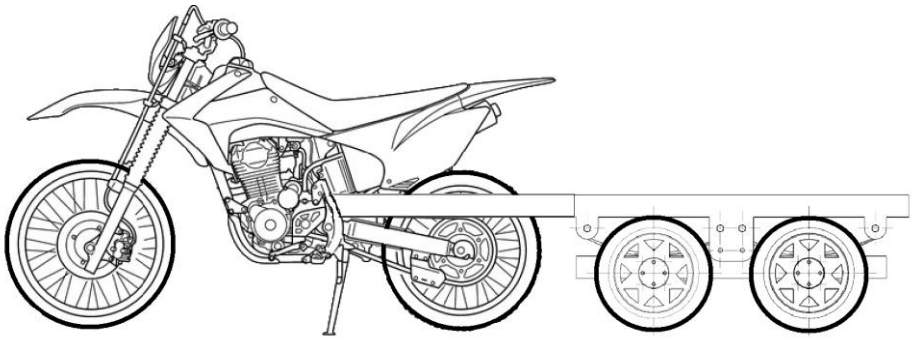


Figura 9. Estructura ensamblada en la moto

A continuación, en el siguiente diagrama, se ilustra el proceso a seguir en este trabajo.

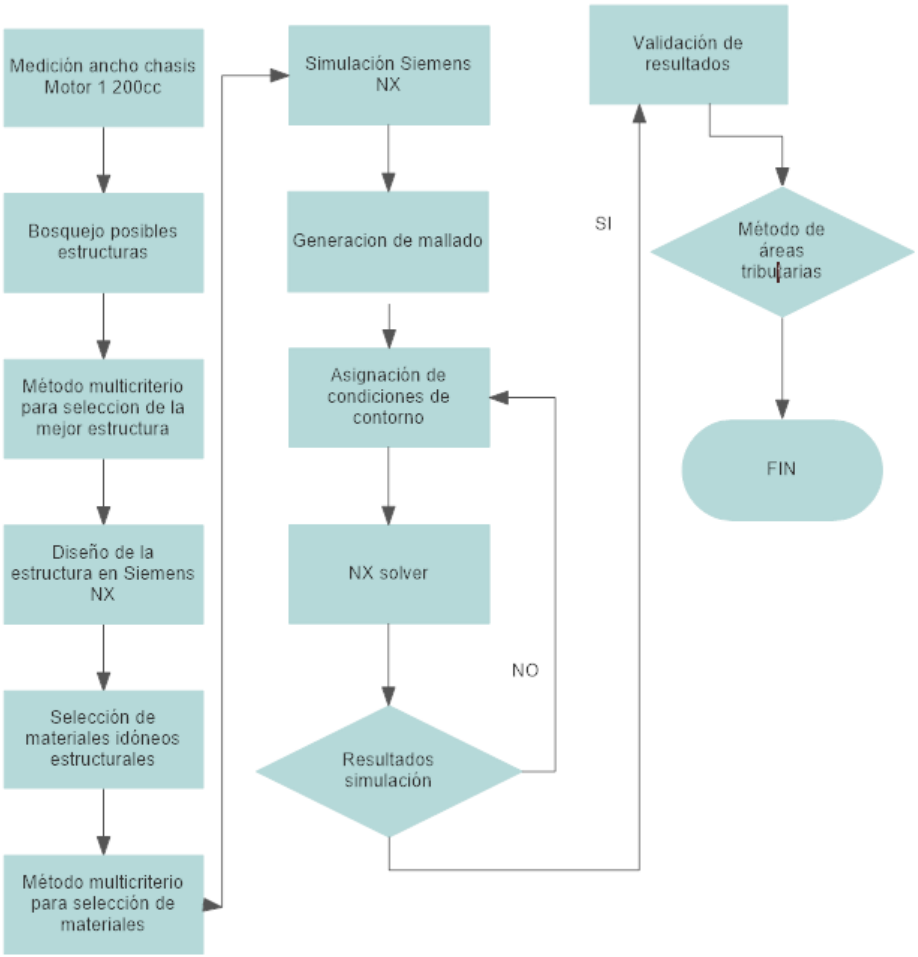


Figura 10. Proceso de realización del presente trabajo

Material utilizado

Los materiales escogidos serán analizados utilizando el método multicriterio Pugh basándose principalmente en parámetros como: densidad, disponibilidad en el mercado y módulo de corte. La importancia de los parámetros dichos anteriormente se ilustra a continuación.

Densidad

Su importancia recae principalmente en el peso del material y por ende en el peso que tendrá la estructura, al ser esta remolcada por una motocicleta, el peso es un factor importante a considerar.

Disponibilidad en el mercado

En el caso de construirse la estructura, se requiere que esta sea con materiales de fácil acceso ya que algunos son importados dificultando el proceso de construcción. Por esta razón se requiere materiales locales.

Módulo de corte

Su importancia recae al momento del análisis estructural en la simulación mecánica puesto que al ser una estructura que estará sometida a una carga determinada, se requiere elementos compuestos de un material con un módulo de corte elevado para evitar cizalladuras en los agujeros pasantes de los ejes y pivotes de ballestas.

Criterios como la soldabilidad y la dureza de cada uno de los materiales no será considerado en este análisis puesto que los tres materiales al ser similares, no poseen diferencia considerable en los dos factores antes mencionados.

En la tabla 12 se muestran los materiales que han sido escogidos para comparar sus características principalmente, densidad, disponibilidad en el mercado, precio y módulo de corte.

Tabla 12.

Características de los materiales previamente escogidos.

Material	Densidad	Módulo de elasticidad	Módulo de corte	Disponibilidad en el mercado
AISI 4118	7.85 g/cc	205GPa	80 GPa	Inmediata
AISI 4130	7.87 g/cc	198 GPa	76GPa	Bajo pedido
AISI 4340	7.85 g/cc	192GPa	74GPa	Bajo pedido

A cada material se le asignará un código para su mejor clasificación en la matriz de ponderación como se observa en la Tabla 13.

Tabla 13.

Materiales seleccionados

Material	**Código**
AISI 4118	A
AISI 4130	B
AISI 4340	C

A continuación, en la tabla 14 se muestra la matriz de ponderación con los criterios de clasificación de los materiales presentados y sus respectivas valoraciones.

Un valor debe ser asignado a cada criterio considerando su importancia, su valor es entre 1 y 3 de menor a mayor importancia, los materiales son evaluados de acuerdo a cada criterio asignando valores positivos (+) o negativos (-) hasta un máximo de 3, se realiza la sumatoria de valores multiplicándolos por la importancia del criterio y finalmente se selecciona la alternativa que tenga el mayor resultado positivo.

Tabla 14.

Matriz de ponderación de criterios

Criterio de selección	**Valor**	**A**	**B**	**C**
Densidad	3	++	++	+
Disponibilidad	3	++	+	+
Módulo de corte	2	++	+	-
Sumatoria (+)		16	11	6
Sumatoria (0)		0	0	0
Sumatoria (-)		0	0	1
Resultado		16	11	5
Decisión final		OK		

De acuerdo a la matriz anteriormente expuesta, la cual está basada en el método Pugh de selección multicriterio, el material ganador de entre las opciones analizadas, corresponde al código A el cual refleja que es el acero AISI 4118 que es el material más adecuado para la construcción de la estructura ya que es el más balanceado de entre los criterios antes expuestos.

Selección del sistema de suspensión

De entre los diferentes sistemas de suspensión explicados en el estado del arte, las ballestas fueron las seleccionadas debido a ventajas como: variedad en la forma de instalación, excelente resistencia, permite llevar cargas pesadas, disponibilidad en el mercado, entre otras.

Ballestas

En su artículo científico, Los ingenieros Ghodake y Patil analizan la fiabilidad de la utilización del acero AISI 9260 para la elaboración de ballestas al igual que estudian la factibilidad del uso de un material compuesto alternativo que iguale o supere las características del mismo. En su escrito manifiestan la facilidad del uso del método de elementos finitos para la simulación con los dos materiales, el proceso que siguen es el mismo descrito en esta tesis, se emplea el diseño en computadora para su posterior simulación (Ghodake & Patil, 2013).

Por lo expuesto anteriormente, el material escogido para las ballestas es el acero 9260, debido a su alta resistencia, pero elevada fragilidad si es que estas son sometidas a fuerzas no perpendiculares a ellas, puesto que es un material muy utilizado para muelles y elementos flexibles, diseñados para trabajar en una sola posición. Ballestas elaboradas con el material en mención, se encuentra disponible en el mercado haciendo más fácil su compra en caso de construcción de la estructura. A continuación, se ilustra en la tabla 15 las características de dicho material.

Tabla 15.

Propiedades Acero AISI 9260

AISI 9260	
Densidad	**7.85 g/cc**
Módulo de elasticidad	**200GPa**
Módulo de corte	**80GPa**

Tornillería y pasadores

Para la selección de los pernos que irán en la estructura sujetando las ballestas se procede a hacer el cálculo, la fuerza que se usa para su cálculo es la reacción obtenida en cada una de las bases del porta ballestas como se indica a continuación en la figura 11.

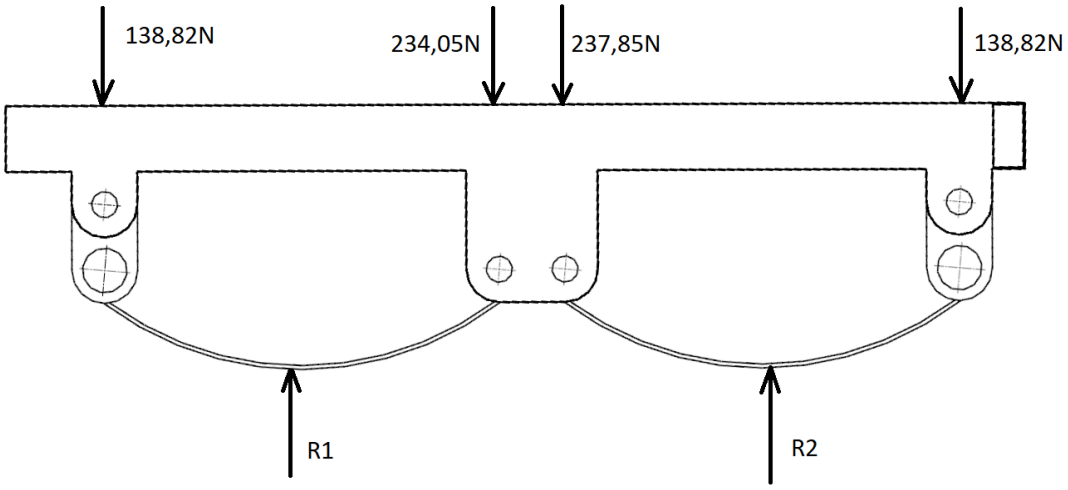


Figura 11. Diagrama de cuerpo libre estructura

$$\in Fy = 0$$

$$\in Fy = -138{,}82N - 234{,}05N - 237{,}85N - 138{,}82N + 2R1$$

$$R1 = 374{,}77N$$

Una vez obtenida la fuerza que actúa en la base de la ballesta, se usa esta fuerza para el cálculo y selección de los pernos que irán en la estructura, se comienza con un diagrama de cuerpo libre del perno. Como se indica en la figura 12.

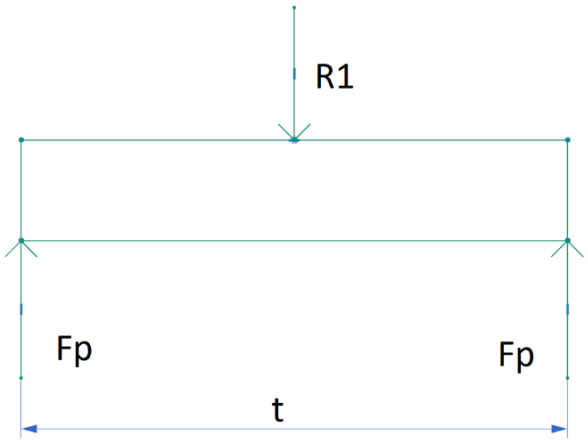


Figura 12. Diagrama de cuerpo libre del perno

$$\in Fy = 0$$

$$R1 = 2Fp$$

$$Fp = 187{,}38N$$

Dónde:

R1= 374,77N

t= longitud del perno

Fp= 187,38N fuerza cortante del perno

Utilizando la teoría de uniones no permanentes con pernos y remaches con cargas en corte, se calcula el factor de seguridad con las formulas 3,4 y 5.

Momento máximo producido por la fuerza cortante

Ecuación 3. Momento máximo producido por la fuerza cortante.

$$Mc = \frac{Fp * t}{2} \quad (3)$$

Esfuerzo cortante máximo

Ecuación 4. Esfuerzo cortante máximo.

$$\tau = \frac{Mc}{\frac{I}{C}} \quad (4)$$

Donde:

I/C: Módulo de sección

$$\frac{I}{C} = \frac{\pi * \left(\frac{d}{1000}\right)^3}{32} \quad (5)$$

Dónde:

d: Diámetro

Para la resistencia a la fluencia (Sy) del perno, la seleccionamos de la página 419, capítulo 8, tabla 8-10 del libro de Shigley 2008 seleccionando el perno A325 debido a que su resistencia a la fluencia es elevada haciéndolo ideal para la aplicación que se lo requiere.

Como se muestra en la ecuación 6 según el análisis el perno está trabajando en corte entonces se tiene que

$$Sycorte = 0{,}4 * Sy \quad (6)$$

$$Sycorte = 2{,}537 * 10^8 Pa$$

Finalmente, lo que se busca es la obtención del factor de seguridad como se muestra en la ecuación 7.

$$n = \frac{Sycorte}{\tau} \tag{7}$$

Se seleccionó el perno M20 X 1,5 X 120 para lo cual se calculará con los datos antes expuestos.

Calculando el momento de corte:

$$Mc = \frac{187{,}38N * 0{,}12}{2}$$

$$Mc = 11{,}24Nm$$

Calculando el momento de sección:

$$\frac{I}{C} = \frac{\pi * \left(\frac{20}{1000}\right)^3}{32}$$

$$\frac{I}{C} = 7{,}85 * 10^{-7}m^3$$

Para el esfuerzo cortante máximo se obtiene:

$$\tau = \frac{11{,}24Nm}{7{,}85 * 10^{-7}m^3}$$

$$\tau = 140944444{,}4\ Pa$$

Por último, el factor de seguridad del perno

$$n = \frac{2{,}537 * 10^8 Pa}{140944444{,}4\ Pa}$$

$$n = 1{,}8$$

Con un factor de seguridad de 1,8 estos pernos son los ideales para sujetar las ballestas ya que según indica la teoría en el capítulo 8 del libro de Shigley 2008, es un factor de seguridad acorde a las necesidades de diseño que además indica la durabilidad de las juntas no permanentes haciéndolas seguras. Posteriormente en la simulación se verá las reacciones y deformaciones que sufren estos elementos. A continuación, en la tabla 16 se exponen las características del acero AISI 1035 el cual es templado y revenido.

Tabla 16.

Características Acero AISI 1035

AISI 1035	
Densidad	**7.87 g/cc**
Módulo de elasticidad	**196GPa**
Módulo de corte	**76GPa**
Resistencia a la fluencia	$\mathbf{92}\boldsymbol{kpsi} = \mathbf{6,43} * \mathbf{10^8}\boldsymbol{Pa}$

Placa de recubrimiento superior

Para la plancha de recubrimiento superior se decidió realizarla del acero AISI 1010 debido a que en el mercado se encuentran planchas de este acero además de su resistencia a cargas distribuidas y facilidad de ser maquinado. En la tabla 17 se exponen sus características.

Tabla 17.

Propiedades Acero AISI 1010

AISI 1010	
Densidad	**7.87 g/cc**
Módulo de elasticidad	**205GPa**
Módulo de corte	**80GPa**

Proceso de diseño de la estructura adaptable a la motocicleta

Utilizando el método de diseño DIETER, se identificaron las posibles soluciones a los requerimientos de la empresa Flores Del Valle los cuales consisten en hacer una estructura adaptable a una motocicleta capaz de trasportar carga, a continuación, se evaluaron las posibles consideraciones de diseño que la estructura anclable a la motocicleta podría tener. En este caso surgieron tres posibles diseños estructurales que serán analizados con el método de selección multicriterio Pugh explicado en el estado del arte.

Los parámetros analizados fueron: facilidad de construcción, estabilidad y forma motriz.

Facilidad de construcción

Es un parámetro muy importante ya que, si el diseño es muy complejo o su instalación requiere de herramientas especiales, los costos de producción se elevarían y solamente podrían elaborarse en lugares con herramienta y mano de obra especializada.

Estabilidad

Como es una estructura que irá anclada a una motocicleta, se requiere que esta sea estable para que proporcione seguridad tanto al operario como a la carga al momento de su manejo y así el trabajo pueda desarrollarse en las mejores condiciones. En su artículo científico, la estabilidad en vehículos de tres ruedas, Dimitri Lurie concluye que en el caso que sean motocicletas con un remolque o con una estructura anclada a la misma, se debe prever el movimiento axial al pasar por desniveles en las vías por lo cual en el presente trabajo al realizar los diferentes casos se analizó ese aspecto.

Forma motriz

Ya que la estructura ira anclada en una motocicleta, se requiere saber cómo será la manera más eficiente y eficaz en que esta se propulse. La forma motriz en una motocicleta puede ser por cadena, cardan y banda, lo más recomendable en una motocicleta que va a llevar peso es que la tracción no sea modificada puesto que la alteración de componentes de fábrica puede resultar en un daño prematuro del sistema de tracción. A través de diversos estudios se concluye que el uso de la transmisión final en una motocicleta sea cual sea se debe mantener intacta, haciendo que esta lleve consigo la carga (Koona , K, Kusum, & Manoj, 2005).

Caso 1

Se analizó la idea de realizar una estructura que reemplace el basculante, parte posterior estructural de la motocicleta conjunto con la rueda posterior, al retirar estos componentes de la motocicleta, implica que la estructura debería tener transmisión y

suspensión para hacer posible el movimiento del ensamble. A continuación, en la figura 13 se indica el modelo pensado en el caso 1.

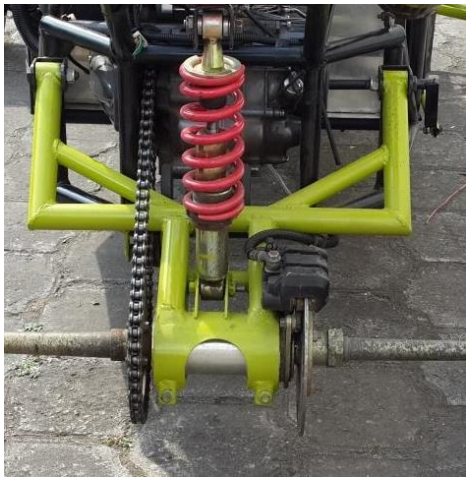


Figura 13. Suspensión caso 1

Caso 2

Como se mencionó en el estado del arte, la suspensión de ballestas es una muy buena opción debido a facilidad de instalación, disponibilidad y resistencia, se analizó la realización de una estructura soldada al chasis de la motocicleta con dos ruedas posteriores y con suspensión de ballestas, el eje que soporta las ruedas ira anclado en el medio de las ballestas usando abrazaderas, basándose en diseños clásicos de automóviles.

A continuación, en la figura 14 se muestra el diseño de la estructura utilizando los parámetros antes expuestos.

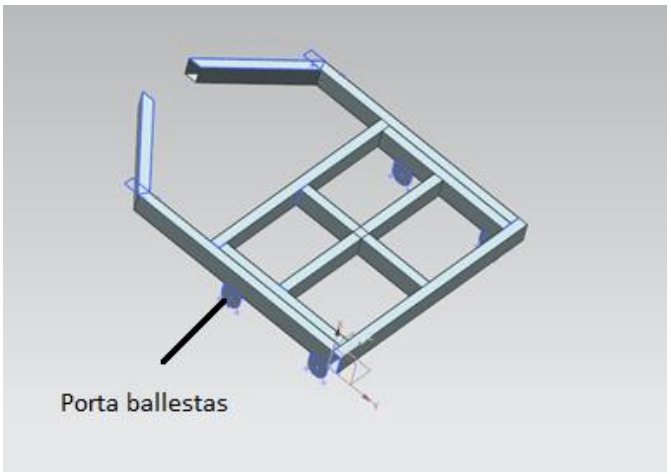


Figura 14. Estructura con dos ruedas.

Caso 3

El caso 3 consiste en el diseño de un remolque que posea cuatro ruedas desfasadas a lo largo del eje transversal, con ello la conducción será mucho más estable, además que la carga estará segura en la parte posterior. El tipo de suspensión en este caso será de 1 ballesta de hoja única independiente por cada llanta del remolque.

Por lo tanto, con las consideraciones antes expuestas se decidió el diseño de la estructura como se muestra en la figura 15.

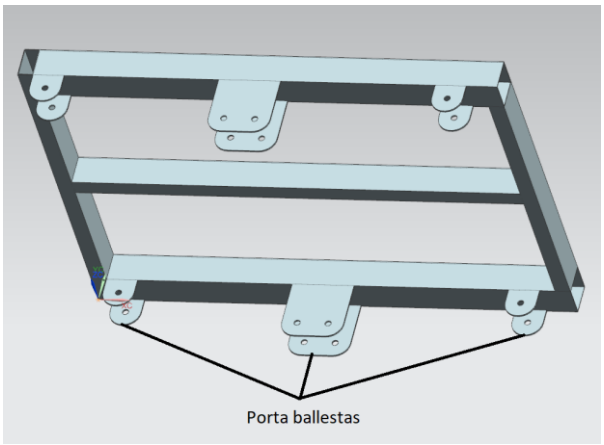


Figura 15. Bosquejo de estructura doble llanta.

A cada caso se le asignará un código para su mejor clasificación en la matriz de ponderación como se observa en la Tabla 18.

Tabla 18.

Materiales seleccionados

Casos	**Código**
Caso 1	A
Caso 2	B
Caso 3	C

A continuación, en la tabla 19 se muestra la matriz de ponderación con los criterios de clasificación de los casos presentados y sus respectivas valoraciones.

Tabla 19.

Matriz de ponderación de criterios

Criterio de selección	Valor	A	B	C
Facilidad de construcción	3	+	++	++
Estabilidad	3	-	+	++
Forma motriz	2	-	+	+
Sumatoria (+)		3	11	14
Sumatoria (0)		0	0	0
Sumatoria (-)		2	0	0

Resultado	1	11	14
Decisión final			OK

De acuerdo a la matriz anteriormente expuesta, la cual está basada en el método Pugh de selección multicriterio, el caso ganador de entre las opciones analizadas, corresponde al código C el cual nos refleja que es el caso 3.

Al analizar que esta es la idea más óptima para llevar carga en una motocicleta se prosiguió a la realización del diseño de los otros componentes.

Para la realización de las ballestas, Cascajosa, en su libro ingeniería del automóvil 2001, propone que en remolques o vehículos con cuatro ruedas y un sistema de ballestas independiente por rueda se aconseja que estas deben ser de hoja única debido a la repartición uniforme de cargas en cada uno de los ejes, al realizarse de múltiples hojas se entraría en un concepto de sobredimensionamiento aumentando así los costos de fabricación y ensamblaje. Por tal motivo, se decidió realizar una sola ballesta, es decir de hoja única debido a que el modelo posee una por cada llanta haciéndolo más resistente y considerándose un desperdicio de material y dinero hacer las ballestas con más hojas.

En la figura 16 se muestra el diseño de la ballesta de hoja simple.

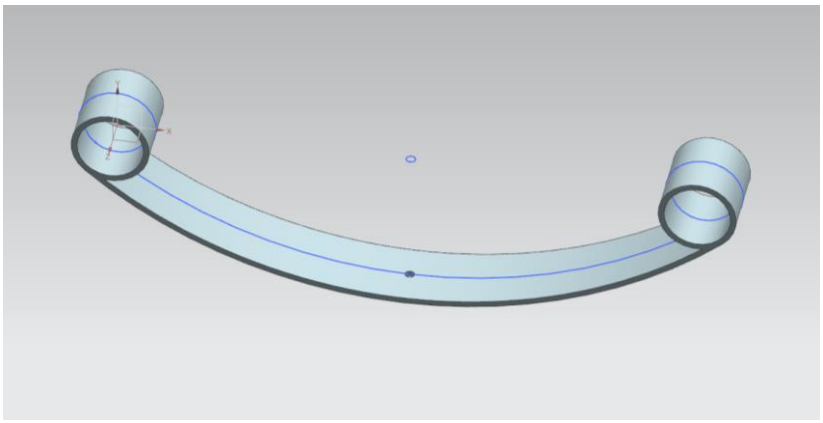


Figura 16. Diseño de ballestas.

Pensando en la forma de anclar las ballestas a la estructura se realizaron pernos M20 X 1,5 X 120 debido al esfuerzo que estos van a estar sometidos debido a la carga de la estructura además de las condiciones del camino. En la sección anterior se detalló el cálculo realizado para la selección del perno, en la tabla 20 a continuación se detallan los valores obtenidos en el cálculo de los pernos

Tabla 20.

Valores obtenidos del cálculo del perno A325

A325 (AISI 1035)	
Diámetro del perno	20mm
Largo del perno	120mm
Momento máximo	11,24Nm
Esfuerzo cortante máximo	140944444,4
Módulo de sección	$77{,}85 * 10^{-7} m^3$

Se partió como base insertando la estructura para posteriormente insertar los demás componentes, es muy importante recalcar que se debe restringir el ensamble correctamente, es decir, como se desea que los componentes se muevan.

A continuación, se insertaron las ballestas como se puede ver en la figura 17.

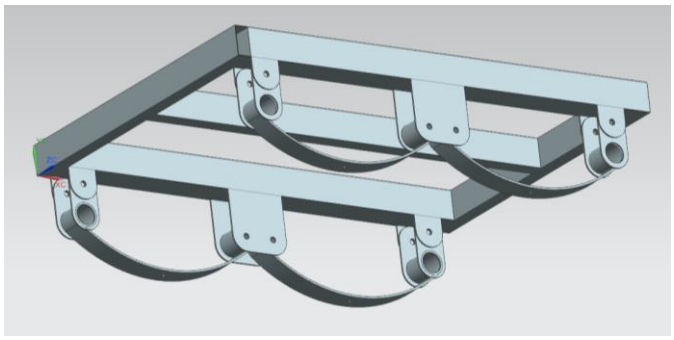


Figura 17. Ensamble de ballestas

Como paso siguiente se insertaron los pasadores que sujetan las ballestas y pivotes de ballestas como se puede observar en las figuras 18 y 19.

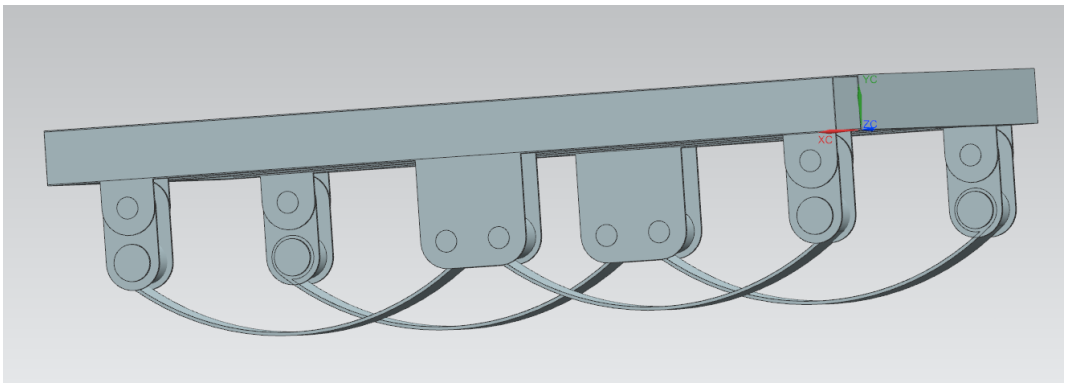


Figura 18. Ensamble de pasadores superiores.

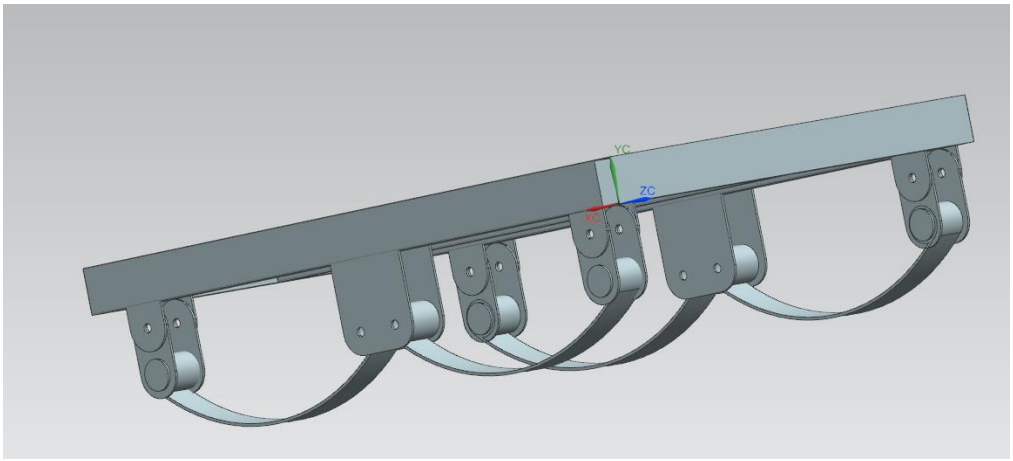


Figura 19. Ensamble de pasadores de ballestas.

Una vez ensamblado todos los componentes primarios la estructura tendrá un diseño como se muestra en la figura 20.

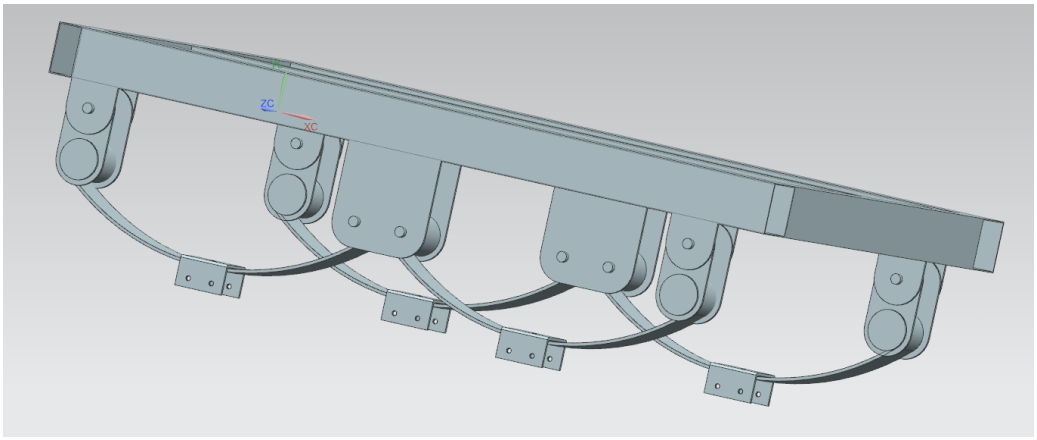


Figura 20. Ensamblaje completo elementos primarios.

Como se puede observar en la figura 21, se procedió con el ensamble de los perfiles que soportarán los ejes.

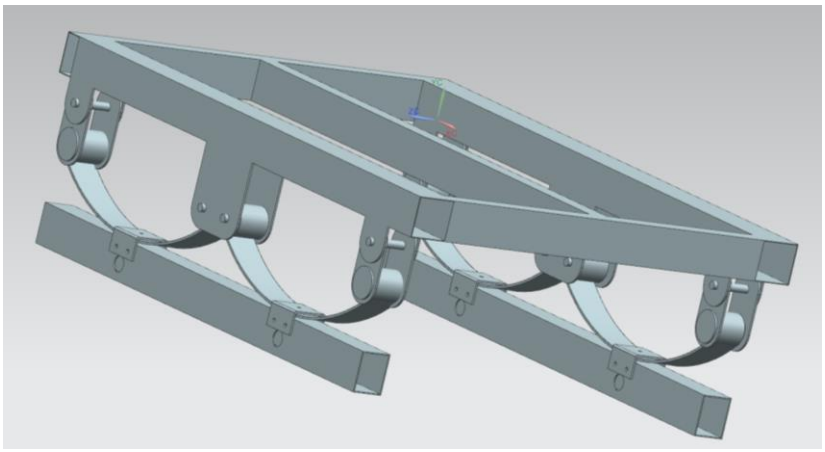


Figura 21. Ensamblaje de perfiles que soportaran los ejes.

A continuación, se procedió a la colocación de la placa superior como se muestra en la figura 22.

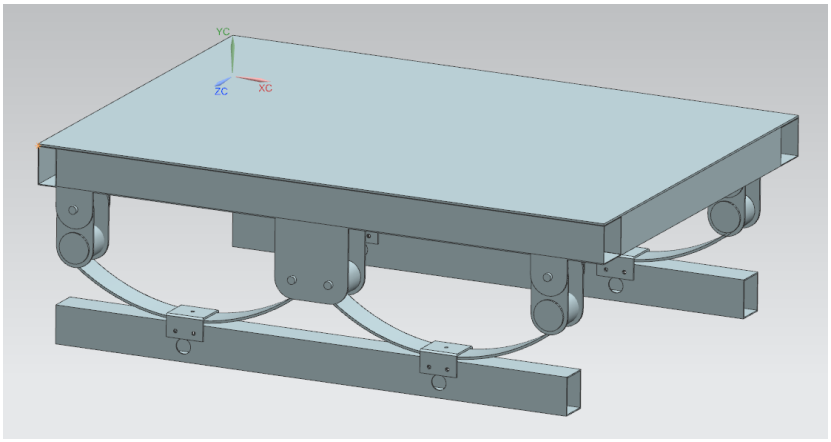


Figura 22. Placa superior.

Proceso de simulación de la estructura

Para realizar una simulación estática de un ensamble es necesario seguir una serie de pasos para hacer la simulación, entre ellos esta idealizar la geometría, es decir, simplificar la geometría del ensamble, considerando lo antes expuesto, se analizaron las variables a considerar y que áreas del ensamble podían entrar en la simulación, puesto que hay componentes que no requieren análisis como son las llantas, la rosca de los pernos, tuercas, la parte que ira fija en la motocicleta. Los ejes fueron retirados de igual manera ya que para observar la deformación que tendrá la parte inferior en el cual los ejes pasan simplemente basta con poner restricciones fijas en los agujeros pasantes del

eje, siendo innecesaria la simulación de los ejes. Por ello para simular la estructura bajo las cargas antes mencionadas, se sustituyeron los pernos del ensamble por pasadores ya que, en la simulación, lo que se requiere es que el ensamble permanezca unido para su análisis siendo suficiente la colocación de pasadores. También se eliminaron las llantas, los ejes y los perfiles de anclaje a la motocicleta. En la imagen 23, se puede apreciar el diseño realizado para la simulación de la estructura.

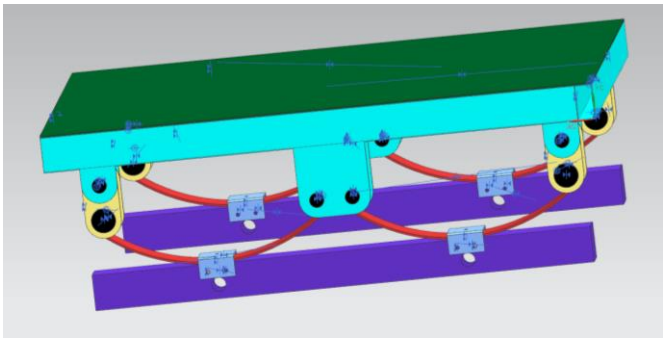


Figura 23. Ensamble para la simulación

Primera simulación

Para comenzar con la simulación, primeramente, se realizó un mallado local a cada uno de los componentes, se decidió hacerlo puesto que, al tratarse de un ensamble con componentes cuyas geometrías son diferentes, algunas son curvas, otras rectas, otras cilíndricas, al momento de resolver la simulación el programa los reconoce como tal y puede resolver las reacciones y esfuerzos que se ejerce sobre ellos de manera correcta. A continuación, en la tabla 21 se muestran las características del mallado de cada elemento. Así como en la imagen 24 se muestra el elemento ya mallado.

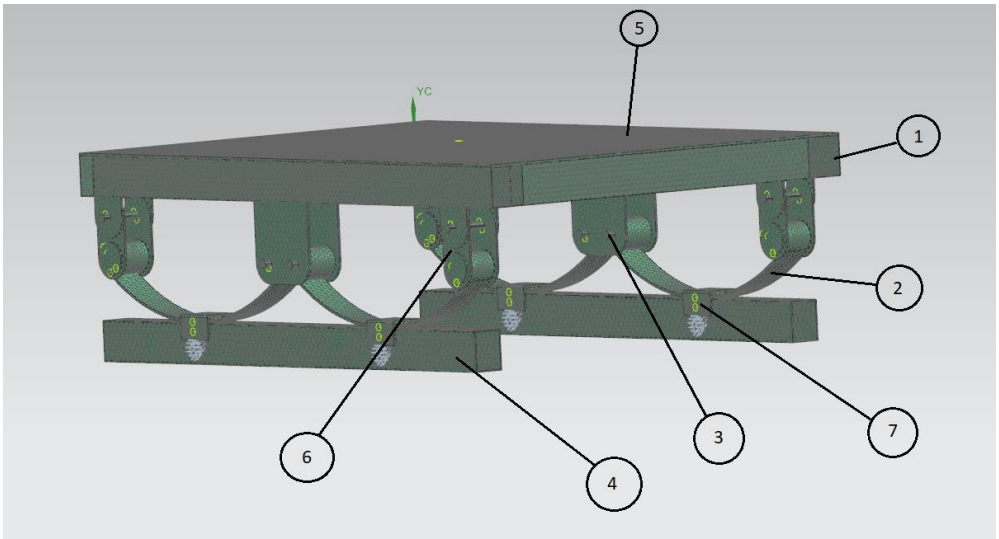


Figura 24 Mallado del ensamble

Tabla 21.

Propiedades del mallado simulación 1

Elemento	**Descripción**	**Tipo de malla**	**Tamaño del elemento**	**Recuento de elementos**
1	Estructura	Tetraédrico 3D	22mm	82770
2	Ballestas	Tetraédrico 3D	20mm	4154
3	Pasadores de sujeción	Tetraédrico 3D	14mm	377
4	Perfiles de soporte	Tetraédrico 3D	40mm	16833
5	Plancha de recubrimiento	Tetraédrico 3D	50mm	54163
6	Pivotes móviles	Tetraédrico 3D	15mm	676
7	Abrazaderas	Tetraédrico 3D	20mm	1801

Una vez realizado el mallado general se procede a designar los materiales a los diferentes elementos que conforman el ensamble. En la tabla 22 a continuación se observa detalladamente lo dicho anteriormente.

Tabla 22.

Materiales usados en componentes del ensamble simulación 1

MATERIAL	**COMPONENTE**
Estructura, abrazaderas, perfiles de soporte y pivotes móviles.	AISI 4118
Pernos y pasadores	AISI 1035
Ballestas	AISI 9260
Plancha de recubrimiento	AISI 1010

Una vez asignados los materiales se debe separar las caras de contacto entre mallas para que el programa reconozca un ensamble con movimiento en la simulación

A continuación, se empieza por asignar la fuerza que irá ejercida sobre la estructura como se muestra en la figura 25.

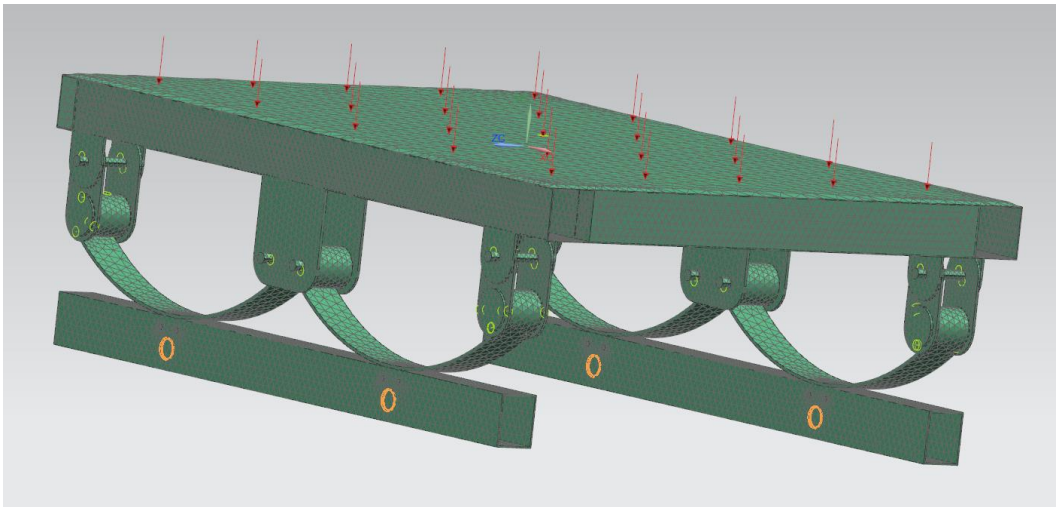


Figura 25. Condiciones de contorno para simulación.

Como se observa en la figura 25, una fuerza de 2940 N fue aplicada ya que equivalen a los 300 kg que son las condiciones de carga para la estructura.

Una vez asignada la fuerza, se insertan las restricciones de la forma en la que se desea que la estructura reaccione a la fuerza otorgada. En este paso se asignarán restricciones fijas a los agujeros que darán cabida a los ejes debido a que se desea ver la deformación que tendrá justamente en ese lugar, a continuación, en la figura 26 se muestra lo antes explicado.

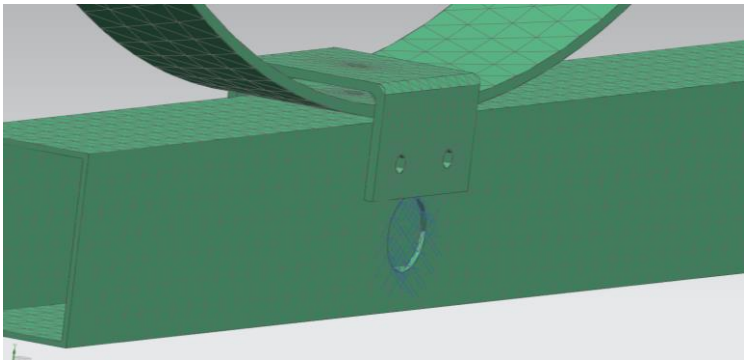


Figura 26. Restricciones al ensamble

Una vez insertadas las condiciones de contorno, se procede a la resolución de la simulación. En este paso el programa realizará una serie de iteraciones y resolverá el elemento por el método de los elementos finitos realizando la matriz de variables.

Segunda simulación

Para la realización de la segunda simulación, con lo expuesto anteriormente en el método de selección multicriterio para los materiales se decidió realizar la estructura y los perfiles de soporte de acero AISI 4130 para corroborar lo obtenido en el método de selección de materiales además debido a su uso en construcción de estructuras y a propiedades similares, pero ligeramente inferiores al material predecesor.

Para esta segunda simulación el único material que cambia con respecto a la primera simulación es el usado para la estructura, los demás materiales se mantienen como en la tabla 22.

Se procede a realizar el mismo proceso anteriormente descrito únicamente alterando el material. Los tipos de malla, tamaño de elemento y recuento de elementos no cambia con respecto a la tabla 21 debido a que la dimensión de los elementos analizados no cambia.

Una vez las condiciones de inicio están puestas, se procede a realizar las condiciones de contorno, es decir elementos que irán fijos, móviles o donde ira ejercida la fuerza tal y como se aprecia en la figura 27.

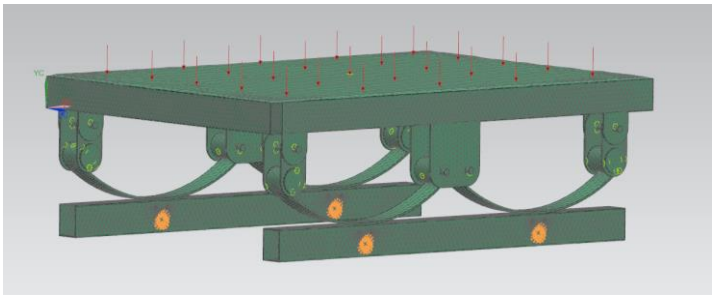


Figura 27. Condiciones de contorno e iniciales

Una vez las condiciones de inicio y de contorno estén bien definidas se continua con la resolución de la simulación.

Tercera simulación

Para la tercera simulación realizada, se usa el material AISI 4340 como manera de validación de los resultados obtenidos en el método de selección multicriterio Pugh para materiales además debido a sus propiedades mecánicas aptas para la construcción de estructuras además sus características son similares al primer material seleccionado aparte del precio que es más bajo con la única negativa de su existencia en el mercado ecuatoriano únicamente bajo pedido.

Para esta tercera simulación, al igual que en la anterior el único material que cambia es el utilizado para la estructura, los demás no cambian.

En lo referente al mallado, todas las características del mallado son las mismas debido a que las dimensiones de los miembros del ensamble no cambian.

Una vez las condiciones de inicio están puestas, se procede a realizar las condiciones de contorno, es decir elementos que irán fijos, móviles o donde ira ejercida la fuerza tal y como se aprecia en la figura 28.

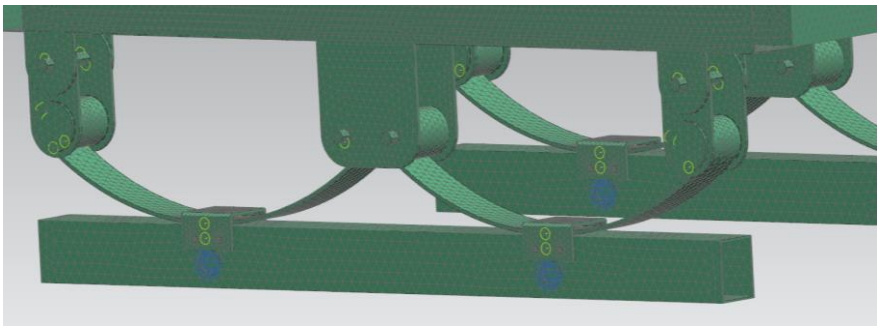


Figura 28. Condiciones de contorno e iniciales

Una vez las condiciones de inicio y de contorno estén bien definidas se continua con la resolución de la simulación.

Simulación dinámica

En la simulación dinámica se utilizó el programa Solid Works resolviendo con el número de ciclos que la estructura podría soportar cargada frente a condiciones de tránsito en caminos de tercer orden. A continuación, en la tabla 23 se ilustran los materiales usados en la simulación dinámica.

Tabla 23.

Materiales de los componentes del ensamble en la simulación dinámica

MATERIAL	**COMPONENTE**
Estructura, abrazaderas, perfiles de soporte y pivotes móviles.	AISI 4118
Pernos y pasadores	AISI 1035
Ballestas	AISI 9260
Plancha de recubrimiento	AISI 1010

Una vez asignados los materiales se procede a colocar las restricciones que en este caso son restricciones fijas en la parte superior de la estructura y una carga de 2940 N en la parte inferior con la característica de que esta se cargue y se descargue para ver el número de ciclos que es capaz de soportar la estructura. En la figura 29 se puede observar lo antes mencionado.

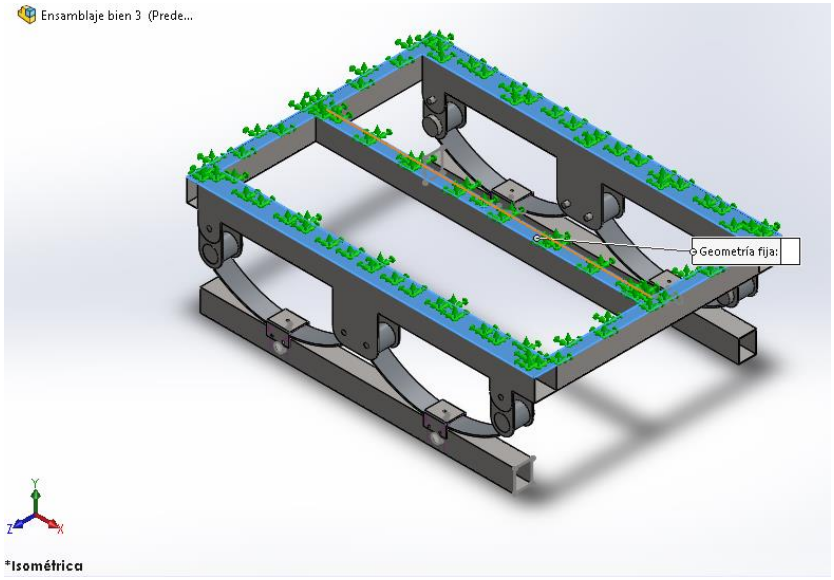


Figura 29. Restricciones fijas simulación dinámica

En cuanto a las propiedades del mallado se usó una malla sólida cúbica con solver FFEPlus. El solucionador iterativo FFEPlus, utiliza técnicas aproximadas para resolver el problema. Asume una solución y luego calcula los errores asociados. Las iteraciones continúan hasta que los errores se vuelven aceptables.

En cuanto al tipo de mallado empleado tiene una distancia entre nodos de 0,5 mm con la opción de adaptarse en transición automática. El número total de nodos final es de 106274 con una distancia entre nodos después de adaptación de 0.25 mm.

Con la aclaración que se debió usar un mallado global con la malla más fina debido a la diferencia de medidas de los elementos que conforman la estructura. En la figura 30 se aprecia lo antes mencionado.

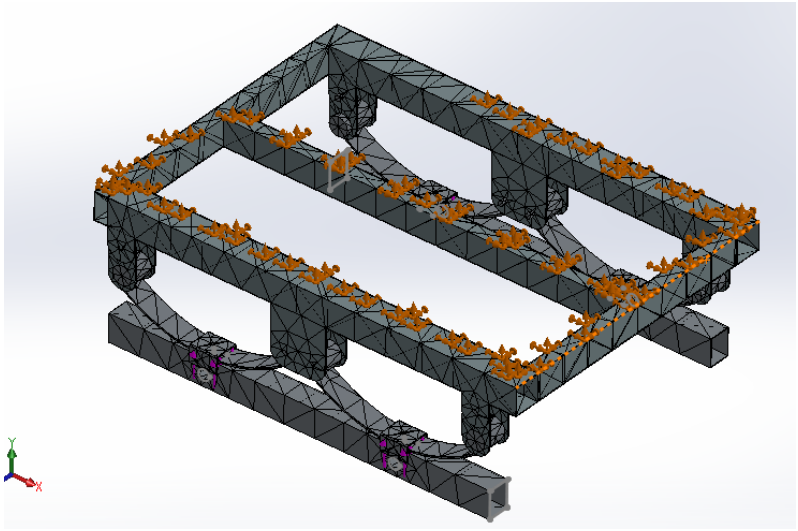


Figura 30. Mallado del elemento simulación dinámica

A continuación, el programa define las curvas de fatiga de cada elemento relacionándolos con el material asignado anteriormente.

Se realizaron dos simulaciones dinámicas de fatiga. La primera se hizo para poder visualizar el número de ciclos a los que algún componente de la estructura empezaría a fallar y en la segunda se hizo con el número de ciclos a los que la estructura fallaba en su totalidad es decir la vida útil de la estructura.

Una vez los parámetros de contorno estén bien asignados y la malla haya cubierto todo el material se procede a la resolución de la simulación.

Costos en caso de construcción de la estructura

A continuación, en la tabla 24 se muestran detallados los elementos y su costo para poder tener una idea en caso de construcción de la estructura.

Tabla 24.

Costos de construcción de la estructura

Parámetro	**Costo**
Perfil rectangular Acero AISI 4118 100x50x2 (6)	$300
Lamina de recubrimiento superior AISI 1010 (1)	$100
Tornillería y pasadores (todos)	$30
Elaboración de ballestas (4)	$300
Mano de obra y consumibles	$200

Resultados

De las tres simulaciones realizadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Simulación con acero AISI 4118

Como se puede apreciar en la figura 31, se tiene la gráfica de convergencia obtenida en la primera simulación, en ella se puede observar el número de iteraciones que calculó el programa hasta que las mismas resulten con similar valor. En la gráfica los datos efectivamente convergen. En este caso específico, se tienen 680 iteraciones.

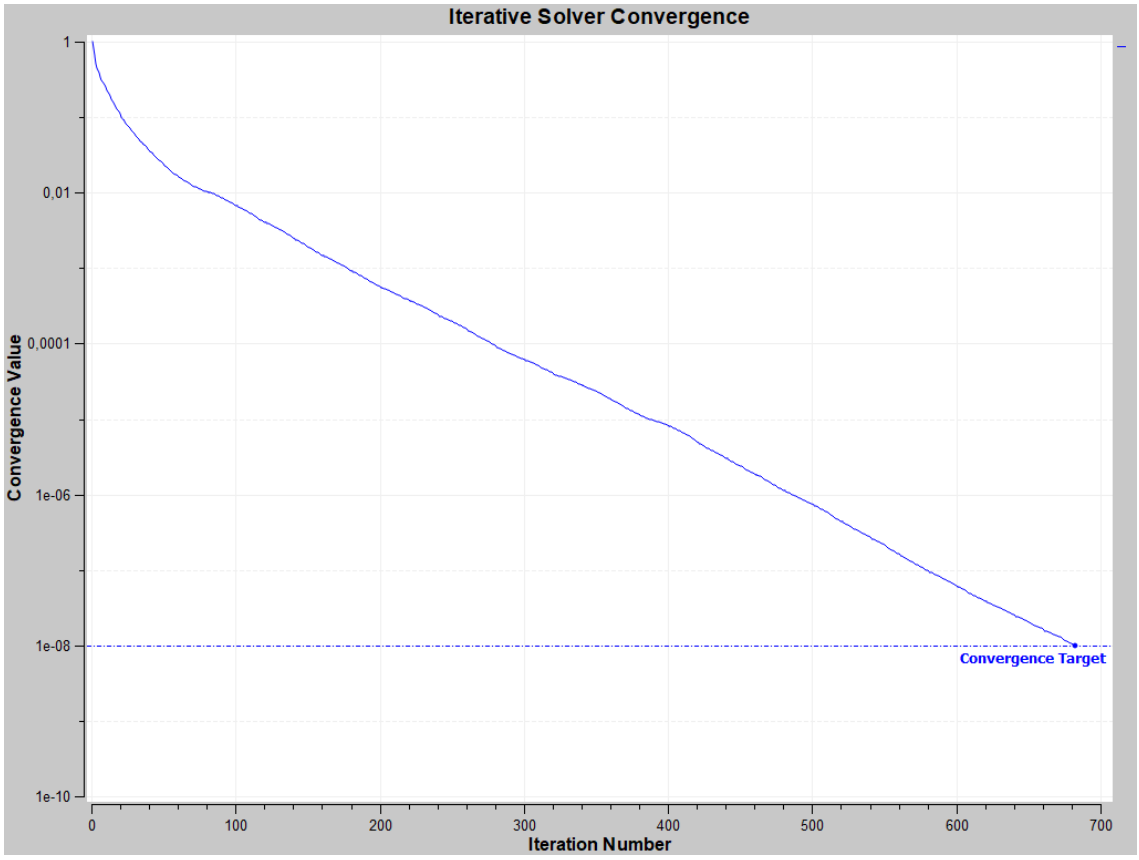


Figura 31. Grafica de convergencia simulación 1

De acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación número 1 se tiene:

Desplazamiento nodal total de la estructura

El desplazamiento nodal indica, a partir del peso aplicado, la distancia en (mm) que se movieron los nodos que componen la estructura en general. En la figura 32 se ilustra el deslazamiento nodal de la estructura que fue de 6,982E-003 mm.

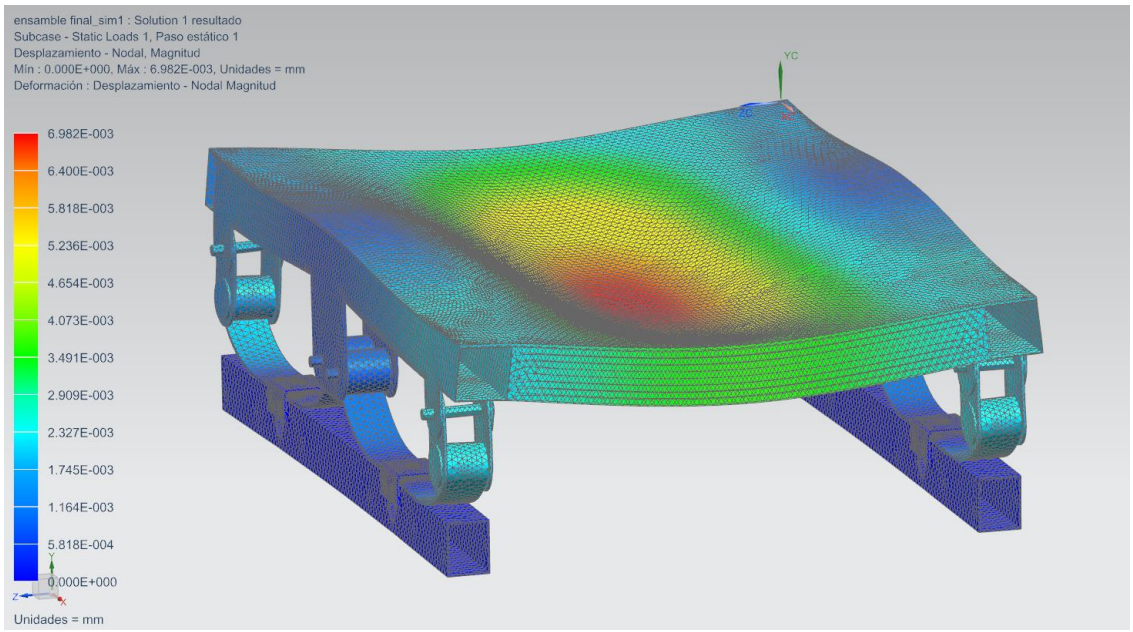


Figura 32. Desplazamiento nodal con acero AISI 4118

Esfuerzo máximo

En el esfuerzo para la primera simulación se obtuvo un valor máximo de 32.92MPa localizado en las bases de las ballestas, como se puede observar en la figura 34 se tiene en color azul el valor mínimo del esfuerzo localizado en componentes que no sufren alteración alguna, mientras que en color rojo está el valor máximo del esfuerzo localizado en las bases de las ballestas. A continuación, en la figura 33 se representa el nodo que mayor esfuerzo tuvo en la primera simulación, localizándose en la parte inferior de las ballestas.

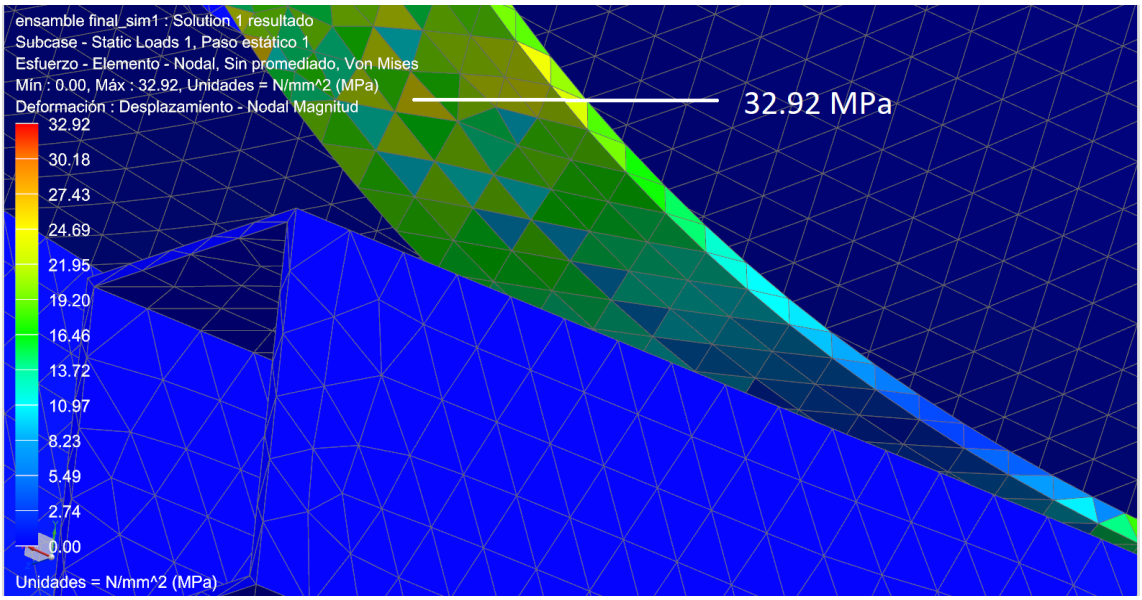


Figura 33. Punto de mayor esfuerzo simulación 1

Fuerza de reacción

Como fuerza de reacción, se tiene un valor de 96.46N localizado en el agujero por donde pasará el eje que soportará las ruedas, a continuación, en la figura 34 se expone una gráfica de las reacciones antes explicadas.

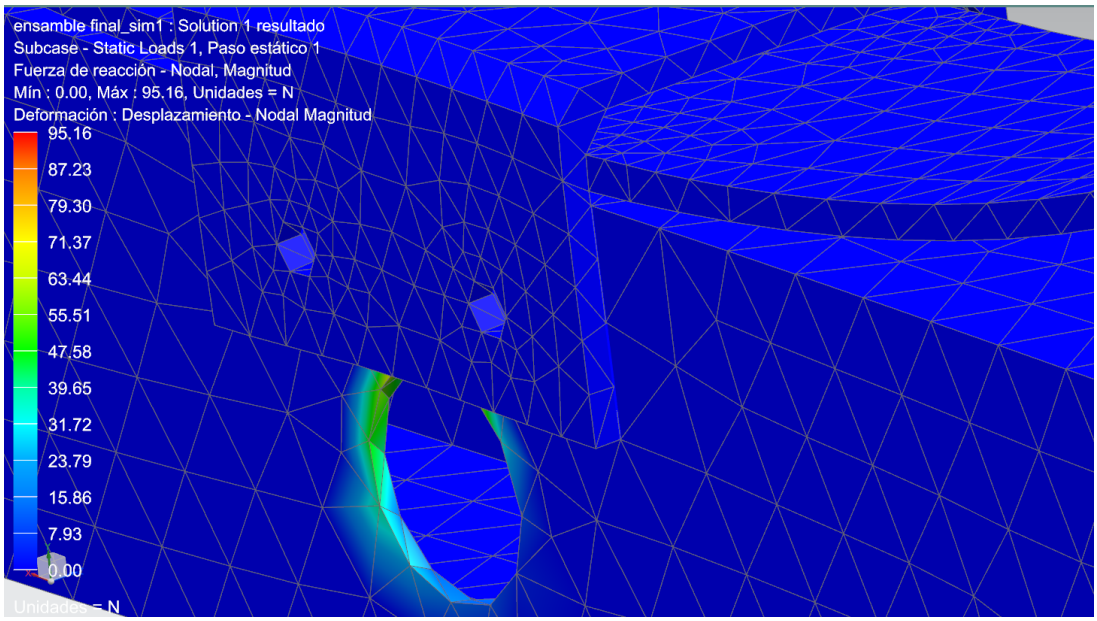


Figura 34. Fuerza de reacción

En la figura 35 se muestra el punto del agujero en donde se experimenta la mayor fuerza de reacción.

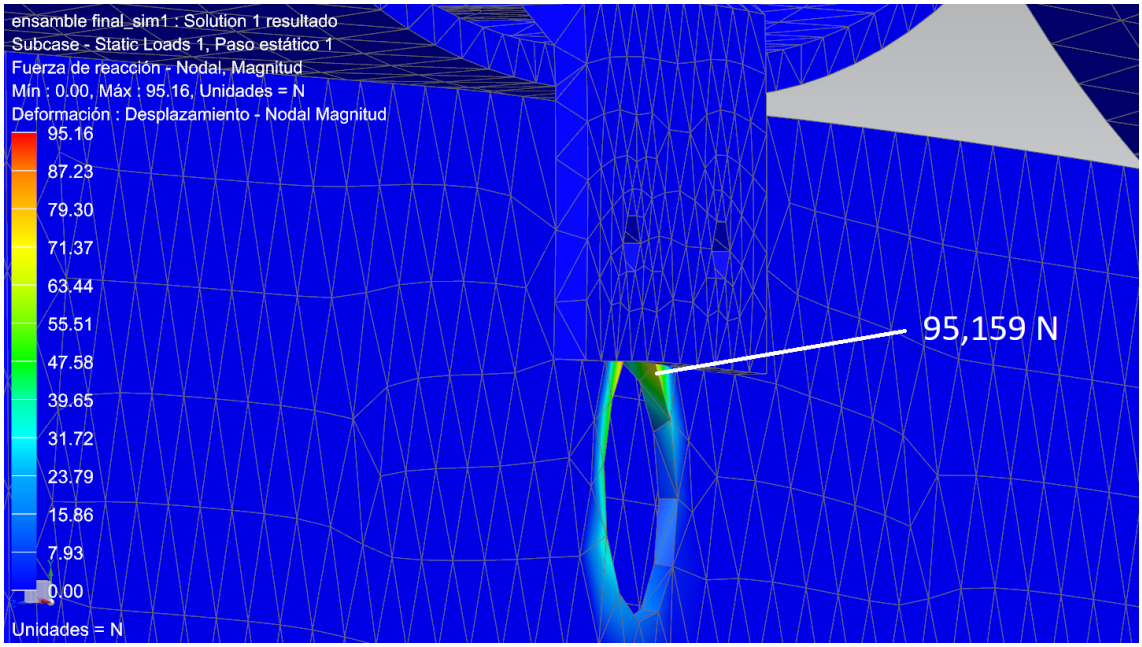


Figura 35. Punto de influencia de la fuerza máxima simulación 1

Así mismo, los esfuerzos que están localizados en las ballestas, se los puede observar en la figura 36. La escala de colores indica en color azul el valor mínimo de la fuerza de reacción, mientras que en color rojo el valor máximo de la fuerza de reacción localizado en las bases de las ballestas.

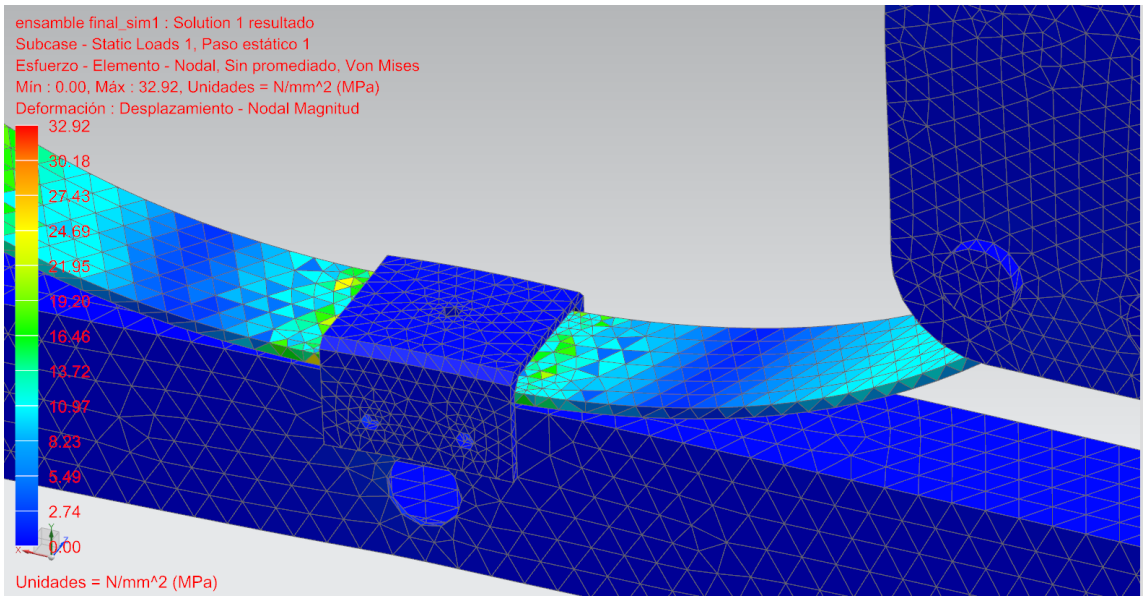


Figura 36. Esfuerzos y deformación en la base de las ballestas

A continuación, en la tabla 25, se expone un resumen de los valores obtenidos en la primera simulación.

Tabla 25.

Valores obtenidos en la simulación con acero AISI 4118

Magnitudes Obtenidas	**Valor**	**Sitio**
Rotación nodal	0 mm	
Esfuerzo máximo	32.92 MPa	Zona inactiva ballesta
Fuerza de reacción	95.16 N	Agujero pasante ejes

Simulación con acero AISI 4130

Como se puede apreciar en la figura 37, se tiene la gráfica de convergencia obtenida en la segunda simulación, en ella se puede observar el número de iteraciones que calculó el programa hasta que las mismas resultaron con el mismo valor. En la gráfica los datos efectivamente convergen. En este caso específico, se tienen 690 iteraciones.

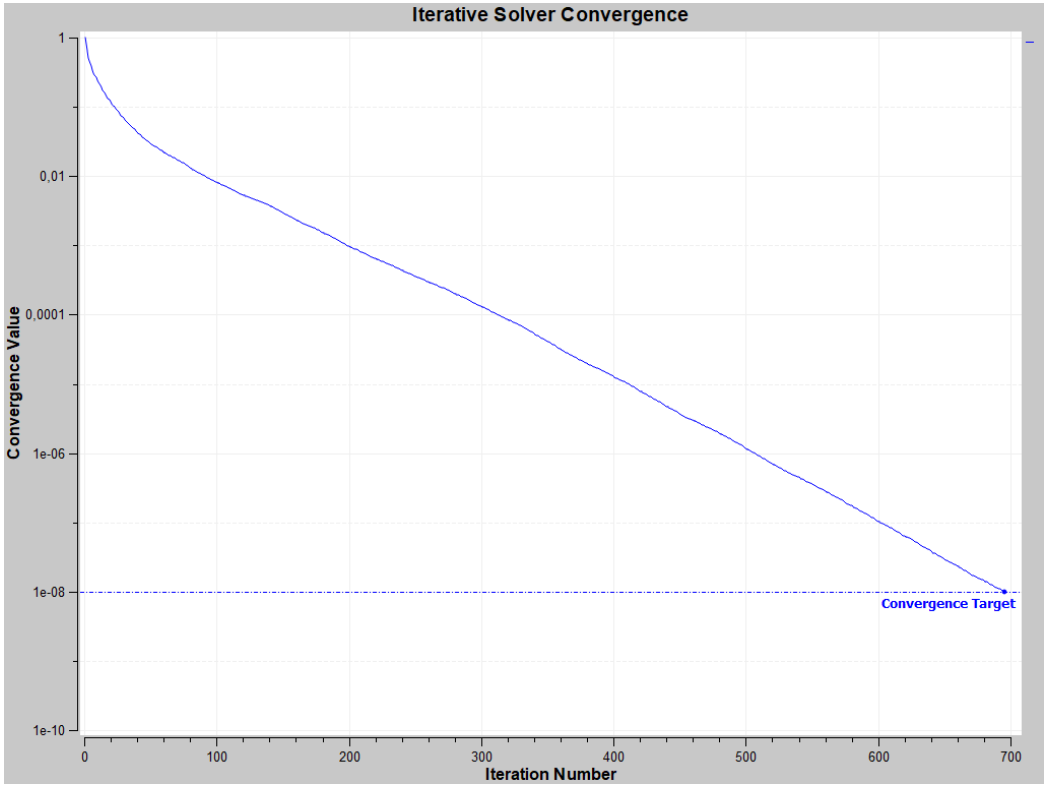


Figura 37. Gráfica de convergencia simulación 2

Desplazamiento nodal total de la estructura

El desplazamiento nodal indica, a partir del peso aplicado, la distancia en (mm) que se movieron los nodos que componen la estructura en general. En la figura 38 se ilustra el deslazamiento nodal de la estructura que fue de 0.0357 mm.

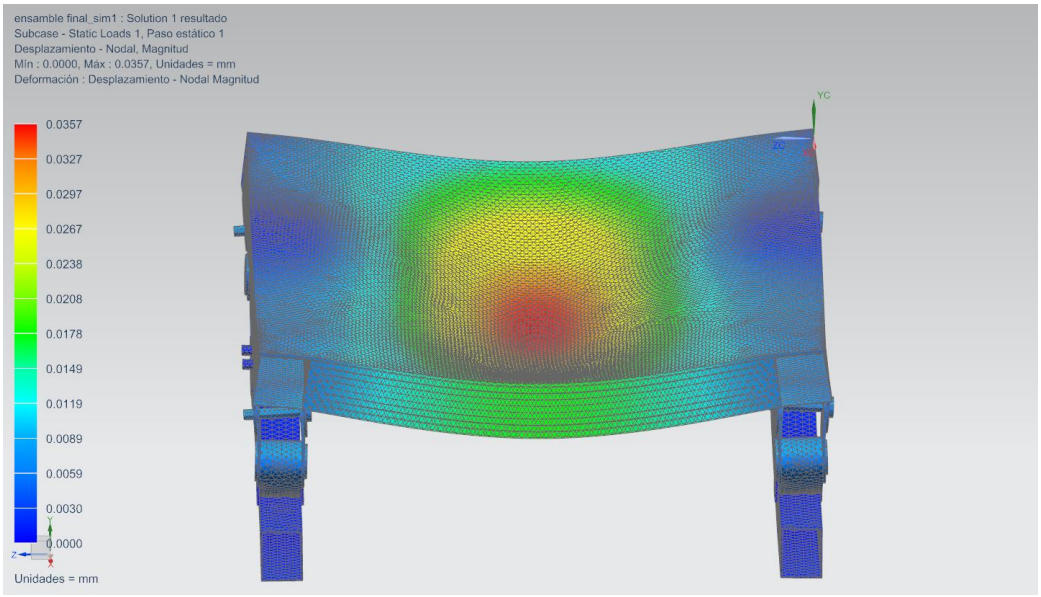


Figura 38. Desplazamiento Nodal estructura con acero AISI 4130

Esfuerzo máximo

En el esfuerzo para la segunda simulación se obtuvo un valor máximo de 32,69MPa localizado en las bases de las ballestas, teniendo en el color azul el valor mínimo y en el color rojo el valor máximo como se observa en la figura 39.

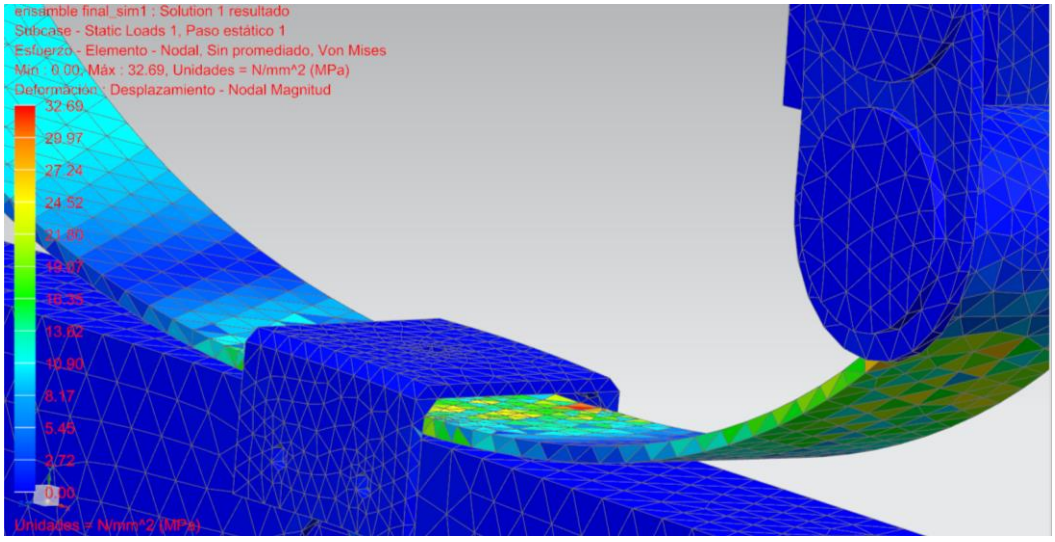


Figura 39. Esfuerzo elemental

Así mismo en la figura 40 se ilustra el punto de máximo esfuerzo el cual está localizado en las ballestas.

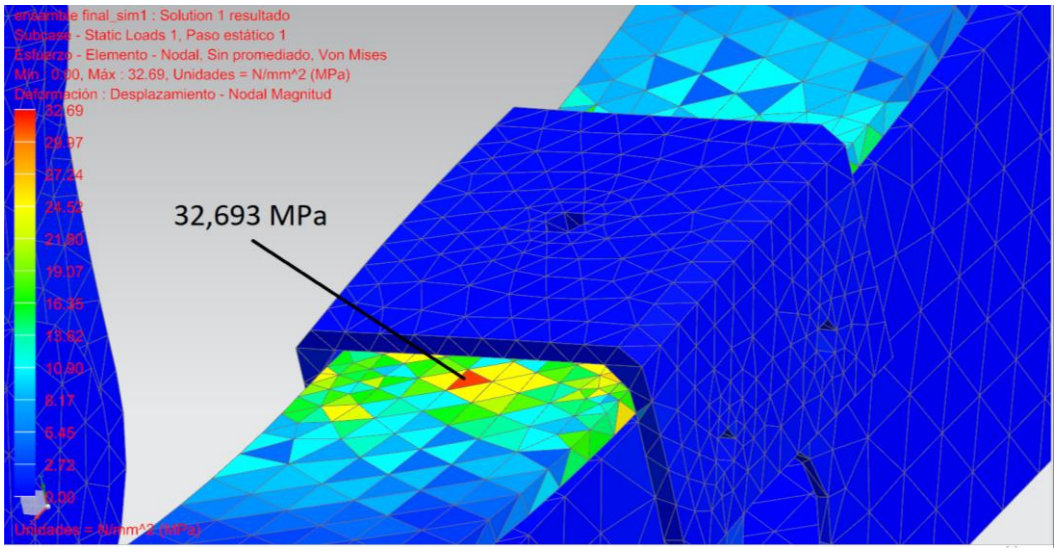


Figura 40. Punto de máximo esfuerzo simulación 2

Fuerza de reacción

Como fuerza de reacción se tiene un valor de 96,44N localizado en el agujero que dará cabida a los ejes que soportarán las llantas, haciendo que la mayor reacción se localice en los perfiles de soporte de las ballestas, en la figura 41 se puede observar la fuerza de reacción directamente en la simulación.

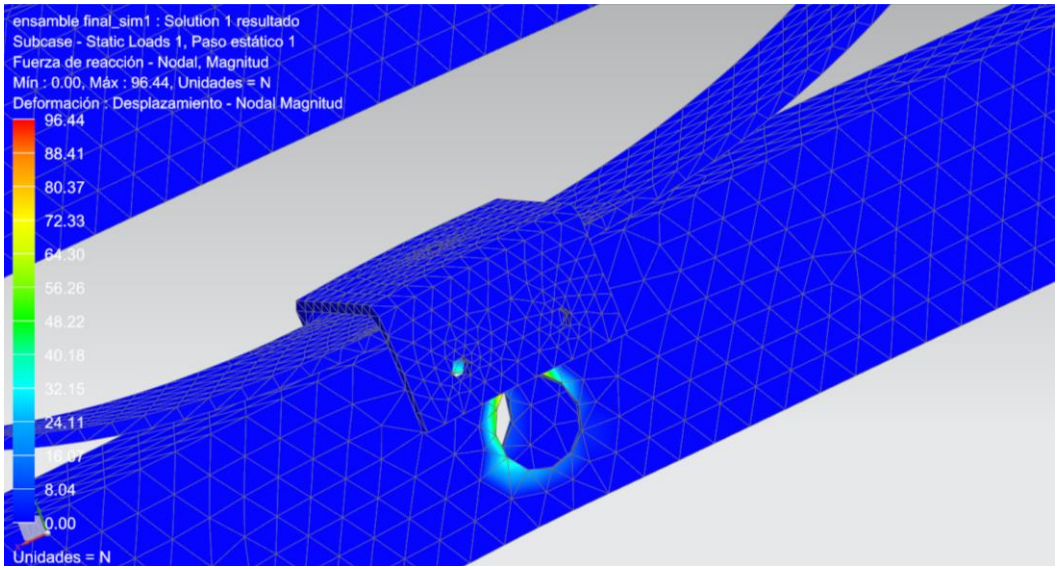


Figura 41. Fuerza de reacción

Así como el punto en donde se registra la fuerza máxima de reacción se puede apreciar en la figura 42.

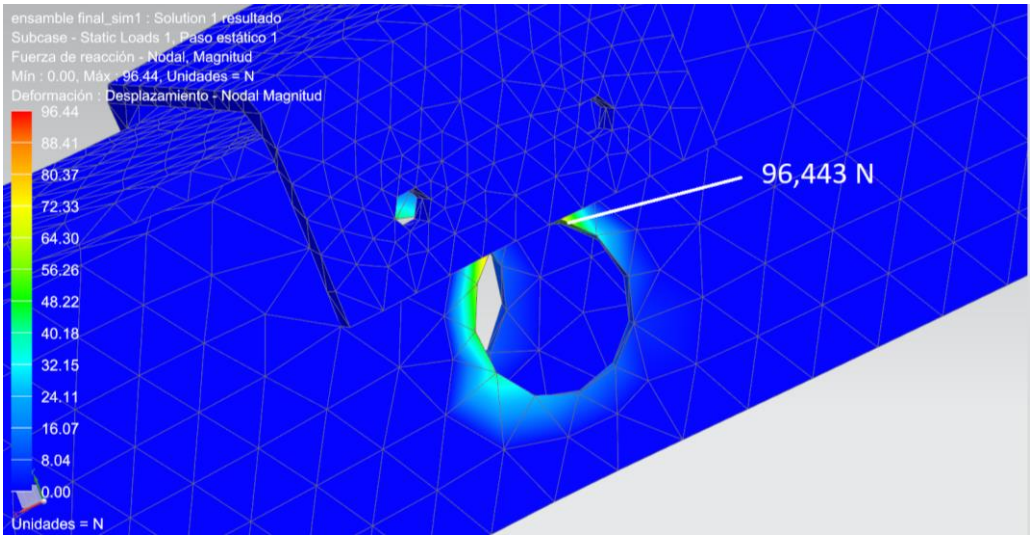


Figura 42. Punto de injerencia de la fuerza máxima de reacción

En la tabla 26 a continuación, se exponen los valores obtenidos en la simulación número dos detalladamente.

Tabla 26.

Resumen de magnitudes obtenidas en la simulación 2

Magnitudes Obtenidas	**Valor**	**Zona**
Rotación nodal	0 mm	
Esfuerzo elemental	32,69MPa	Bases de ballesta
Fuerza de reacción	96,44 N	Agujero pasante ejes

Simulación con acero AISI 4340

Como se puede apreciar en la figura 43, se tiene la gráfica de convergencia obtenida en la tercera simulación, en ella se puede observar el número de iteraciones que calculó el programa hasta que las mismas resultaron con el mismo valor. En la gráfica los datos efectivamente convergen. En este caso específico, se tienen 698 iteraciones.

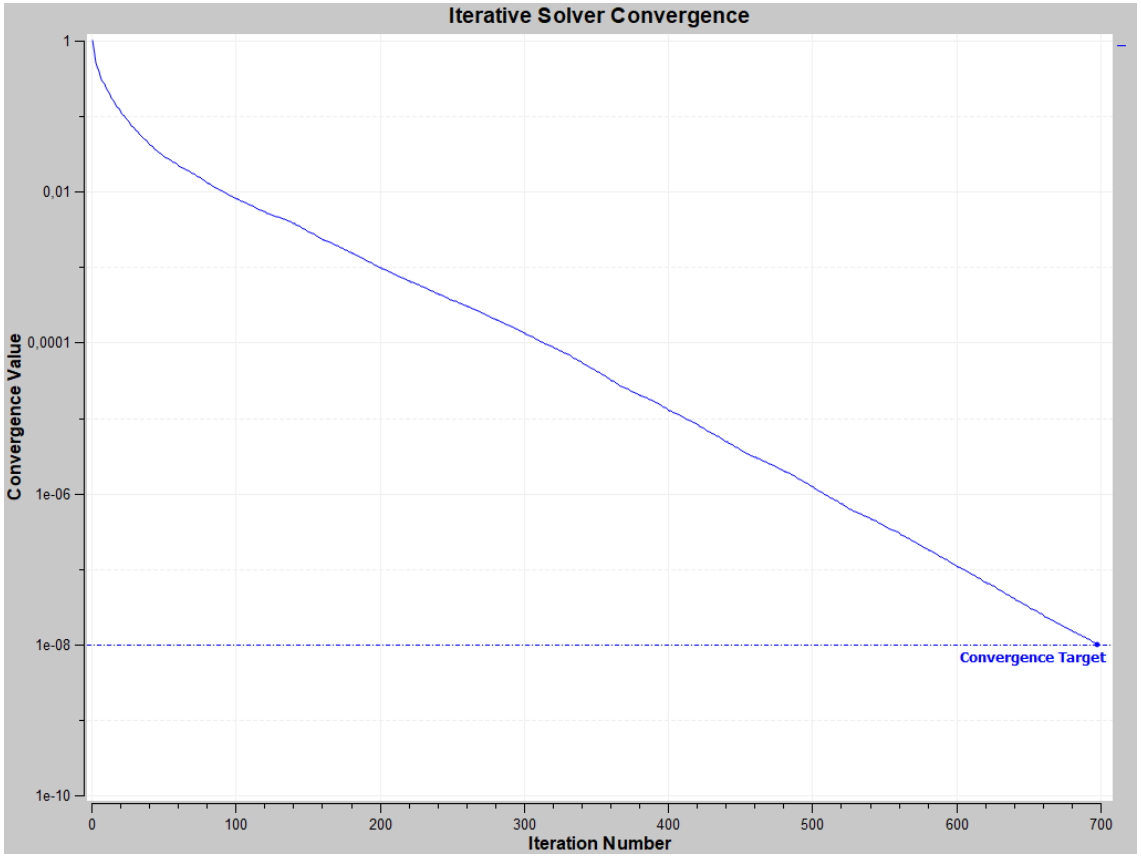


Figura 43. Gráfica de convergencia simulación 3

Desplazamiento nodal total de la estructura

El desplazamiento nodal indica, a partir del peso aplicado, la distancia en (mm) que se movieron los nodos que componen la estructura en general. En la figura 44 se ilustra el deslazamiento nodal de la estructura que fue de 0.0369 mm.

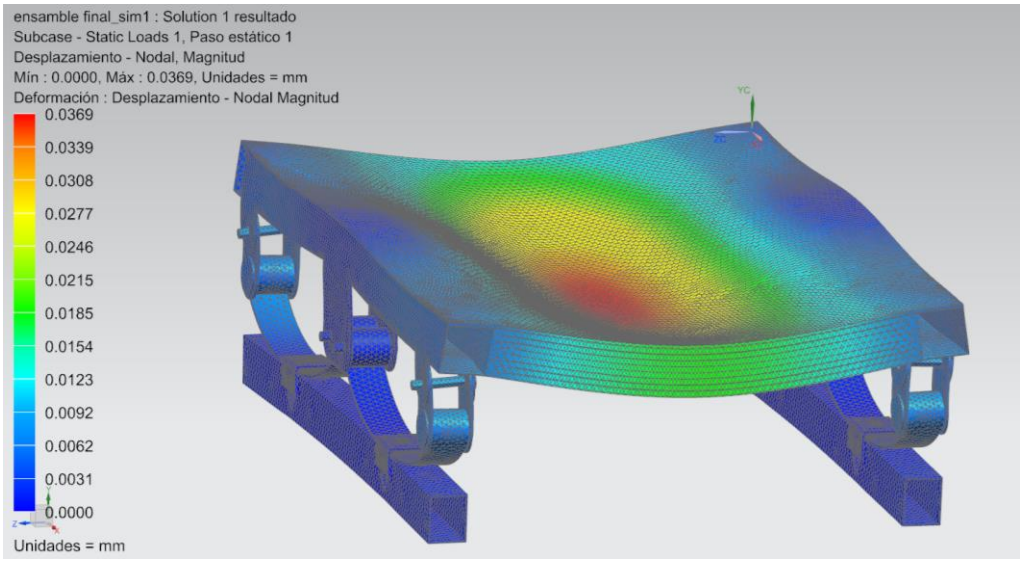


Figura 44. Desplazamiento Nodal simulación con AISI 4340

Esfuerzo elemental

En el esfuerzo elemental para la tercera simulación se obtuvo un valor máximo de 32,92MPa localizado en las ballestas como se observa en la figura 45, teniendo en el color azul el valor de esfuerzo 0 mientras que en el color rojo se tiene el valor máximo.

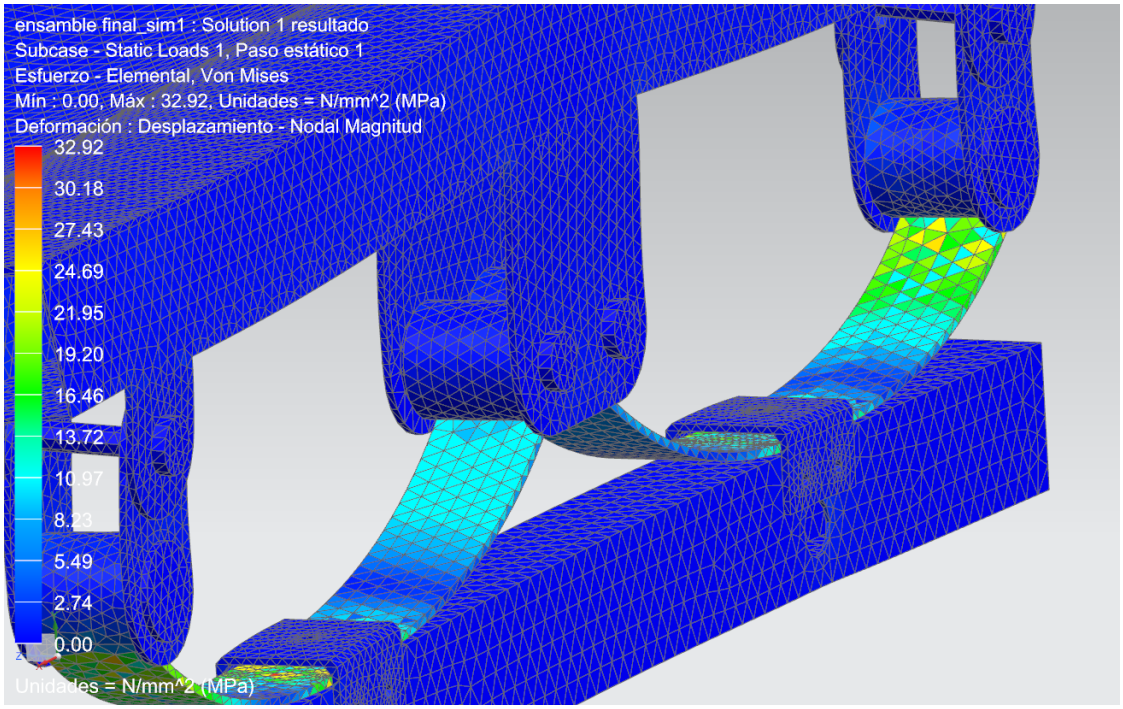


Figura 45. Esfuerzo elemental simulación 3

Así mismo en la figura 46 se puede apreciar el lugar donde será ejercido el máximo esfuerzo.

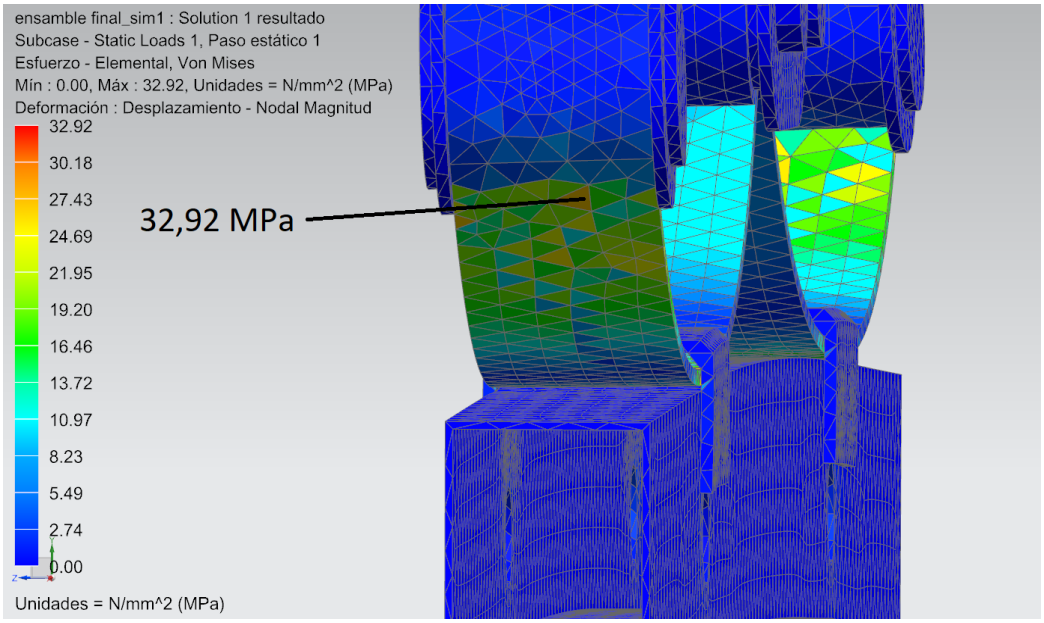


Figura 46. Máximo esfuerzo base ballesta simulación 3

Fuerza de reacción

Como fuerza de reacción para la tercera simulación tenemos un valor de 95,16N localizado en el eje que dará cabida a los ejes que soportarán las llantas, haciendo que la mayor reacción se localice en los perfiles de soporte de las ballestas, en la figura 48 se puede observar la fuerza de reacción directamente en la simulación.

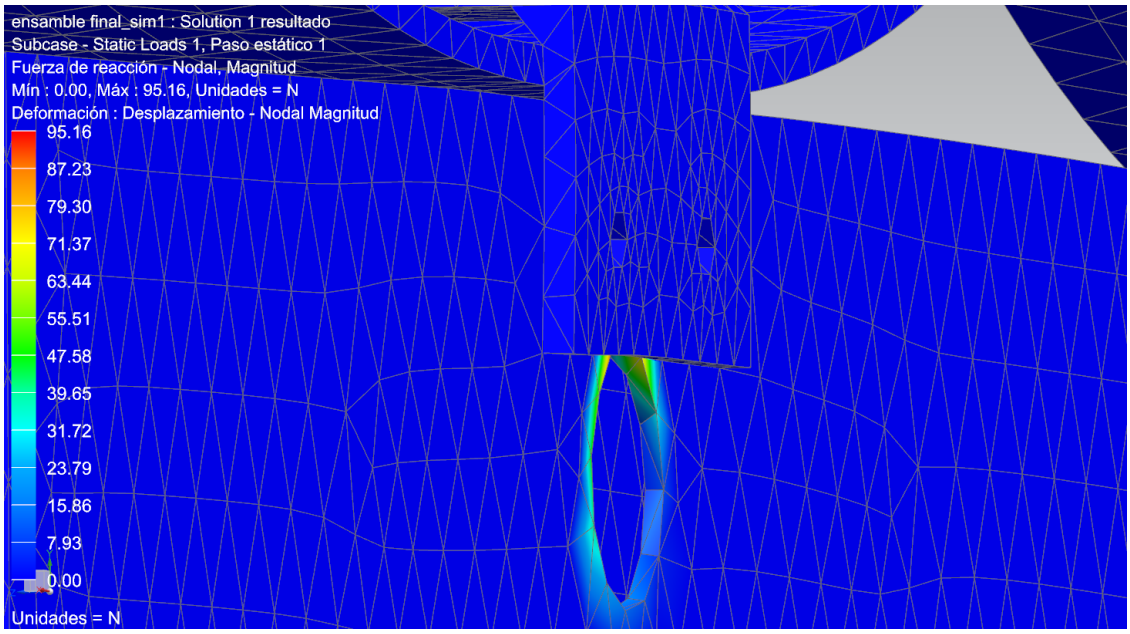


Figura 47. Fuerza de reacción

A continuación, en la figura 47, se aprecia el punto en el agujero que más injerencia tiene debido a la fuerza de reacción.

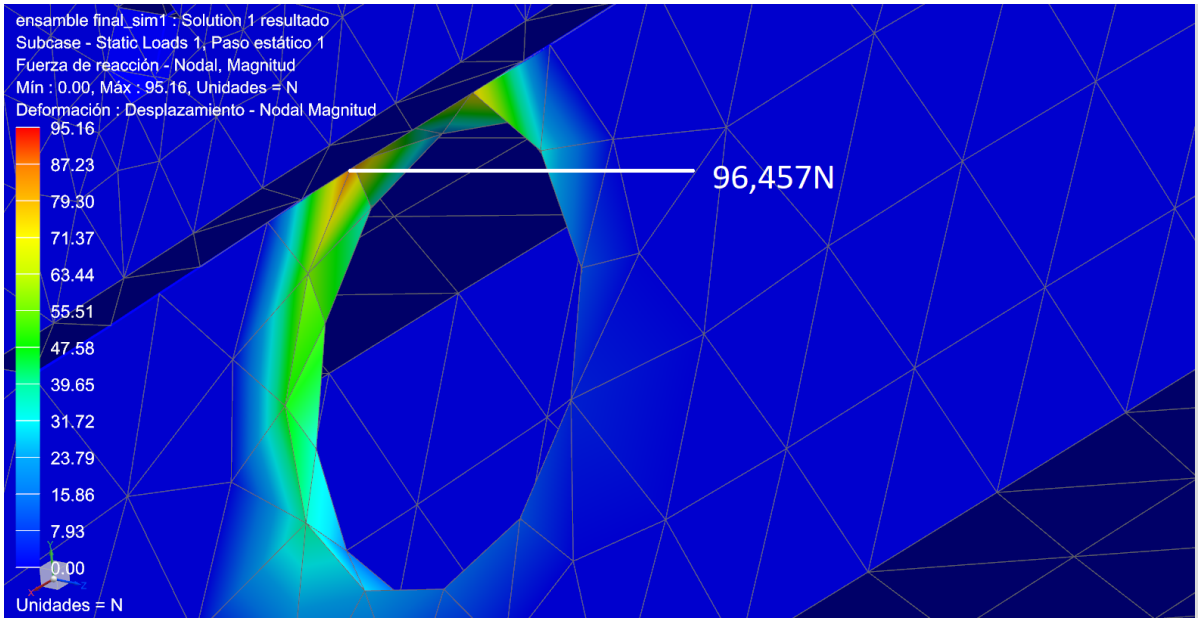


Figura 48. Fuerza de reacción simulación 3

A continuación, en la tabla 27, se pueden observar los resultados obtenidos en la tercera simulación de manera ordenada.

Tabla 27.

Valores obtenidos en la simulación 3

Magnitudes Obtenidas	**Valor**	**Zona**
Rotación nodal	0 mm	
Esfuerzo máximo	32,92 MPa	Base balletsa
Fuerza de reacción	96,46 N	Agujero pasante eje

Simulación dinámica

Como se mencionó anteriormente, se realizaron dos simulaciones dinámicas. En la primera simulación se puede ver el número de ciclos a los que la estructura presenta una falla en uno de sus componentes y en la segunda simulación dinámica se observa la vida total de la estructura. En la figura 49 se observa la gráfica de tensión alterna de componentes de la estructura VS el número de ciclos que se le aplicaron en la primera simulación dinámica de fatiga.

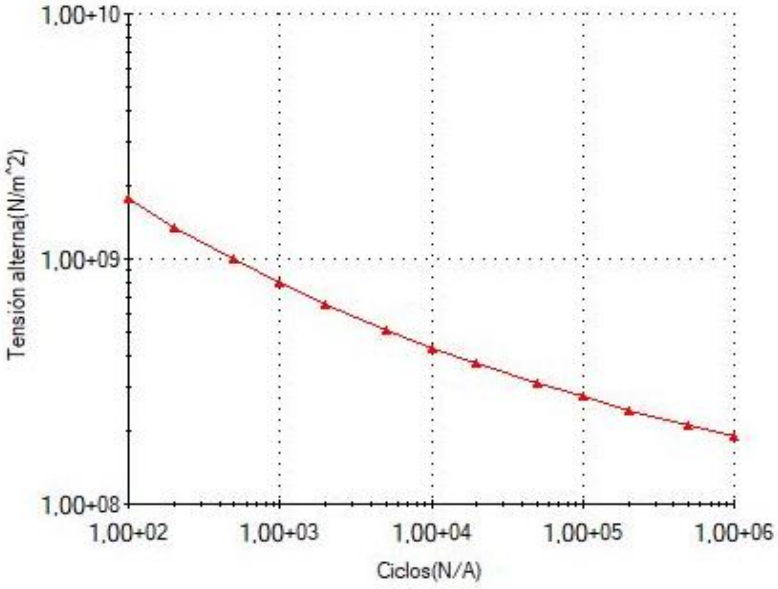


Figura 49. Tensión alterna VS número de ciclos

Como se puede apreciar en la imagen, los primeros componentes de la estructura que empezarán a fallar es a los 100e+06 ciclos, generando una tensión alterna de aproximadamente 100e+09 Pa hasta que los componentes principalmente de la suspensión empiezan a fallar. A continuación, en la figura 50 se puede apreciar en color rojo los componentes que fallarán a los 100e+06 ciclos o como se ilustra en la imagen 1000e+05 ciclos que es su equivalente.

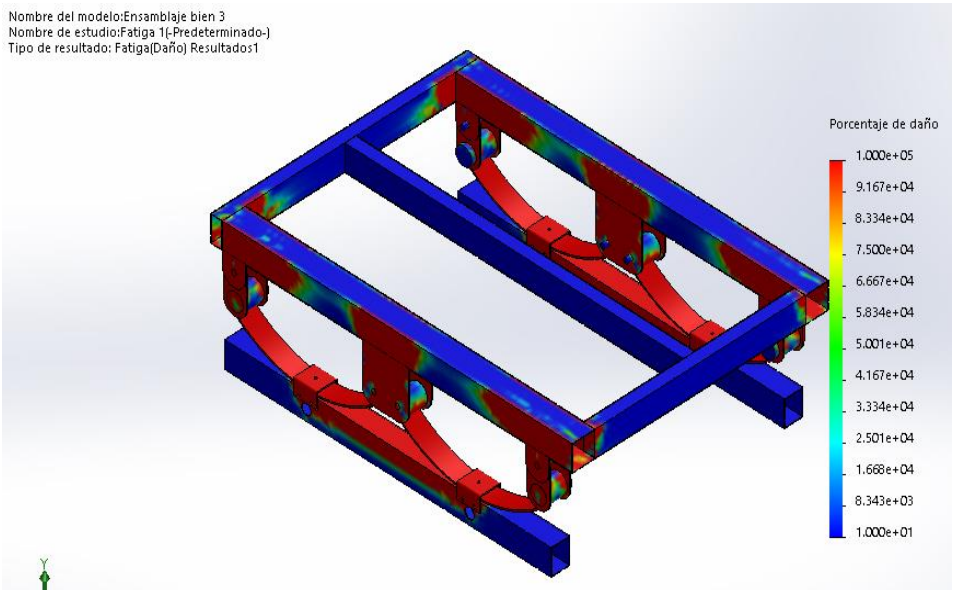


Figura 50. Primera simulación dinámica de fatiga.

En la segunda simulación, para determinar la vida útil de la estructura se obtuvo un valor de 100e+07 ciclos. En la figura 51 se ilustra la gráfica tensión VS número de ciclos que se obtuvo en esta ocasión.

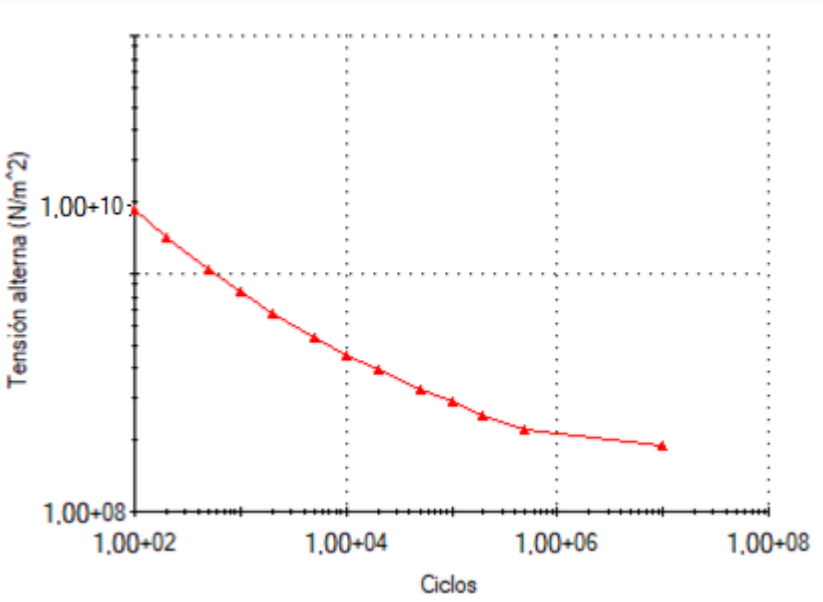


Figura 51. Tensión VS número de ciclos simulación dinámica 2

Como se puede apreciar en la gráfica, la estructura en su totalidad es capaz de soportar 100e+07 ciclos a una tensión de 100e+10 Pa. A continuación, en la figura 52 se ilustra en color rojo las partes que sufrirán daños en esta simulación dinámica de fatiga.

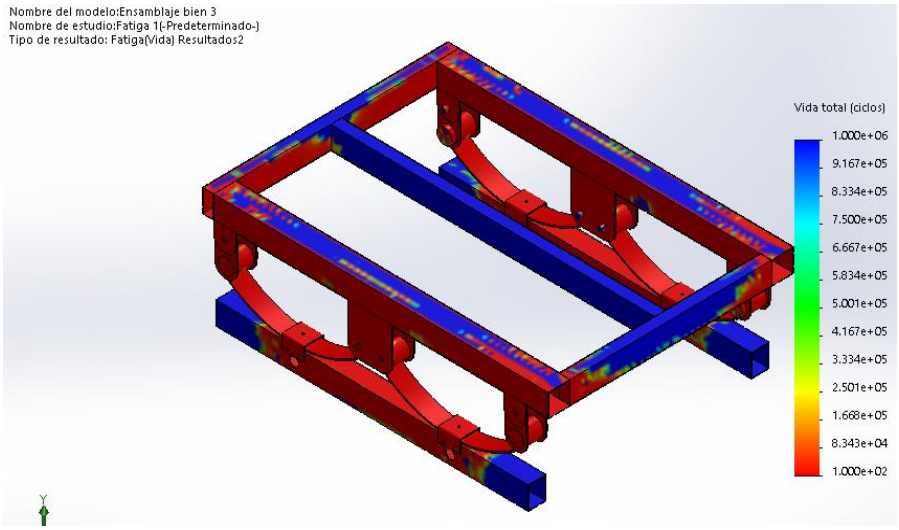


Figura 52. Simulación dinámica de fatiga vida util total de la estructura

Análisis de ciclos a kilómetros.

Si el inicio de la falla se da a los 100e+06 ciclos y tenemos un diámetro de llanta de R15 es decir de 586mm se procede:

$$S = 2\pi r$$

$$S = 3.68m \; en \; cada \; vuelta \; de \; la \; llanta$$

Se tienen 100e+06 ciclos entonces:

$$S = 2\pi(100e + 06) * 0.293m$$

$$S = 178437200m \text{ ó } 178437{,}2 \; km$$

Si se recorre 10.000 km anuales entonces:

$$S = 17{,}8\ a\tilde{n}os$$

Ahora analizando con los ciclos de falla total es decir a los 1000e+06 ciclos se tiene:

$$S = 2\pi(1000e + 06) * 0.293m$$

$$S = 178{,}43\ a\tilde{n}os$$

Validación de resultados

La validación de resultados fue elaborada en función de los resultados obtenidos en la simulación 1 debido a que fue la que menor desplazamiento nodal tuvo con un valor de 0.0358mm lo cual indica que es la que menos deformación presento con respecto a los otros materiales simulados a partir de los 2940N de carga aplicada.

La validación fue realizada en función de las reacciones obtenidas en las ballestas en la primera simulación, a continuación, en la figura 50 se muestra el valor de fuerza de reacción obtenido en la simulación, el cual se localiza en la base de la ballesta además en la figura 53 expone una gráfica en donde indica que el valor de la reacción es de cuál 377,09N.

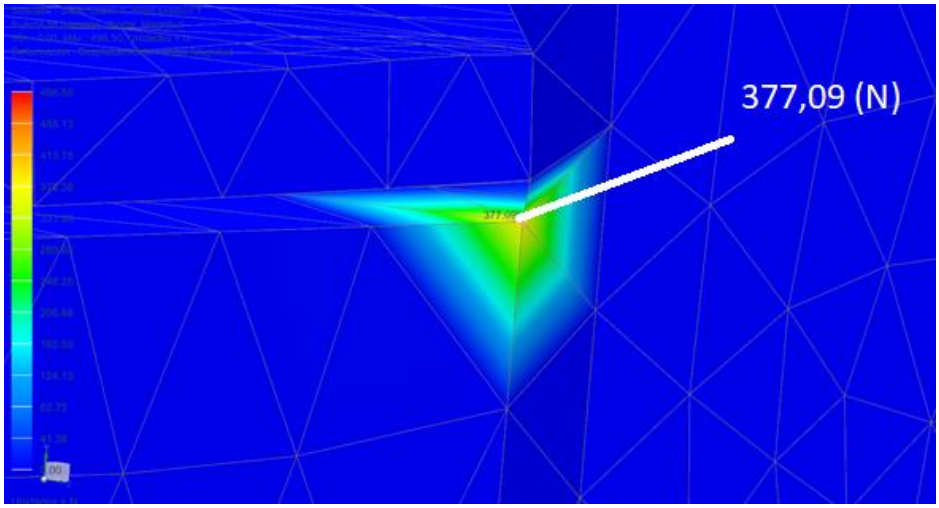


Figura 53. Fuerza de reacción en la base de las ballestas

En la gráfica que se ilustra en la figura 54 a continuación se puede observar los valores obtenidos en la base de las ballestas para la simulación con el acero AISI 4118.

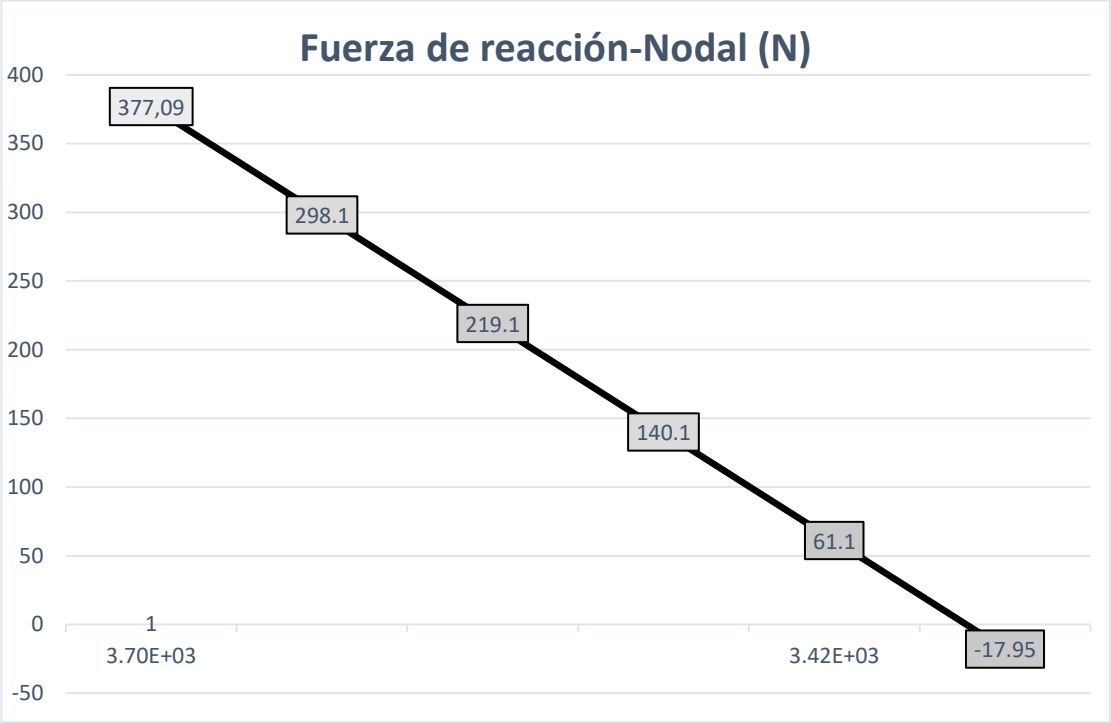


Figura 54. Fuerza de reacción bases de las ballestas

Método de áreas tributarias

Para el cálculo de la carga distribuida que esta efectuada en la viga AB se debe realizar por el método de las áreas tributarias, como es una estructura simplemente apoyada, se procede a hacer trazos a 45 grados para obtener un total de 4 cargas distribuidas triangulares y 4 cargas distribuidas trapezoidales como se muestra en la figura 55 a continuación.

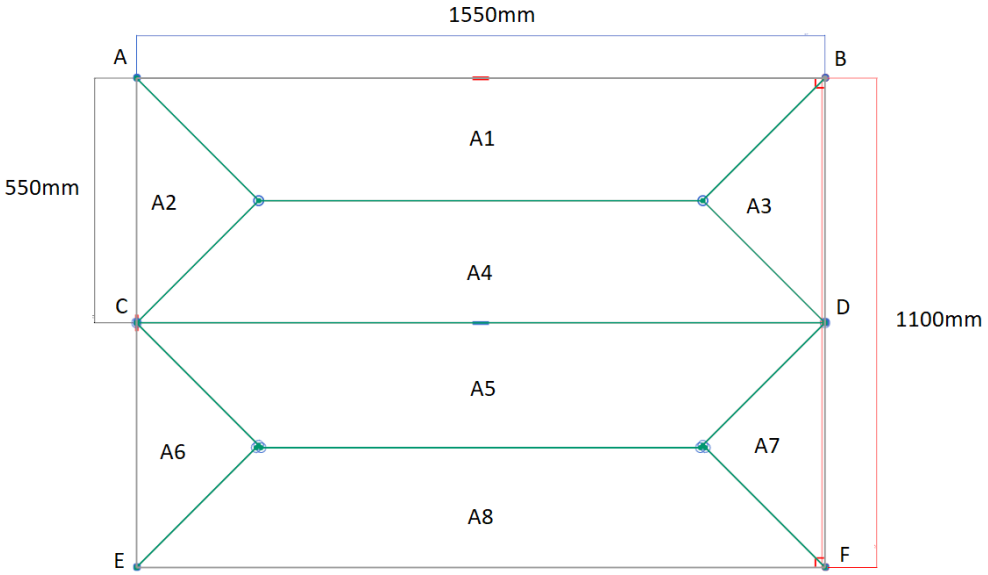


Figura 55. Método de las áreas tributarias

Como la carga a la cual va a estar sometida la estructura es de 300kg, se procede a determinar la carga por metro cuadrado presente en la estructura como lo muestra la ecuación 8:

$$Q = \frac{\mathrm{Cv} * \mathrm{g}}{\mathrm{Ap}} \qquad (8)$$

Dónde:

Q: Carga aplicada por unidad de área

Cv: Carga aplicada a la estructura (Kg)

g: Gravedad ($9{,}8\frac{\mathrm{m}}{s^2}$)

Ap: Área de la estructura

Tenemos entonces reemplazando los valores:

$$Q = \frac{300\text{kg} * 9{,}8\frac{m}{s^2}}{1{,}705m^2}$$

$$Q = 1724{,}34\ \frac{N}{m^2}$$

Una vez obteniendo el valor de la carga se procede a calcular la magnitud de la fuerza distribuida en cada una de las vigas.

Las cargas triangulares y trapezoidales pueden ser transformadas en cargas distribuidas rectangulares calculando con los siguientes (Aguiar, 2008).

En la ecuación 9 se puede ver la ecuación para el modelo matemático que permite transformar una carga distribuida triangular en una carga distribuida rectangular (Aguiar, 2008).

$$Qeq = \frac{\text{Q} * \text{S}}{3} \tag{9}$$

Donde:

Qeq: Carga equivalente rectangular

Q: Carga por unidad de área

S: Longitud menor del elemento estructural (AC)

En la ecuación 10 se ve el modelo matemático para transformar una carga distribuida trapezoidal en una carga distribuida rectangular (Aguiar, 2008).

$$Qeq = \frac{\text{Q} * \text{S}}{3} * \frac{3 - \left(\frac{S}{L}\right)^2}{2} \tag{10}$$

Dónde:

Qeq: Carga equivalente rectangular

Q: Carga por unidad de área

S: Longitud menor del elemento estructural (AC)

L: Longitud mayor del elemento estructural (AB)

Calculando lo antes expuesto se tiene:

Carga triangular:

$$Qeq = \frac{1724{,}34\,\frac{N}{m^2} * 0{,}55\text{m}}{3}$$

$$Qeq = 316{,}06\,\frac{N}{m}$$

Carga rectangular:

$$Qeq = \frac{1724{,}34\,\frac{N}{m^2} * 0{,}55\text{m}}{3} * \frac{3 - \left(\frac{0{,}55m}{1{,}55m}\right)^2}{2}$$

$$Qeq = 424{,}29\,\frac{N}{m}$$

Una vez obtenido este valor de la carga distribuida rectangular, se procede a la realización del diagrama de cuerpo libre para el cálculo de una viga simplemente apoyada en 4 soportes que es este caso serán los porta ballestas y se desea calcular las reacciones, el DCL se lo muestra en la figura 56 a continuación.

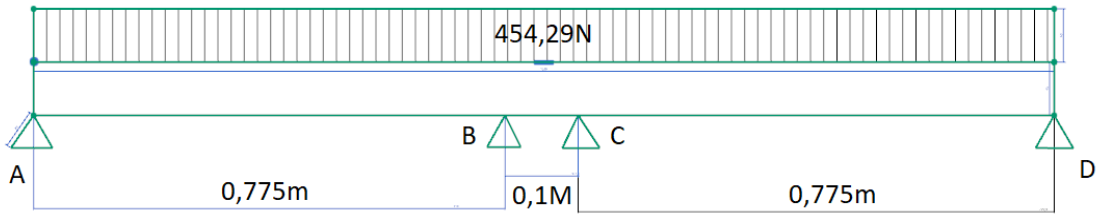


Figura 56. Diagrama de cuerpo libre carga distribuida

Como se puede observar en la figura 57, se trata de una viga hiperestática, razón por la cual se debe calcular por el método de los tres momentos, para ello dibujamos los momentos que tendrán injerencia en la viga como se muestra a continuación

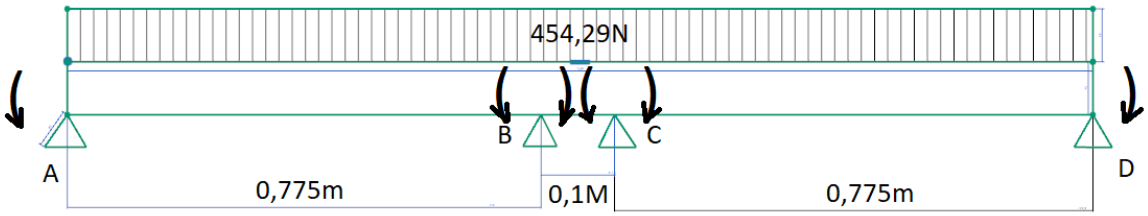


Figura 57. Determinación de momentos

Una vez determinados los momentos que actúan sobre la viga, se continua con la utilización de la fórmula de los 3 momentos descrita a continuación en la ecuación 11.

$$M1 * l1 + 2M2(l1 + l2) + M3 * l2 = -\mathrm{R} - \mathrm{L} \qquad (11)$$

Dónde:

M1: Momento 1

M2: Momento 2

M3: Momento 3

l1: Longitud 1

l2: Longitud 2

R: Carga distribuida

L: Carga distribuida

$$R = \frac{1}{4} * (w)(l)^3 \quad (12)$$

Dónde:

W: Carga distribuida

l: Longitud del elemento

Calculando entonces tenemos:

$$Ma * 0{,}775 + 2M2(0{,}875) + M3 * 0{,}1$$

$$= -\frac{1}{4} * 454{,}29 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}} * (0{,}775)^3 - \frac{1}{4} * 454{,}29 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}} * (0{,}1)^3$$

$$1{,}75Mb + 0{,}1Mc = -53$$

$$Mb = \frac{-53 - 0{,}1\mathrm{Mc}}{1{,}75}$$

$$Mb * 0{,}1 + 2M2(0{,}875) + Md * 0{,}775$$

$$= -\frac{1}{4} * 454{,}29 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}} * (0{,}1)^3 - \frac{1}{4} * 454{,}29 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}} * (0{,}775)^3$$

$$0{,}1Mb + 1{,}75Mc = -53$$

$$3{,}02 - 5 * 10^{-3} + 1{,}75Mc = -53$$

$$Mc = -28{,}65Nm$$

$$Mb = 28{,}84Nm$$

Una vez obtenidos los momentos que actúan sobre la viga completa, se procede a analizar la viga por tramos. Se empieza con el tramo AB como se indica en la figura 58 a continuación.

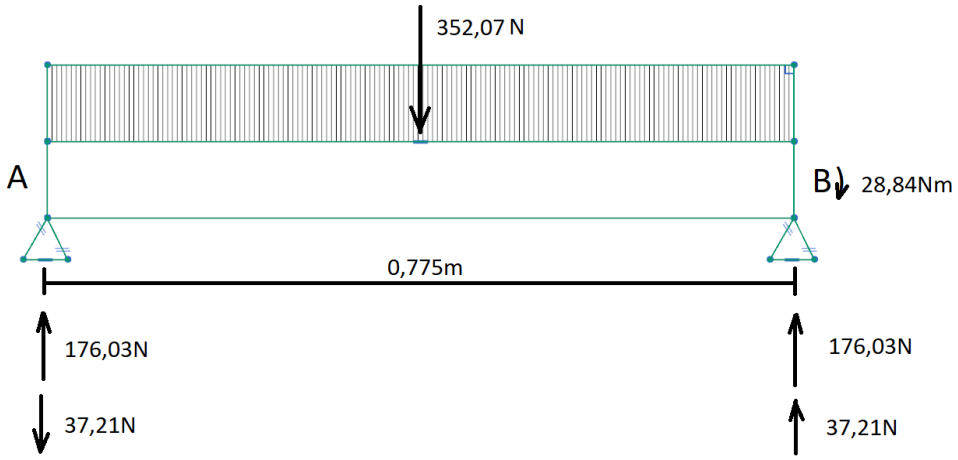


Figura 58. Tramo AB

Una vez analizadas las fuerzas que actúan en los puntos A y B se continúa analizando estáticamente el tramo BC como se muestra en la figura 59.

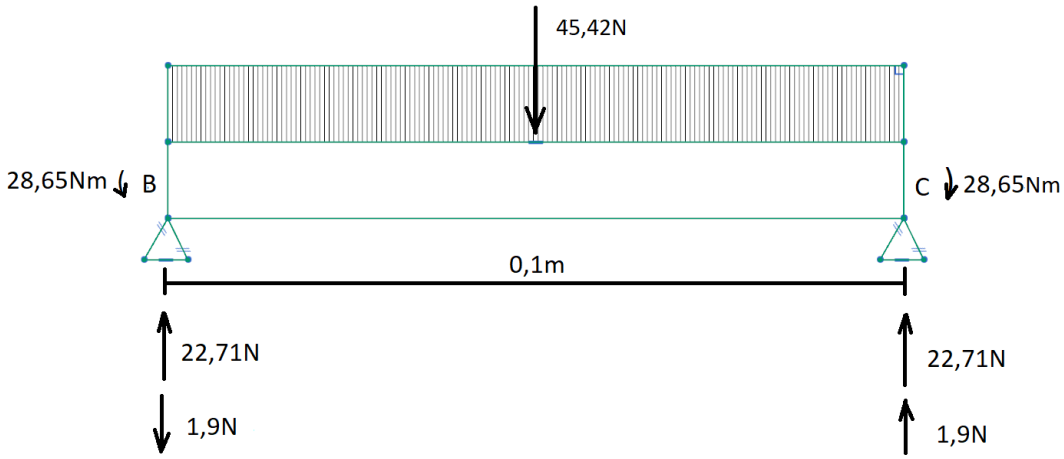


Figura 59. Tramo BC

Teniendo las reacciones en BC se continúa analizando el siguiente tramo, es decir, CD como se observa en la figura 60.

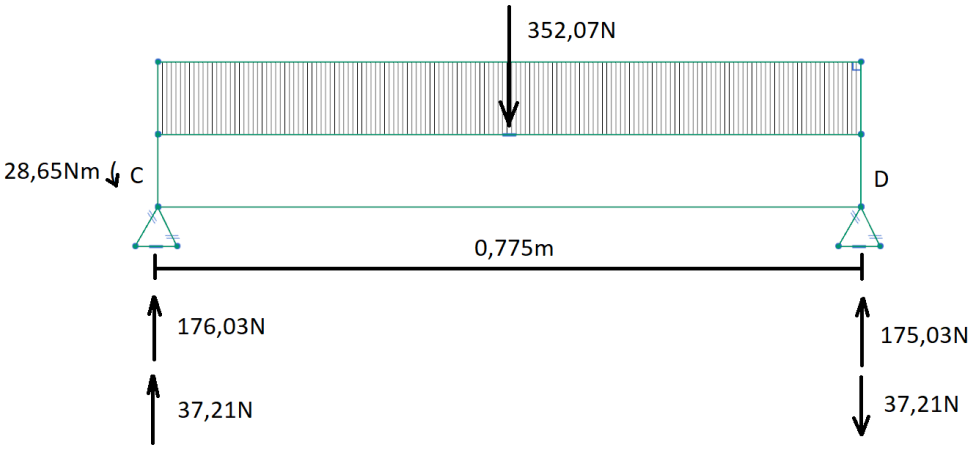


Figura 60. Tramo CD

Una vez analizados todas las fuerzas que actúan sobre la viga de manera estática, se procede a la sumatoria de las mismas y a la realización de un diagrama de cuerpo libre representando dichas reacciones como puede verse en la figura 61, para posteriormente continuar con el diagrama de cortantes y momentos.

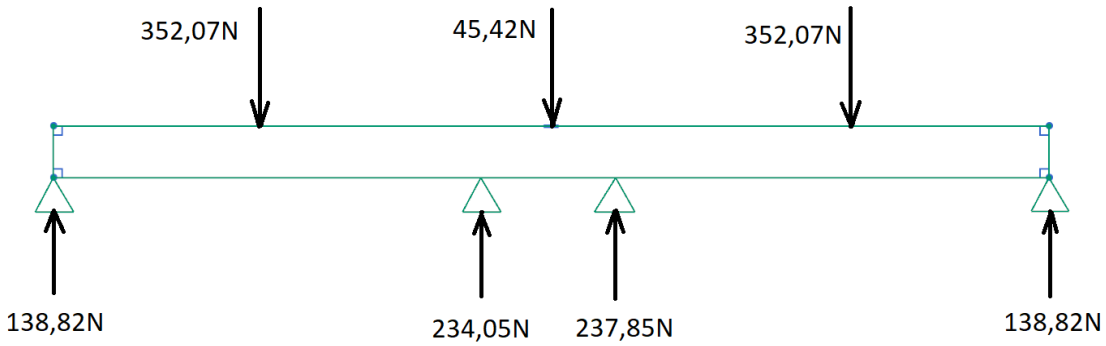


Figura 61. Diagrama de todas las reacciones actuantes

Como se puede observar en la figura 61, se obtuvieron las reacciones que se encuentran ejercidas en los apoyos de los porta ballestas de la estructura, a continuación se procede a dibujar el diagrama de cortantes como se observa en la figura 62.

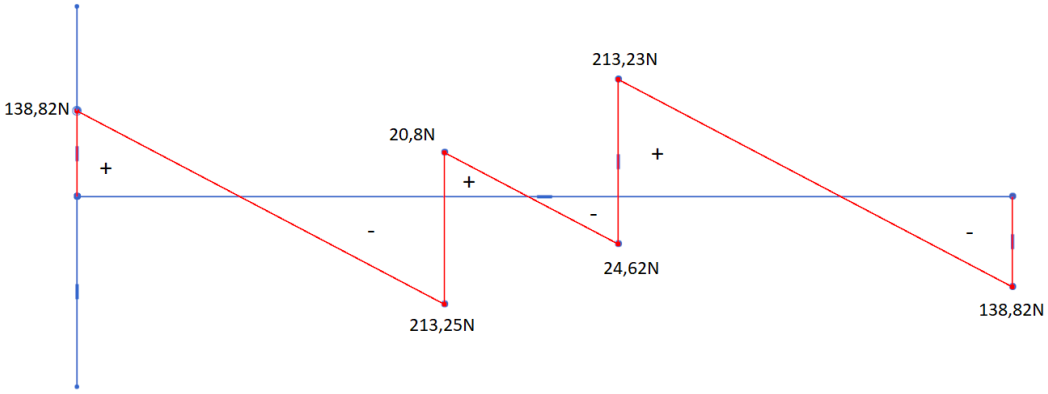


Figura 62. Diagrama de cortantes

Con el diagrama de cortantes, se continúa calculando los momentos con el método de las áreas que consiste en determinar el área de cada uno de los triángulos que se representan en la figura 63.

$$M1 = 0Nm$$

$$M2 = M1 + 21{,}21$$

$$M2 = 0 + 21{,}21$$

$$M2 = 21{,}21Nm$$

$$\mathrm{M3} = 21{,}21 + \left(\frac{0{,}475m * (-213{,}25N}{2}\right)$$

$$M3 = -28{,}84Nm$$

$$M4 = -28{,}84 + \frac{0{,}04 * 20{,}8}{2}$$

$$M4 = -28{,}36Nm$$

$$\mathrm{M5} = -28{,}42 + \left(\frac{0{,}06m * (-24{,}62N}{2}\right)$$

$$M5 = -28{,}84Nm$$

$$\mathrm{M6} = -28{,}84 + 50$$

$$\mathrm{M6} = 20{,}98\mathrm{Nm}$$

$$\mathrm{M7} = 20{,}98 - 20{,}98$$

$$\mathrm{M7} = 0\mathrm{Nm}$$

A continuación, en la tabla 28 se muestran resumidas las fuerzas obtenidas a partir de la carga distribuida rectangular sobre la viga AB

Tabla 28.

Fuerzas superiores aplicadas en la viga AB

Fuerzas aplicadas en cada punto	
Fuerza en A	138,82N
Fuerza en B	234,05N
Fuerza en C	237,85N
Fuerza en D	138,82N

En la tabla 29 se muestran las reacciones obtenidas en la base de las ballestas a partir de las fuerzas aplicadas explicadas en la tabla anterior.

Tabla 29.

Reacciones en las bases de las ballestas

Reacciones en las bases de las ballestas	
Reacción AB	374,77 N
Reacción CD	374,77N

Discusión de resultados

Método multicriterio de selección de materiales Pugh

Los resultados obtenidos después del análisis multicriterio se tiene un material ganador que es el AISI 4118. La tabla 30 a continuación presenta el ranking de los materiales

Tabla 30.

Resultados método Pugh

Material	Ranking
AISI 4118	1
AISI 4340	3
AISI 4130	2

Este método le da la posición antes descrita al acero AISI 4118 debido a que es un método que compara directamente los valores de los criterios de las alternativas con los valores originales utilizando métodos numéricos y operaciones básicas para realizar un sistema de eliminación simple.

En su artículo científico los autores Takezawa y Nishiwaki en el año 2005, utilizan el método de selección multicriterio Pugh para evaluar una serie de materiales alternativos para implementar en un método innovador de diseño de estructuras, el cual permite a los ingenieros de todo el mundo poder optimizar diseños ya existentes con ideas innovadoras haciendo el diseño más vanguardista y acorde a las necesidades de la sociedad del siglo 21. En su artículo proponen la realización CAD de una estructura

escogiendo 4 tipos diferentes de aceros que, a través de la selección multicriterio se obtiene el material ganador que en su caso es el acero A36.

En su artículo científico Izui 2008, analiza a través de métodos de selección multicriterio, una serie de materiales para usarlos en la construcción de un basculante para una moto, en su artículo, analiza 2 diferentes materiales no comúnmente usados para basculante. Por razones obvias el material ganador en su estudio fue el aluminio por peso y costos sobre la aleación de duraluminio.

En el presente estudio fueron analizados 3 tipos diferentes de aceros, el acero AISI 4118, AISI 4340 y AISI 4130 que a través del análisis de variables con el método multicriterio en mención, resultó ganador el acero AISI 4118, este resultado posteriormente fue validado con la simulación estática del material obteniendo el mismo como ganador.

Método multicriterio de selección de variantes de diseño Pugh

Los resultados obtenidos después del análisis multicriterio analizando las variables de cada uno de los casos de diseño, se tiene un caso ganador que es el caso 3 que corresponde a una estructura de doble eje con suspensión independiente de ballestas por cada llanta. La tabla 31 a continuación presenta el ranking de los casos.

Tabla 31.

Resultados método Pugh

Material	**Ranking**
Caso 1	3
Caso 2	2
Caso 3	1

Este método le da la posición antes descrita al caso 3 debido a que es un método que compara directamente los valores de los criterios de las alternativas con los valores originales utilizando métodos numéricos y operaciones básicas para realizar un sistema de eliminación simple.

En su artículo científico, los autores Sivia y Babu 2012, diseñaron un chasis de un vehículo pesado utilizando materiales compuestos. Para seleccionar el tipo de chasis a utilizar, implementaron el método de selección multicriterio Pugh analizando variables como: resistencia, cargas a aplicar, estabilidad, entre otras para seleccionar el tipo de chasis idóneo para su estudio, entre los tipos de chasis analizados se tienen: Chasis tipo columna vertebral, chasis monocasco y chasis tipo escalera. El tipo de chasis ganador fue el de tipo escalera.

A su vez en su artículo científico el autor Dmitri Lurie en su artículo "Estabilidad de vehículos de tres ruedas y de dos ruedas" utiliza el método de selección multicriterio Pugh para seleccionar el tipo de estructura que mejor se adapta a su estudio de tres ruedas y de dos ruedas respectivamente.

En el presente estudio fueron analizados tres tipos de estructuras nombradas con caso 1, 2 y 3 siendo el ganador el caso 3 que corresponde a la estructura de doble eje, las variables analizadas fueron: estabilidad, facilidad de construcción, forma motriz y buen trato a la carga.

Diseño y simulación estructura

En su artículo científico, los autores Changoyen et al 2013, presentan el diseño y simulación de un chasis automotriz utilizando el método de diseño y simulación antes de su construcción, en su artículo proponen tres simulaciones utilizando diferentes tipos de materiales, escogen el mejor a partir de las reacciones que obtienen de las diferentes simulaciones. En ese estudio, los autores encontraron fuerzas de reacción debido a la carga aplicada de 210 N usando restricciones fijas en los puntos que albergarán a los ejes, el esfuerzo máximo experimentado en dicha simulación es de 124 MPa, ambos valores localizados en los puntos de anclaje de los ejes de las ruedas. Así mismo el autor Auguste van Poelgeest en su artículo reacciones estáticas y control de un vehículo de tres ruedas, propone la simulación previa a los cálculos, y en ella examina las reacciones de un vehiculo de tres ruedas con el peso del conductor para poder visualizar que puntos van a sufrir deformaciones debido a la fuerza aplicada. En el presente trabajo se hizo un proceso similar debido a la realización de tres simulaciones, cada una con diferentes materiales para la estructura observando las reacciones obtenidas y según eso se escogió el material más óptimo para la estructura que fue el acero AISI 4118, en el presente caso, se usaron restricciones fijas en los agujeros por donde pasarán los ejes y la fuerza de reacción fue de 96,46 N y el esfuerzo máximo de 32,69 MPA, valores registrados en el punto de paso de los ejes y en la base de las ballestas respectivamente. Esta diferencia de valor se debe a la fuerza aplicada y a la dimensión de la estructura.

Desplazamiento nodal total de la estructura

En las tres simulaciones realizadas con tres diferentes materiales se tienen los resultados que se muestran en la tabla 32.

Tabla 32.

Desplazamiento nodal de los diferentes materiales

Material	Desplazamiento nodal de la estructura
AISI 4118	0.0369mm
AISI 4130	6.98E-003 mm
AISI 4340	0.039 mm

En su artículo científico, los autores Rege et al 2013, diseñan un chasis de una motocicleta eléctrica con el acero AISI 4130, en su estudio obtienen un desplazamiento nodal de 1.71E+00. Así mismo en su estudio titulado análisis y simulación de un vehículo de carga de tres ruedas, los autores Darling Y Plummer 2011 realizan tres tipos de simulaciones en diferentes puntos de la estructura obteniendo un desplazamiento nodal considerable en el buje de la dirección en las tres simulaciones, lo que indica que es una zona muy vulnerable en vehículos de tres ruedas. En el presente estudio se realizó la simulación con tres diferentes materiales escogiendo el que menos desplazamiento nodal tuvo debido a que esto significa que es el que menor deformación presentó frente a la carga aplicada.

Esfuerzo máximo

El esfuerzo máximo en el caso del presente estudio se localiza en las bases de las ballestas teniendo como valores en las tres simulaciones realizadas los que se muestran en la tabla 33 a continuación.

Tabla 33.

Esfuerzo máximo en las diferentes simulaciones.

Material	Esfuerzo máximo
AISI 4118	95,16 N
AISI 4130	96,44 N
AISI 4340	96,46 N

Este esfuerzo como se mencionó anteriormente, se encuentra en la base de las ballestas ya que es el punto donde el ensamble sufre su mayor esfuerzo. En su artículo científico, los autores Rege et al 2013, obtienen un valor de esfuerzo máximo en los puntos delantero y posterior del chasis de la motocicleta puesto que en esos lugares esta recargado el peso del piloto. El valor obtenido por los autores es de 2.022E+02 MPa. Asi mismo en su artículo titulado Dinámica de un vehículo de tres ruedas, el autor Azadeh Zandieh 2014 analiza primeramente las reacciones estáticas de la estructura al momento de estar con el piloto encima calculando con su peso, en ese análisis obtiene un valor de 10MPa localizado en la base que soporta el eje posterior de las ruedas. En el presente estudio, se realizaron tres simulaciones determinando valores similares en las tres con tres materiales diferentes, seleccionando el material AISI 4118.

Fuerza de reacción

Con respecto a las simulaciones realizadas en tres ocasiones, se tiene el valor de Fuerza de reacción que en todas se ubica en el soporte de los ejes, este valor indica la fuerza que se está ejerciendo en el ensamble en sentido opuesto a la carga de 2490N para contrarrestarla puesto que la teoría indica que la sumatoria de fuerzas debe ser cero para poder analizar un conjunto en estado estático, condición que en la validación de resultados se cumple. En la tabla 34 se presentan los resultados obtenidos en las tres simulaciones.

Tabla 34.

Fuerzas de reacción de los diferentes materiales

Material	Fuerza de reacción
AISI 4118	32.82 MPa
AISI 4130	32.96 MPa
AISI 4340	32.92 Mpa

El hecho que el valor de rotación nodal sea cero en las tres simulaciones realizadas, indica que ningún componente está sometido a cargas de rotación, razón lógica puesto que la única carga aplicada a la estructura se encuentra ejercida en el eje Y de manera perpendicular a los perfiles de la estructura.

Los autores Moreno et al 2009, realizan un análisis estático por el método de elementos finitos de un remolque agrícola que está sujeto a condiciones de sobre carga,

en el artículo, los autores analizan los esfuerzos que tendrán lugar en el eje del remoque debido al impacto de la carga a la cual este está sometido. En su estudio, los autores, después de la simulación, encuentran un esfuerzo máximo con un valor de 73,4 MPa que está ubicado en la cara inferior del eje, Los autores apican una fuerza de 40.000N sobre el remolque y a partir de esa fuerza obtienen una fuerza de reacción de 100N localizada en los puntos de apoyo del eje. En el presente estudio, la carga aplicada es de 2940N y de igual manera la fuerza de reacción se da en los puntos de apoyo del eje con un valor de 96,46N, asi como el esfuerzo máximo se localiza en las bases de las ballestas con un valor de 32,69 MPa.

En su tesis de maestria, el Baadkar 2010, desarrolla un análisis de falla en un remolque agrícola usando el método de los elementos finitos, en el, analiza las fuerzas de reacción que tienen los parantes de la base del remolque a partir de una fuerza aplicada de 50000N, el, aplica una carga longitudinal obteniendo una reacción de 300N en la viga principal de la estructura. En el presente estudio, se analiza la fuerza de reacción en los agujeros pasantes de los ejes obteniéndose una fuerza de reacción de 96.46N a partir de una carga aplicada de 2940N.

Validación de resultados

En los resultados obtenidos en el análisis entre los cálculos y la simulación realizada se tiene lo siguiente.

Como se pueden observar en las figuras 53 y 54, los resultados de la simulación en lo que se refiere a la fuerza de reacción en la base de la ballesta es de 377,09N mientras que en los cálculos efectuados anteriormente se tiene un valor de 374,77 N por lo que con estos dos valores se procede a calcular el porcentaje de error entre el valor

obtenido en la simulación y el valor obtenido en los cálculos con la siguiente fórmula expresada en la ecuación 13.

$$\%error = \frac{\text{valor calculado} - \text{valor simulado}}{\text{valor calculado}} * 100 \qquad (13)$$

Se tiene entonces que:

$$\%error = \frac{374{,}77\text{N} - 377{,}09\text{N}}{374{,}77\text{N}} * 100$$

$$\%error = 0{,}6\%$$

En su libro, el autor Edward L. Wilson en el año de 2002 titulado análisis tridimensional estático y dinámico de estructuraras dice que en diseño de elementos mecánicos el valor del porcentaje de error no debe exceder el 15% para corroborar la fiabilidad del diseño expuesto en el presente estudio, en este caso se tiene un porcentaje de 0,6% ya que las reacciones obtenidas son prácticamente iguales, por lo tanto, la validación de resultados ha tenido respuestas satisfactorias aprobando el diseño y simulación realizados.

Simulaciones dinámicas

Como se mencionó en el método dos simulaciones dinámicas fueron realizadas. En su artículo científico los autores M. Such et al 2015 titulado simulación de cargas móviles sobre estructuras, manifiesta la necesidad de un análisis dinámico a manera de complemento de un análisis estático. Lo hace poniendo una carga que fluctúe en ciclos para medir el número de ciclos que la estructura es capaz de recibir hasta que presente una falla inicial y posterior falla total. En el caso de este estudio en concreto se obtuvo un

valor de 100e+06 ciclos en falla inicial y en falla total se obtuvo un valor de 1000e+06 ciclos.

Al realizar la transformación de ciclos a años de vida útil de la estructura obtuvimos un valor de falla parcial de 17,8 años y en falla total un valor de 178,4 años lo que indica un posible rediseño de la estructura cambiando materiales y reduciendo costos.

Conclusiones

La utilización del método DIETER de diseño mecánico en el presente trabajo permitió, a partir de las necesidades del cliente, definir el problema, evaluarlo y presentar un diseño acorde con la problemática planteada.

El acero AISI 4118 es el material más apropiado para la construcción de la estructura puesto que se evaluaron criterios como disponibilidad en el país además de haber sido el que menos deformación tuvo frente a la carga aplicada con un valor de 0.0358mm de desplazamiento nodal.

La validación de resultados por el método estático de carga distribuida permitió conocer la veracidad de la simulación al obtener un 0,6% de margen de error ya que la teoría de diseño mecánico permite un 15% de margen de error.

En las tres simulaciones realizadas, el valor de rotación nodal es cero debido a que la carga aplicada a la estructura ejerce de manera perpendicular a la misma y no existe ninguna fuerza que ejerza en otra dirección.

El remolque esta solamente diseñado para su anclaje en motocicletas de 200cc de procedencia china debido a que estructuralmente son similares sin importar la marca, mas no para otro tipo de vehículo automotor ni de cilindrada más alta.

El número de ciclos a falla parcial (100e+06 ciclos) indica la fiabilidad de la estructura en caso de uso diario ya que según los cálculos mostrados es capaz de resistir 17,8 años andando 10.000 km anuales.

En falla total tenemos un valor de 1000e+06 ciclos lo que equivale a 178,43 años lo que indica que se puede rediseñar la estructura para hacerla mas ligera.

Recomendaciones

Para futuros trabajos, es recomendable realizar una simulación colocando los ejes de las llantas directamente en contacto con las ballestas, reduciendo elementos además de peso para analizar su efectividad frente a condiciones de carga similares

Para futuros estudios se recomienda estudiar una alternativa para sustituir el material de las ballestas buscando alternativas de similares características mecánicas para buscar ventajas como reducción de costos de fabricación y reducción de peso sin disminuir propiedades mecánicas.

Al momento de realizar el ensamble se recomienda restringir cada elemento de acuerdo a la forma en la que se desea que se muevan, ya que una mala restricción de los componentes conlleva a resultados poco confiables en la simulación.

Se recomienda rediseñar la estructura aligerando peso y probando con materiales menos densos que el acero ya que según valores obtenidos en la simulación dinámica la estructura está ligeramente sobre dimensionada puesto lo extenso de su duración en años.

Bibliografía

A, S., & R, K. (2018). *Stability of three-wheeled Vehicles with and without control system.*

Aguiar, R. (2008). *Cálculo de reacciones de empotramiento perfecto en vigas horizontales con cargas triangulares y trapezoidales.* Quito: Escuela Politecnica del Ejército.

AMV. (22 de Febrero de 2016). *AMV noticias*. Obtenido de https://noticias.amv.es/consejos-amv/tipos-de-motos-caracteristicas/

Antony, J., & Jayabal, B. (2016). *Rollover Dynamics of a Narrow Tilting Three-Wheeled Vehicle.*

Autocasion. (15 de Octubre de 2009). *Autocasion*. Obtenido de https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/tipos-de-motocicletas

Bernal, J. J. (2013). Analisis Modal de Fallas y Efectos guia y ejemplos. *PDCA home*.

Berote, J, Van Poelgeest, A., Darling, & J., Edge. (2008). *The dynamics of a three-wheeled narrowtrack vehicle.*

Blanco, M. E. (20 de Junio de 2013). *Atraccion 360*. Obtenido de http://www.atraccion360.com/conoce-los-distintos-tipos-de-motocicletas

C, N. (27 de Julio de 2017). *Nivel C*. Obtenido de http://nivelc.com/motos/todos-los-tipos-de-motos/

Campos, I. (29 de Septiembre de 2017). *Expoflores*. Obtenido de http://flor.ebizor.com/mercados-de-exportacion-de-flores-ecuatorianas/

Carvajal, A. (15 de Julio de 2011). *Todo comercio exterior*. Obtenido de http://comunidad.todocomercioexterior.com.ec/profiles/blogs/exportacion-de-flores-2

Casajús, L. (Marzo de 2012). *Centro Zaragoza*. Obtenido de http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R51_A2.pdf

Cascajosa, M. (2015). *Ingenieía de vehiculos.* Tébar Flores.

Club VTM Colombia. (2009). Obtenido de https://www.vivetumoto.com/foros/abc-del-motero-conduccion-de-la-moto-444/tipos-de-motocicletas-clases-de-motocicletas-2037.html

Comercio, E. (03 de enero de 2018). *El Comercio*. Obtenido de www.elcomercio.com

Cultural S.A. (s.f.). *Manual de la motocicleta.* Madrid: Cultural S.A.

Curiosfera. (22 de Febrero de 2012). *Curiosfera*. Obtenido de http://www.curiosfera.com/historia-de-la-moto/

Dipac. (14 de 05 de 2019). *Dipar Manta*. Obtenido de http://www.dipacmanta.com

Earle, J. H. (2008). *Diseño grafico en ingenieria* . Bogotá: Fondo educativo Interamericano .

Fremap. (2016). *Madrid*. Obtenido de http://www.madrid.org/cs/Seguridadvialmotos

Ghodake, & Patil. (2013). Analysis on Steel and Composite Leaf Spring for vehicle. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 68-76.

Inversiones, M. d. (10 de Abril de 2018). *Informe mensual de comercio exterior*. Obtenido de www.comercioexterior.gob.ec

Koona , R., K, G., Kusum, D., & Manoj, T. (2005). Diseño optimo de suspension en un vehiculo de tres ruedas. *World Journal of Modelling and Simulation* , 36-44.

Kumar, R., Kumar, S., Srikant , B., & Kumar, S. (2016). Static Load Alalysis Of a ladder type chassis frame.

Liberman, E. B. (1995). Sobre la convergencia de metodos de elemntos finitos.

Lugo, E. (17 de Agosto de 2015). *Pasion Biker*. Obtenido de https://www.pasionbiker.com/la-historia-de-la-motocicleta/

M. A. Saeedi , & R. Kazemi . (2018). *Stability of Three-Wheeled Vehicles with and without control system.*

Medina, A. (3 de Enero de 2018). Cuantos autos versus motos circulan en la ciudad. *El Comercio*.

Mendez, N. E. (28 de Agosto de 2012). *Juanchoferia*. Obtenido de http://juanchoferia.blogspot.com/

Monjelat, N. G., & et Al. (2010). Modelado y simulacion de un sistema mecanico simple. *Educacion en ingenieria*, 4-6.

Morcillo, A. D. (2000). Metodos de mallado en una, dos y tres dimensiones .

moto, C. e. (21 de Agosto de 2011). *Canarias en moto*. Obtenido de http://www.canariasenmoto.com/noticias/la-historia-de-la-motocicleta-un-resumen-en-imagenes.html

Mukherjee, S., Mohan, D., & Gawade, T. (2007). Three-Wheeled scooter taxi: a safety anaysis.

OEA. (1998). *Organización de los Estados Americanos*. Obtenido de Organización de los Estados Americanos

Paz, A. (2008). España: CULTURAL S.A.

Paz, A. (2008). *Motocicletas.* Madrid: Dossat 2000.

Plural, E. (17 de Noviembre de 2016). *El Plural*. Obtenido de https://www.elplural.com/motor/2016/11/17/clasificacion-de-las-motocicletas-guia-para-principiantes

Poelgeest, A. v. (2011). *The dynamics and control of a three wheeled tilting vehicle.* Bath: University of Bath.

Robinson, J. (1992). *Motocicletas chasis.* Madrid: Paraninfo.

Rojas, Y. M. (6 de Septiembre de 2013). Tipos y modelos de simulación.

Ruiz, H. (2017 de Julio de 2017). *Buho*. Obtenido de https://buhomag.elmundo.es/my-life/comprar-una-moto-que-tipos-hay-que-necesitas/

Ruiz, R. (29 de Julio de 2017). *About español*. Obtenido de https://www.aboutespanol.com/tipos-de-motos-galeria-de-imagenes-4140800

Salinas, D. (2011). *Chasis y Suspenciones.* Barcelona: EPS.

Saurabh Rege, Chirag Khatr, Mrudul Nandedkar , & Noopur Wagh. (2017). *Design and Analysis of Frame for Electric Motorcycle.* IJIRSET.

Segurojoven. (3 de Enero de 2015). *Segurojoven*. Obtenido de https://www.segurojoven.com/seguros-de-moto/tipos-de-motos/

Shakespear, D., & Leopold, F. (2014). *Steering system for three-wheeled vehicle.*

Tixce, C. (15 de Octubre de 2016). Obtenido de https://www.motoryracing.com/motos/noticias/vespacar-la-historia-del-triciclo-motorizado/

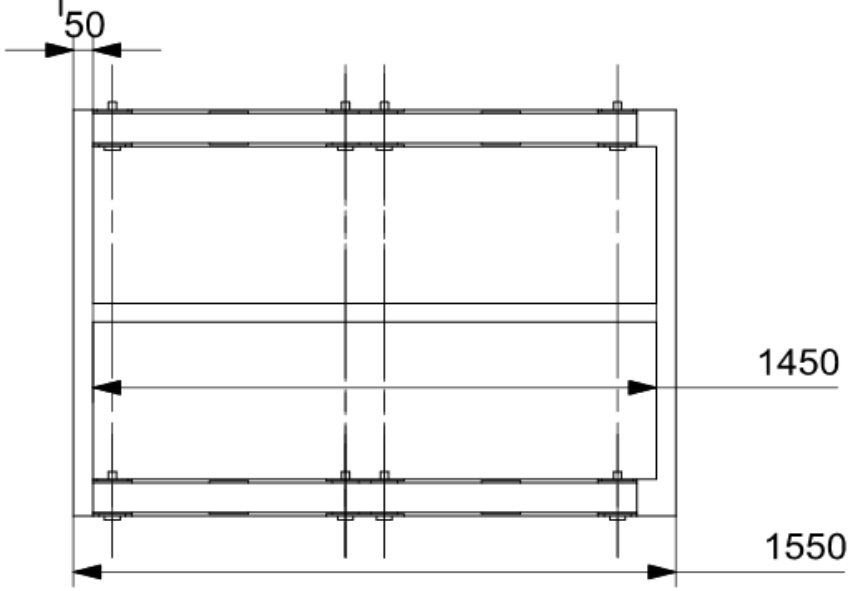
UNAM. (2012). Metodos de diseño. Mexico.

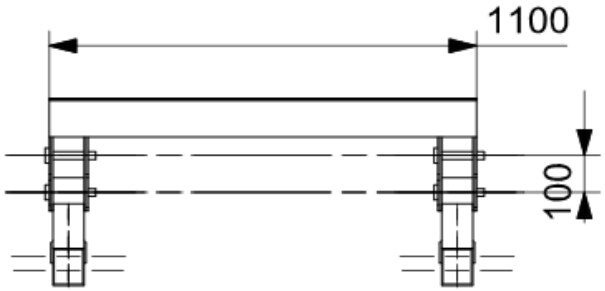
Universo, E. (8 de Mayo de 2010). *El Universo*. Obtenido de https://www.eluniverso.com/2010/05/08/1/1504/tipos-motocicletas.html

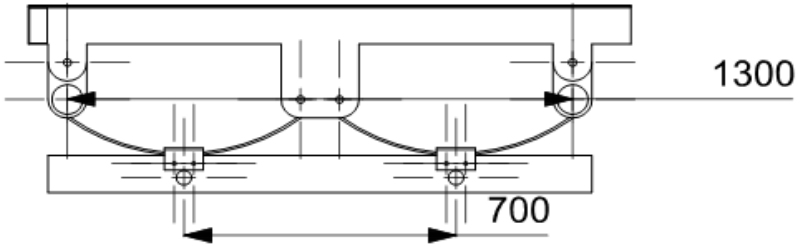
Vijayan, S., Sendhikumar, S., & Kiran, B. (2015). Design and analysis of automotive chassis .

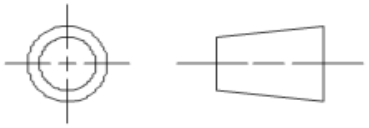
Zandieh, A. (2014). *Dynamics of a three-wheel vehicle with tadpole design.* Ontario.

Anexos









ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS

THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

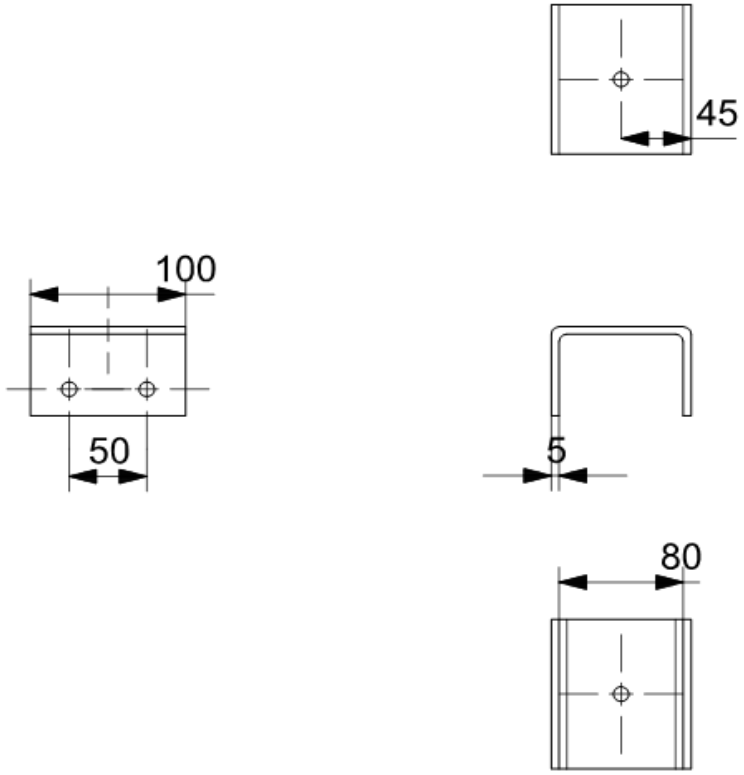
FIRST ISSUED	09/07/2019
DRAWN BY	Isaac Ruiz
CHECKED BY	
APPROVED BY	

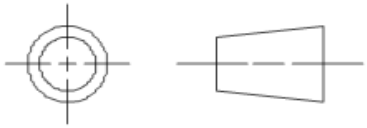
TITLE

SIZE	DRG NO.	SHEET REV
A4	ensamble final_dwg1	A

SCALE 1:20 | SHEET 1 OF 1

A4





ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS

THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

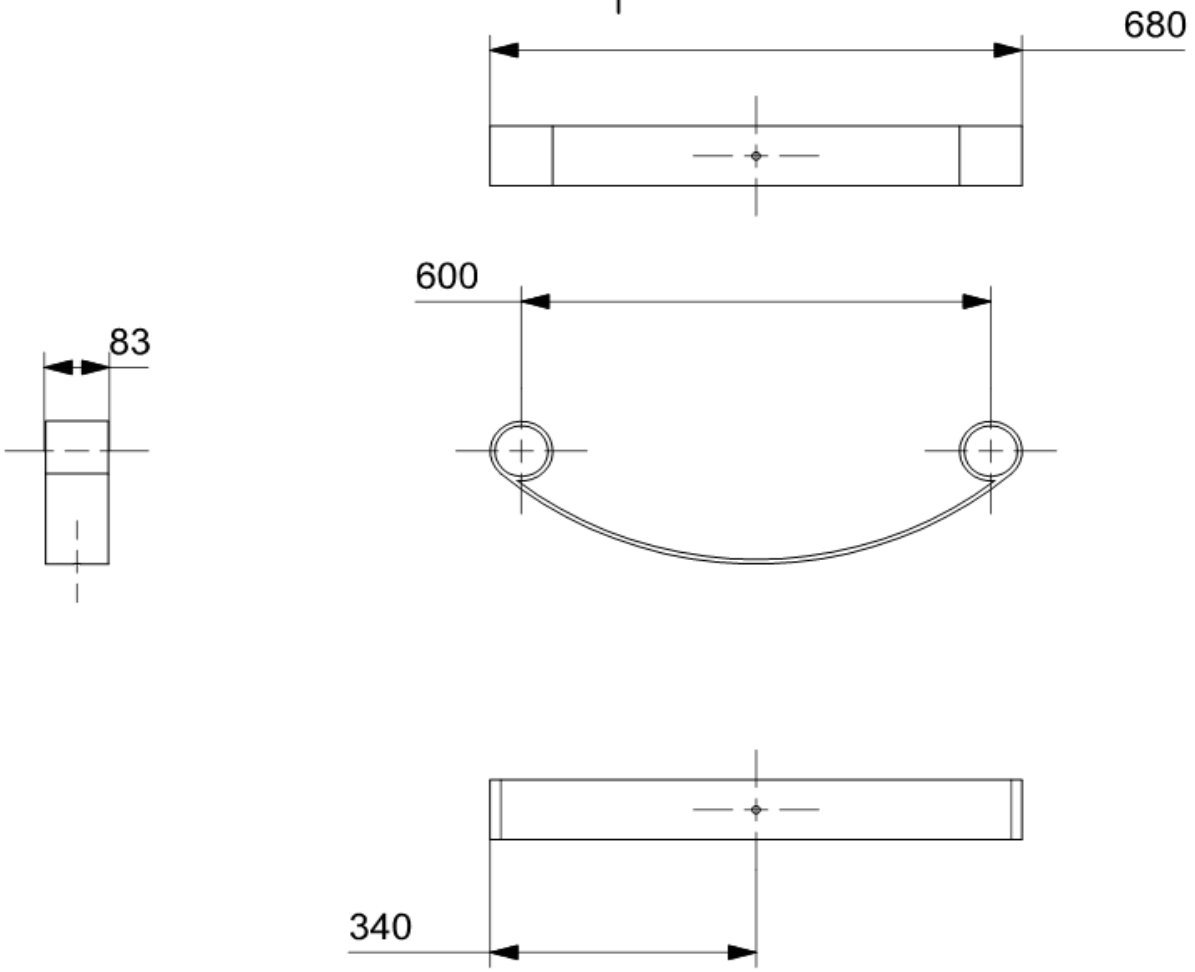
FIRST ISSUED	09/07/2019
DRAWN BY	Isaac Ruiz
CHECKED BY	
APPROVED BY	

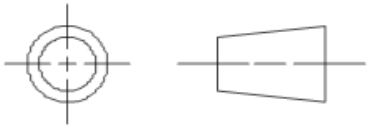
TITLE

SIZE	DRG NO.	SHEET REV
A4	Abrazaderas_dwg1	A

SCALE 1:5 | SHEET 1 OF 1

A4





ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS

THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

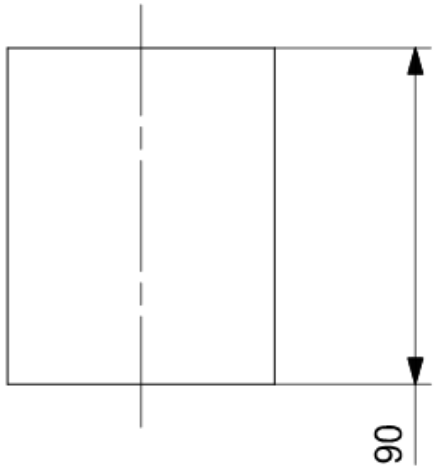
FIRST ISSUED	09/07/2019
DRAWN BY	Isaac Ruiz
CHECKED BY	
APPROVED BY	

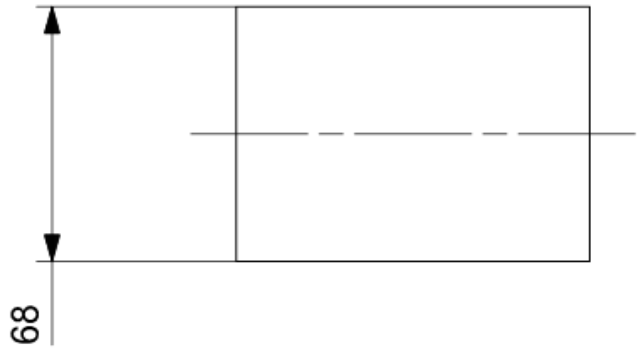
TITLE

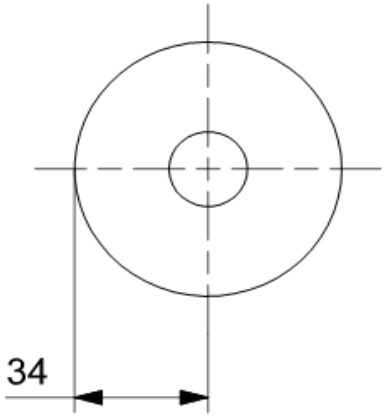
SIZE	DRG NO.	SHEET REV
A4	Ballestas principal_dwg1	A

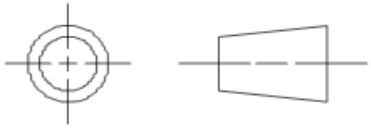
SCALE 1:10 | SHEET 1 OF 1

A4









ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS

THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

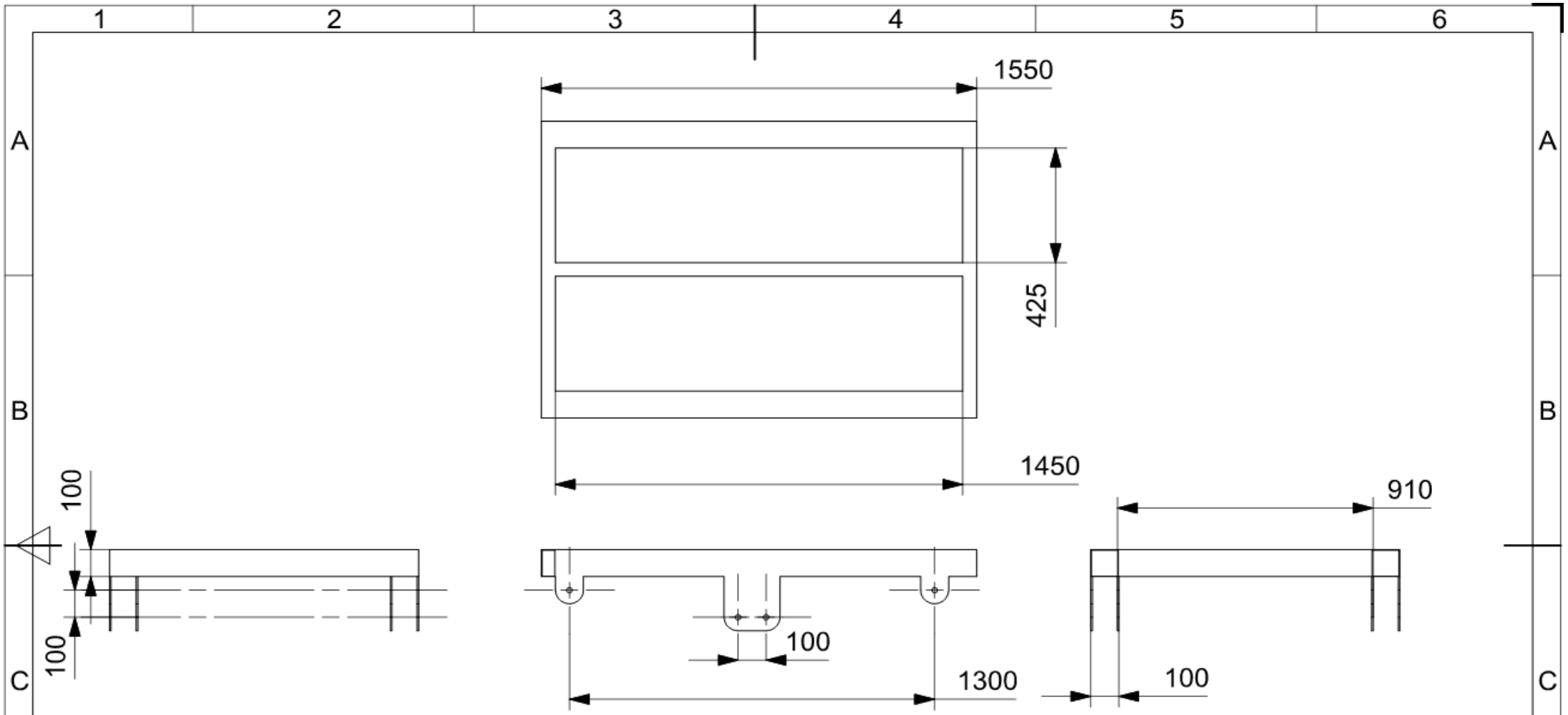
FIRST ISSUED	09/07/2019
DRAWN BY	Isaac Ruiz
CHECKED BY	
APPROVED BY	

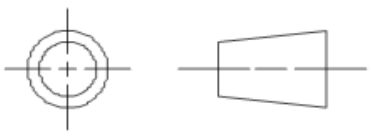
TITLE

SIZE	DRG NO.	SHEET REV
A4	bujes parte fija_dwg1	A

SCALE 1:1 | SHEET 1 OF 1

A4





ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS

THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

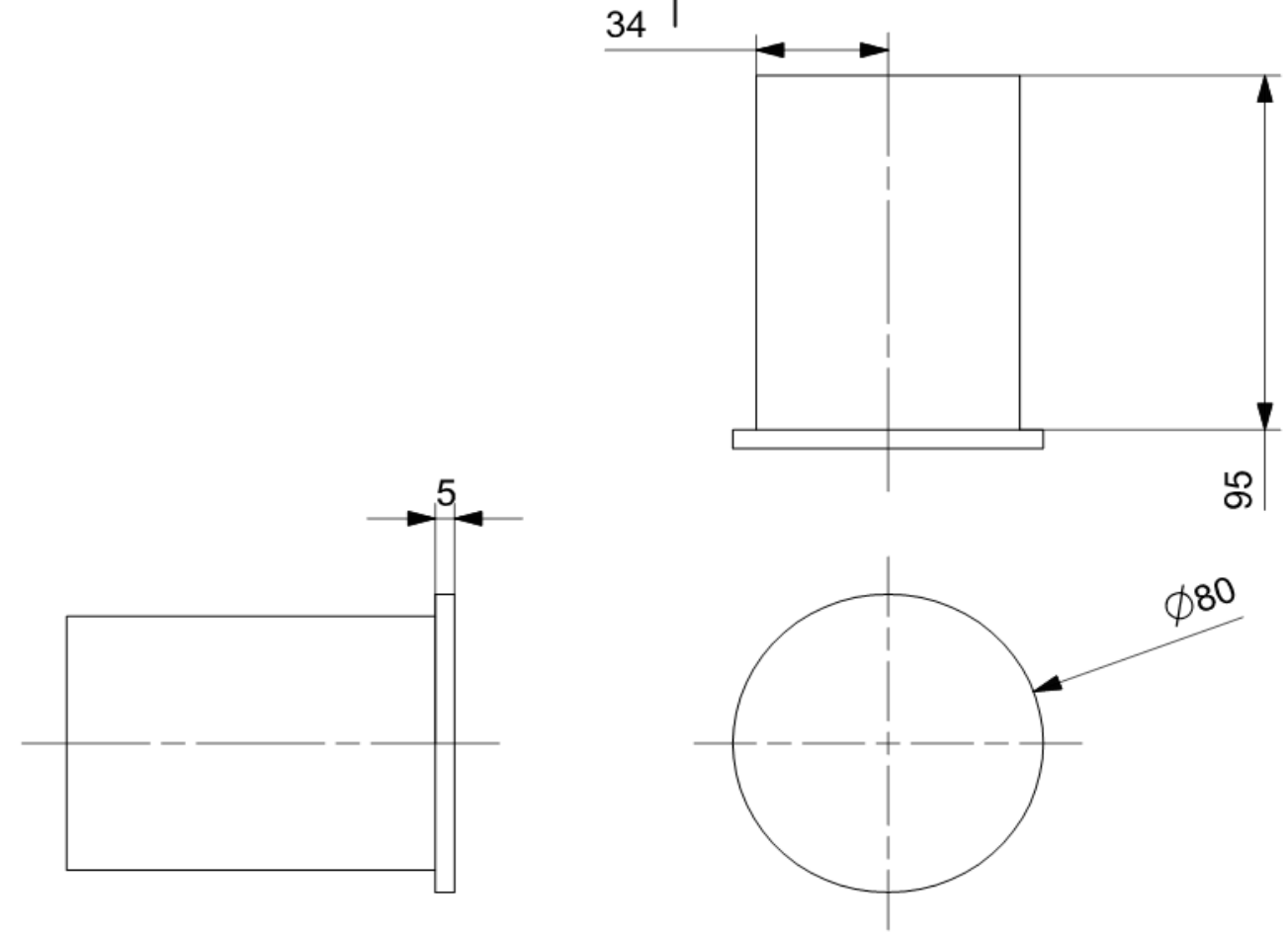
FIRST ISSUED	09/07/2019
DRAWN BY	Isaac Ruiz
CHECKED BY	
APPROVED BY	

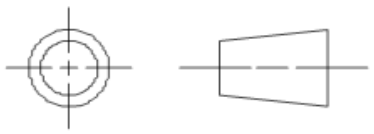
TITLE

SIZE	DRG NO.	SHEET REV
A4	Estructura doble llanta_dwg1	A

SCALE 1:20 | SHEET 1 OF 1

A4





ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS

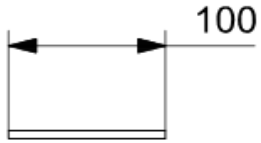
THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

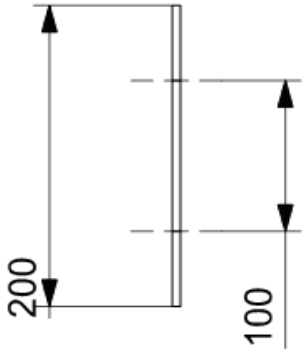
FIRST ISSUED	09/07/2019
DRAWN BY	Isaac Ruiz
CHECKED BY	
APPROVED BY	

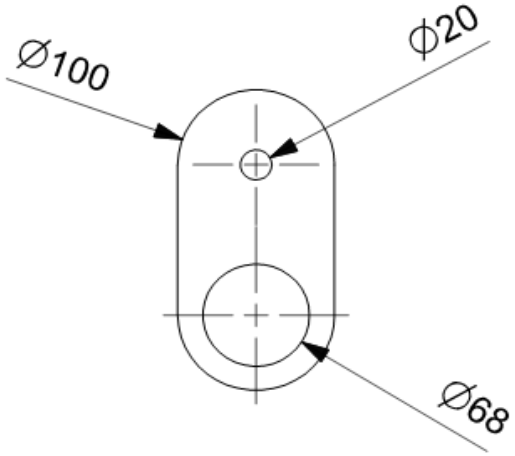
TITLE

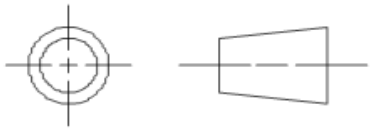
SIZE	DRG NO.	SHEET REV
A4	Pasador ballesta 1_dwg1	A

SCALE 1:1 | SHEET 1 OF 1









ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS

THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

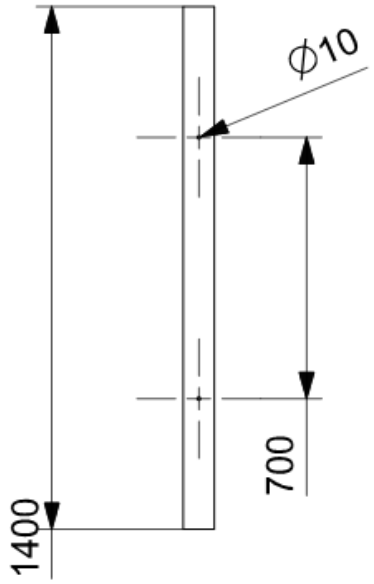
FIRST ISSUED	09/07/2019
DRAWN BY	Isaac Ruiz
CHECKED BY	
APPROVED BY	

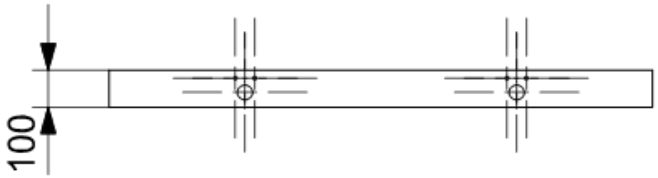
TITLE

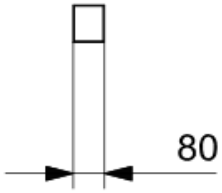
SIZE	DRG NO.	SHEET REV
A4	Platinas ballestas 1_dwg1	A

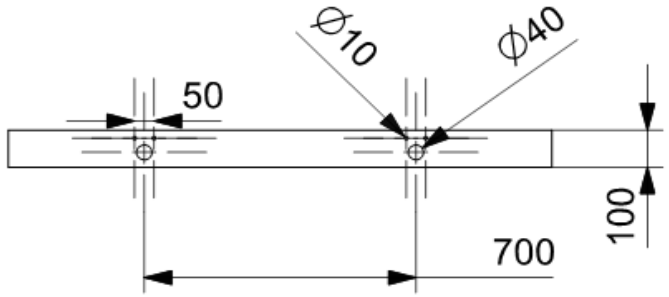
SCALE 1:5 | SHEET 1 OF 1

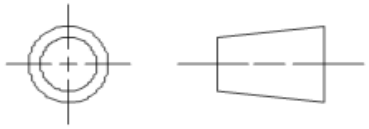
A4











ALL DIMENSIONS IN mm

SIEMENS

THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

FIRST ISSUED	09/07/2019
DRAWN BY	Isaac Ruiz
CHECKED BY	
APPROVED BY	

TITLE

SIZE	DRG NO.	SHEET REV
A4	soporte ejes corregido_dwg1	A

SCALE 1:20 | SHEET 1 OF 1

A4